

#### IV. A GRAVITÁCIÓ ÉS TEHETETLENSÉG ARÁNYOSSÁGÁRÓL.

NEWTON vonzási törvénye tulajdonképen oly tételeket foglal magában, a melyeket általános érvényűeknek ismertek el a nélkül, hogy azoknak szigorú kísérleti bizonyítását adták volna. Ilyenek a következők:

1. A testek vonzása független az anyagi minőségtől s csak a tömegtől, vagy máskép kifejezve a tehetetlenségtől függ és pedig oly módon, hogy ezzel arányos. Ezt a tételt tehát úgy is fejezhetjük ki, hogy a gravitáció és tehetetlenség viszonya minden anyagra nézve ugyanazon értékű állandó, azaz a gravitáció és tehetetlenség egymással arányos.

2. Két test kölcsönös vonzását a környező, illetve köztük fekvő anyagok nem módosítják.

3. A vonzás végtelen nagy sebességgel terjed, mert csakis így lehetséges, hogy a vonzóerő a testek mozgási állapotától független legyen.

E tételek közül az elsőnek kísérleti bizonyítását már NEWTON igyekezett megadni. Vizsgálatait különböző anyagokkal, arany, ezüst, ólom, üveg, homok, konyhasó, víz, gabona és fával megterhelt egyenlő hosszúságú ingákkal végezte, a melyeknek lengésidejét lehetőleg pontosan meghatározta. NEWTONNAK e kísérletei szerint ugyanazon tömegű, de különböző anyagú testek nehézségei legfeljebb értéküknek  $\frac{1}{1000}$ -ed részével különbözhetnek egymástól. Később BESSEL-nek híres ingakísérleteivel sikerült kimutatni, hogy a különböző testek nehézségének gyorsulásában nagyobb eltérés nem lehet, mint legfeljebb annak  $\frac{1}{60\ 000}$ -ed része. Vizsgálatait arany, ezüst, ólom, vas, cink, réz, márvány, agyag, kvarc és meteorit-anyagú testekkel végezte.

Báró Eötvös LÓRÁND-nak hasonló irányú vizsgálatai, a melyeket még a múlt század nyolevanes éveinek végén végzett, pontosságban messze felülmulják NEWTON és BESSEL kísérleteit. Eötvös az általa már akkor egyébként is használt torziós ingával kimutatta, hogy ha ugyanazon tömegű, de különböző anyagú testek nehézségében egyáltalában eltérés volna, úgy ezen eltérésnek kisebbnek kell lennie, mint annak  $\frac{1}{20\ 000\ 000}$ -od része. Üveget, antimont és parafát rézzel hasonlított össze; továbbá levegőt és rezet, mely utóbbi esetben azonban a levegő aránytalanul kis sűrűsége miatt az esetleges eltérés felső határát az egész erő  $\frac{1}{100\ 000}$ -ed részének találta.<sup>42, 43</sup> Kísérleti módszeréről később bővebben szólunk.

Az előbb említett három tétel jelentőségében erősen nyert, másrésztől azonban minden kétségen felül álló általános érvényessége nagyon megrendült azon eredmények miatt, a melyeket az elméleti elektrodinamikában újabban megállapítottak. Az elektromos és mágneses erőknél ugyanis, a melyeknek első leírása a vonzáséhoz hasonló alakban történt, azt tapasztalták, hogy ezek a fény tovaterjedési sebességével haladnak, s kölcsönhatásuk a közbülső mediumtól lényegesen függ, azaz az elektromos és mágneses erőkre a 2. és 3. tétel nem érvényes. Még nagyobb jelentőséget nyert az 1. tétel azzal, hogy a testek mechanikai értelemben vett tehetetlensége és az azokban foglalt elektromos részecskék töltése között bizonyos összefüggést sikerült kimutatni. Így azután a gravitáció, arányos lévén a tehetetlenséggel, az elektrodinamikával jutott összefüggésbe és tág tere nyílt a gravitáció mibenlétére vonatkozó elméleti vizsgálatoknak. Mindinkább előtérbe nyomult tehát a fenti három s azok között is elsősorban az 1. tétel érvényességének kérdése.

Ez indította a *göttingeni egyetem filozófiai fakultását* arra, hogy 1906-ban a BENECKE-féle díjra a következő pályakérdést tűzte ki: «Eötvös igen érzékeny módszert közölt az anyag gravitációjának és tehetetlenségének összehasonlítására. Tekintettel erre és utalva az elektrodinamika újabb haladására és a radioaktív anyagok felfedezésére, vizsgáltsák meg részletesen a

NEWTON-féle törvény a gravitáció és tehetetlenség arányosságáról.» E kérdésre egyetlen pályamű érkezett be, a melynek szerzői Báró EÖTVÖS LÓRÁND és *e sorok írói* 1909-ben a BENECKE-féle első díjat nyerték el.<sup>79</sup>

A pályamunka első része azon kérdéssel foglalkozik, hogy a vonzás a testek anyagi minőségétől független-e; a második rész a vonzásnál esetleg fellépő abszorpció jelenséget tárgyalja; a harmadik rész a radioaktív anyagokkal végzett kísérleteket tartalmazza; végül pedig az eredmények vannak rendszeresen egybeállítva. Ismertetésünkben mi is e sorrendhez ragaszkodunk.

\* \* \*

Eötvös-nek módszere, a melyet már előző vizsgálataiban is alkalmazott, azon alapszik, hogy *ha a Föld vonzása a különböző anyagokra egymástól eltérő volna, akkor a nehézségi erő irányának is különbözőnek kellene lennie.* A nehézség ugyanis két különböző nagyságú és irányú erőnek eredője, melyek közül az egyik a tömegvonzásból, a másik a Föld forgásából és a testek tehetetlenségéből eredő középpont futó erőből származik. Önként érthető, hogy az egyik összetevőnek a vonzóerőnek változása magának az eredőnek, a nehézségnek irányát is megváltoztatja, ez irányeltérés pedig a torziós ingával könnyen kimutatható.

A 23. ábrán látjuk, hogy a  $\vec{PG}$  vonzóerő a  $\vec{Pg}$  nehézség-erő irányától az északi félgömbön észak felé tér el. Legyen az eltérés szöge  $\varepsilon$ . Feltéve, hogy a vonzás különböző anyagokra különböző, a  $\vec{PG}'$  és  $\vec{Pg}'$  egy másik anyagra nézve a vonzó, illetve a nehézségi erőt tünteti fel, a melyek egymástól  $\varepsilon'$  szöggel térnek el. Ezek a szögek a rajzban megjelölt  $\varphi$ ,  $\varphi'$  és  $\psi$  szögekkel fejezhetők ki:

$$\varepsilon = \varphi - \psi \quad \text{és} \quad \varepsilon' = \varphi' - \psi$$

melyek feltevésünk értelmében egymástól különböznek s az anyagi minőségen kívül azonban a geográfiai szélességtől is függenek. Az  $\varepsilon$  az egyenlítőn és a sarkokon 0, s legnagyobb értéke a 45. szélességi fokon: 357".



s így

$$f'' = f(1 + z) \quad (2)$$

a hol  $f'$  és  $f$  a különböző anyagokra vonatkozó gravitációs állandót jelenti.

NEWTON ingakísérletei ezek szerint azt mondják, hogy bármely anyagra  $z < \frac{1}{1000}$ , BESSEL szerint  $z < \frac{1}{60\,000}$  és EÖTVÖS régebbi vizsgálatai alapján  $z < \frac{1}{20\,000\,000}$ .

Ha az (1) egyenletet még mindig elegendő megközelítéssel  $\varepsilon' - \varepsilon = -z\varepsilon$  alakban írjuk, a nehézség irányának eltérésére a különböző anyagokra nézve, a 45. szélességi fokon a következő szögértékeket kapjuk:

$$\begin{aligned} \text{ha } z &= \frac{1}{1000} & \text{úgy } \varepsilon - \varepsilon' &= 0.357'' \\ \text{'' } z &= \frac{1}{60\,000} & \text{'' } \varepsilon - \varepsilon' &= 0.005\,95'' \\ \text{'' } z &= \frac{1}{20\,000\,000} & \text{'' } \varepsilon - \varepsilon' &= 0.000\,018'' \end{aligned}$$

Az anyagi minőségtől függő vonzásnak, vagyis a különböző anyagokra ható nehézségi erők iránykülönbségének egy másik következménye az volna, hogy a nehézségnek minden egyes anyagra nézve más és más volna a nivófelülete. A nivófelület pedig — a mint tudjuk — meghatározza a Föld alakját, a geoidot. Ha e különböző geoidok az egyenlítőn egymást érintik, akkor a sarkokon azok legnagyobb eltérése  $z$  a következő volna:

$$\begin{aligned} z &= \frac{1}{1000} & \text{esetében } z &= -1380 \text{ cm} \\ z &= \frac{1}{60\,000} & \text{'' } z &= -23 \text{ cm} \\ z &= \frac{1}{20\,000\,000} & \text{'' } z &= -0.069 \text{ cm} \end{aligned}$$

A különböző anyagok nehézségében esetleg fellépő előbb említett kicsiny irányváltozásokat a függőónnal és libellával már egyáltalán ki nem mutathatjuk, Eötvös torziós ingájával

azonban még mindig jól lemérhetjük. E torziós inga részletes ismertetését a gravitációs mérésekről szóló cikkben találjuk.

Ezek után lássuk, miként mérhetjük le a meghatározandó adatokat. Válasszunk e célból egy derékszögű koordináta-rendszert úgy, hogy annak  $Z$  tengelye az eszköz forgási tengelyével essék egybe, tehát függélyesen lefelé, az  $X$  tengely pedig észak és az  $Y$  tengely kelet felé irányított legyen. Jelentse továbbá  $m_k$  a torziós inga egy tömegelemét,  $g_k$  az arra ható nehézségerőt,  $\eta_k$  azt a szöveget, a melyet  $g_k$  a víz nehézségének irányával képez,  $E$  pedig azt a szöveget, a melyet a mérődrót által képviselt forgási tengely iránya a víz nehézségének irányával alkot. Ha a torziós inga rúdja kelet-nyugot helyzetben van, a vízszintes forgási síkban minden  $m_k$  tömegelemre a nehézségnek egy észak felé irányuló komponense hat, a melynek nagysága

$$m_k g_k (\eta_k - E)$$

s az ebből származó forgatónyomaték

$$D = - \sum m_k g_k y_k (\eta_k - E) = - \sum m_k g_k y_k \eta_k$$

Jelentse továbbá  $M_a$  és  $M_b$  a torziós inga rúdjának két végén elhelyezett tömegeket, a melyekre nézve  $x_a$  és  $x_b$  feltételeink szerint különbözök,  $l_a$  és  $l_b$  az  $M_a$  és  $M_b$  tömegek súlypontjának a forgási tengelytől való távolságát s  $\alpha$  a torziós inga rúdjának azimutját, akkor tekintetbe véve az (1) egyenletet, elegendő közelítéssel írhatjuk

$$D = M_a l_a (x_b - x_a) G \sin \varepsilon \sin \alpha \quad (3)$$

E forgásmomentum nagyságára és Eörvös torziós ingájának érzékenységére csak azt említjük fel, hogy ha  $x_b - x_a = 1.10^{-6}$  lenne, úgy az eszköz még mindig több mint 10 osztályrész kitérést mutatna.

A (3) alatti forgató nyomaték mellett a torziós inga rúdja azonban még a nehézség térbeli változásaiból eredő forgásmomentum  $F$  is hat, úgy hogy a földi nehézség okozta összes forgatónyomaték:

$$\begin{aligned}
 F = F + D = & \frac{1}{2} K \left( \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2a + K \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2a - \\
 & - M_a h l_a \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin a + M_a h l_a \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos a + \\
 & + M_a l_a (x_b - x_a) G \sin \varepsilon \sin a
 \end{aligned} \quad (4)$$

hol a többi már ismert mennyiség mellett  $K$  a lengőszerkezet tehetetlenségi nyomatékát,  $U$  a nehézség potenciálfüggvényét,  $h$  a lelógó súly súlypontjának távolságát a rúdtól jelenti. E forgatónyomatékkal tart egyensúlyt a mérődrót megcsavarodásából származó forgató nyomaték  $\tau \vartheta$ , hol  $\tau$  a drót torziós állandóját,  $\vartheta$  a megcsavarodás szögét jelenti. E szöveget, tekintve hogy a torziós eszközön az észlelések távcsöves tükörleolvasással és pedig megtört prizmás távcsővel történnek, a skálatávollal az  $L$ -el, az egyensúlyhelyzetnek megfelelő skálaleolvasással az  $n$ -el és a megcsavaratlan rúd skálaértékével az  $n_0$ -val fejezzük ki. Mindezek alapján a közvetlenül észlelt megcsavarodásra a következő kifejezést nyerjük:

$$\begin{aligned}
 n_0 - n = & \frac{L}{\tau} K \left( \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2a + \frac{2L}{\tau} K \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2a - \\
 & - \frac{2L}{\tau} M_a h l_a \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin a + \frac{2L}{\tau} M_a h l_a \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos a + \\
 & + \frac{2L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (x_b - x_a) \sin a
 \end{aligned} \quad (5)$$

melynek felhasználásával, a mint azt az alábbiakban részletezzük, az alkalmas módon végzett kísérleti megfigyelésekből a specifikus vonzási együtthatók különbségét a  $(x_b - x_a)$ -t kiszámíthatjuk.

\*

A megvizsgálandó kérdést kísérletileg még egy más úton is megoldhatjuk és pedig a *Nap vonzásának felhasználásával*. A Nap és a Hold vonzása Földünkön elég szembeötlőleg nyilvánul, hiszen ez okozza a jól megfigyelhető tengerjárás jelenséget. A Hold vonzása a Napéhoz képest aránytalanul kicsi, s

gy ezt vizsgálatainkban elhanyagolhatjuk. Magát a kísérleti megfigyelést következő módon végezzük. Állítsuk torziós eszközünket úgy, hogy rúdja, melynek végein az összehasonlítandó anyagok vannak, észak-dél irányban legyen és hagyjuk az eszközt a kísérlet egész tartama alatt változatlanul ebben az állásban. Ez esetben a rúdra a Föld vonzásából származó (4) alatti forgatónyomatékon kívül, mely a mérődrót állandó megcsavaródását okozza, a Nap vonzásából eredő forgatónyomaték is hat, mely a Nap és a rúd kölcsönös helyzetének megfelelően naponként periodikusan változik. Ha a Nap vonzására nézve ( $x_a - x_b$ ) a nullától különböző és pozitív volna, ha tehát a rúd északi végén lévő  $M_a$  tömeget a Nap erősebben vonzza, mint a déli végén lévő  $M_b$ -t, úgy a torziós inga rúdja nyugalmi helyzetét az időben akként változtatja, hogy napkeltekor a rúd északi vége kelet felé, napnyugtakor pedig nyugat felé fog kitérni. E kitérés nagysága torziós eszközünkön  $x_a - x_b = 1.10^{-6}$  esetében 3·5 osztályrész lenne.

Ezt az előző eljárás hasonló adatával egybevetve látjuk, hogy e második meghatározás érzékenysége az előzőnek kbl. csak harmadrésze. Mind a mellett e megfigyelési módszertől szép eredményeket várhatunk, ha e célra nem az egyszerű torziós ingát, hanem Eötvös *gravitációs kompenzátorát* használjuk fel.<sup>57</sup> Ezen eszköz érzékenysége ugyanis tetszés szerint fokozható; gyakorlatilag azonban a fokozásnak határt szab az a körülmény, hogy az érzékenység növekedésével a zavaró hatások is növekednek s így ezek kizárásáról kell lehetőségig gondoskodnunk, a mit elég jelentékeny mértékben el is érhetünk.

\*

Ezen elméleti tárgyalások után lássuk, miként végeztük magukat a kísérleteket. A torziós inga rúdjának egyik végén az oda betolt platinasúlyt állandóan meghagytuk, míg a másik végén a lelógó platinasúlyt a megvizsgálandó anyagokkal helyettesítettük, ügyelvén arra, hogy azok tömege a platináéval közel

egyenlő legyen és súlypontjuknak távolsága a rúdtól is mindig ugyanaz maradjon.

Az eszköz nagy érzékenysége és a lemérendő erők kicsiny volta miatt lehetőleg ki kell küszöbölnünk minden olyan zavaró hatást, mely a variometer rúdjának nyugalmi helyzetét megváltoztathatja.

Igy zavarólag hathat a földmágneses erő, ha a lelógó súly akármi kis mértékben is, de remanensen mágneses. Ezt a hatást azonban a földmágneses erőt kompenzáló, az eszköztől elég távol elhelyezett mágnesrúddal vagy elektromágnessel tétszerszerint kicsinynyé tehetjük.

Ugyancsak zavarólag hathatnak az elektrosztatikus hatások, a melyek 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 fém-szekrényből áll. E hatásokat még jobban csökkentettük azzal, hogy az eszközt jól védett helyiségben s ott is az egyébként szabadban használatos kettős vászonfalú sátorban állítottuk fel.

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

A talaj rázkódásai is okozhatnak ugyan a rúd nyugalmi helyzetében zavarokat, ezek azonban csak kivételes esetekben, pl. földrengésekkel lesznek jelentékenyek.

Az eszközt körülvevő tömegek eloszlásában történő változások csak annyiban jönnek számításba, a mennyiben azzal a nehézség térbeli eloszlása is számottevően megváltozik.

Eötvös a  $(x_b - x_a)$  különbség meghatározására háromféle, mindig tökéletesebb és tökéletesebb kísérleti eljárást alkalmazott.

Az elsőnél feltételezi, hogy úgy a mérődrót torziós állandója, a  $\tau$ , vagyis az eszköz érzékenysége, valamint a nehézség térbeli

változásai és pedig elsősorban a  $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$  és  $\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$  differenciálhányadosok a kísérlet egész tartama alatt, tehát körülbelül egy hétig állandók maradnak. A másodiknál megtartja ugyan az előbbi differenciálhányadosok állandóságát, de nem zárja ki annak a lehetőségét, hogy  $\tau$  az időben változik; míg a harmadik kísérleti eljárásnál azután úgy a  $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$  és  $\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$ , mint a  $\tau$  változók lehetnek.

Az első eljárásnál az *egyszerű nehézségi variometert* használtuk. Az eszközt, a melyben először a rúd mindkét végén platina ( $x_a$ ) volt, hosszú, napokig tartó kísérleti sorozatban az  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  és  $\alpha = \frac{3\pi}{2}$  azimutokban, azaz a rúd kelet-nyugoti állásában észleltük, majd rövidebb sorozatban az  $\alpha = 0$  és  $\alpha = \pi$  azimutokban, vagyis a rúd észak-déli állásában történtek leolvasások. Az azimutoknak megfelelő indexekkel jelölt leolvasásokból az  $n_0$  és  $n_\pi$  illetve  $n_{\frac{\pi}{2}}$  és  $n_{\frac{3\pi}{2}}$ -ből a következő különbségeket képeztük:

$$m = n_0 - n_\pi \quad \text{és} \quad v = n_{\frac{\pi}{2}} - n_{\frac{3\pi}{2}}.$$

Azután a lelógó platinasúly helyett a megvizsgálandó anyagot ( $x'_a$ ) függesztve fel, szintén hosszú sorozatokban az  $m'$  és  $v'$  különbségeket meghatároztuk.

Az (5) egyenletnek a megfelelő azimutokban való részletes kifejtése után kapjuk, hogy

$$x_a - x'_a = A(v - v') + \left[ m(\Delta\alpha - \Delta\alpha') - v \frac{h - h'}{h} \right] A$$

a hol  $\Delta\alpha$  és  $\Delta\alpha'$  a torziós inga rúdjának eltéréseit az északi iránytól az  $\alpha = 0$  azimutban jelentik, továbbá

$$A = \frac{\tau}{4LM_a l_a G \sin \varepsilon}$$

Ily módon *magnalium* és *platina*, továbbá *fa* és *platina* között történtek összehasonlítások.

A második kísérleti eljárásnál, a melynél ismét az *egyszerű nehézségi variometert* használtuk, az eszközt egymásután az  $\alpha = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$  azimutokba hozva, észleltünk. Az  $n_0, n_{\frac{\pi}{2}}, n_{\pi}, n_{\frac{3\pi}{2}}$  leolvasásokból úgy mint előbb az  $m$  és  $v$ -t kiszámítottuk, majd a lelógó platinasúlyt ( $x_a$ ) megint a megvizsgálandó anyaggal ( $x'_a$ ) cserélve fel, az  $m'$  és  $v'$  különbségeket határoztuk meg, úgy azonban, hogy az  $m$  és  $v$ , illetve az  $m'$  és  $v'$  páronkint mindig ugyanazon időpontra vonatkozzanak. Ez esetben

$$x_a - x'_a = mA \left( \frac{v}{m} - \frac{v'}{m'} \right) + mA \left( 1 - \frac{v^2}{m^2} \right) (\Delta a - \Delta a').$$

Ezzel az eljárással hasonlítottuk össze a *rezet* a *platinával*. Azonkívül e módszerrel vizsgáltuk meg a LANDOLT-féle *ezüst-szulfát-ferroszulfát* reakciót. LANDOLT ugyanis teljesen zárt  $\cap$  alakú csövekben chemiai reakciókat végzett. Az egymásra ható anyagokat a cső száraiba helyezvén, azt leforrasztotta és súlyát pontosan megmérte. Ezután a csövet megbillentvén, a reakció végbement. Most a cső súlyát ismét megmérte, a mikor is több esetben változást észlelt. Kísérletei szerint különösen nagy volt a súlyváltozás az említett reakciónál, a miért is éppen ezt vizsgáltuk meg. El célból előbb alkalmas módon egymástól elválasztva a reakció előtti anyagokat, azután a reakció utániakat függesztettük fel a torziós rúdra a platinasúly helyébe és mindkét esetben hosszú megfigyelés sorozatot végeztünk.

A harmadik kísérleti eljárásnál a *kettős nehézségi variometert*<sup>76</sup> használtuk, a melyben két egyszerű variometer egymással párhuzamosan, de lelógó súlyaikkal ellentetben van egymás mellé helyezve.

A rudak végeibe betölt platinasúlyok állandóan megmaradtak, míg a lelógó platinsúlyok helyébe a variometer mindkét eszközébe egy-egy összehasonlító anyagot függesztettünk fel ( $x_a$  és  $x'_a$ ), azután a négy főállásban az  $\alpha = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$  azimutokban hosszú észlelési sorozatot végeztünk az  $m_1, v_1$  és  $m_2, v_2$  meghatározására. Majd egy második sorozatban a meg-

vizsgálendő anyagokat a variometer két eszközében feleseréltük s az  $m_1'$ ,  $v_1'$  és  $m_2'$ ,  $v_2'$  különbségeket határoztuk meg. Ekkor:

$$x_\alpha - x'_\alpha = \frac{mA}{2} \left[ \left( \frac{v_1}{m_1} - \frac{v_2'}{m_2'} \right) + \left( \frac{v_2}{m_2} - \frac{v_1'}{m_1'} \right) \right] + \\ + \frac{mA}{2} \left( 1 - \frac{v^2}{m^2} \right) [(\Delta a_{1I} - \Delta a_{1II}) - (\Delta a_{2I} - \Delta a_{2II})],$$

hol  $m$ ,  $v$  és  $A$  számára azok középértékei veendőek s a  $\Delta a$  szögek a rudak eltéréseit az északi iránytól jelentik az 1. és 2. eszközben az I. és II. kísérleti sorozatban.

Ilyen módon történtek összehasonlítások viz és réz, azbeszt és réz, fagygyú és réz között, továbbá kristályos rézszulfát és réz, rézszulfát-oldat és réz között. Ez utóbbi kísérletet olyan töménységű rézszulfát oldattal végeztük, mint a milyennel HEYDWEILLER kísérletezett. Ő ugyanis a LANDOLT-éhoz teljesen hasonló eljárással többek között a rézszulfát vízben való oldását vizsgálta meg, a mikor is jelentékeny súlyváltozást észlelt. Így e megfigyeléseink egyúttal HEYDWEILLER kísérleteit ellenőrzik.

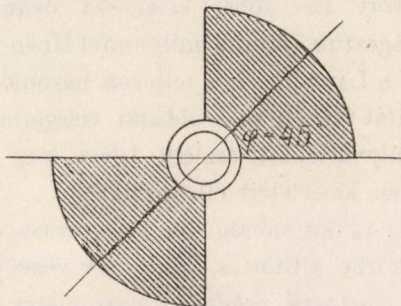
A Nap vonzására nézve a  $x_b - x_a$  különbség meghatározását, mint azt már említettük, a délkörbe állított s a rúd két végén különböző anyaggal megterhelt egyszerű nehézségi variometerrel végeztük. Hogy azokat a zavaró hatásokat számításba vehessük, a melyek a rúd egyensúlyhelyzetének igen kicsiny, de mégis észrevehető periodikus ingadozásait okozzák s a melyeket az eszköz messzemenő védelme mellett sem sikerült teljesen kizárni, a délkörbe állított eszközzel két észlelési sorozatot végeztünk. Az egyik sorozatban a rúd mindkét végén platina volt, a másikban a lelógó platinasúly helyébe magnaliumot függesztettünk. Mindkét észlelési sorozatban napokon keresztül óránkénti leolvasásokat végezve, ezekből a nap minden órájának megfelelő középértékeket képeztük s a két I illetve II-vel jelölt észlelési sorozatban a különböző óráknak megfelelő különbségeket a  $(n' - n)_I$  és  $(n' - n)_{II}$ -öt állítottuk elő. Ekkor

$$x_b - x_a = 0.6863 \cdot 10^{-6} \frac{(n' - n)_{II} - (n' - n)_I}{\sin \xi' \sin A' - \sin \xi \sin A}$$

a hol  $\xi$  a Nap zenittávolságát s  $A$  az azimutját jelenti az  $n'$  illetve  $n$  észlelésének idejében. A tényleges számításban, mint legelőnyösebbet a napkelte és napnyugta körüli értékeket használtuk fel, mert ekkor az esetleg mutatkozó különbségeknek legnagyobbaknak kell lenniök.

\* \* \*

Eörvös vizsgálatainak második csoportja arra a kérdésre vonatkozik, hogy két tömeg egymásra gyakorolt vonzása függ-e a köztük lévő anyagtól, azaz *van-e a testeknek a vonzással szemben abszorpcióképességük*. Az abszorpciónak önként érthetőleg érdekes következménye volna, hogy ez esetben a

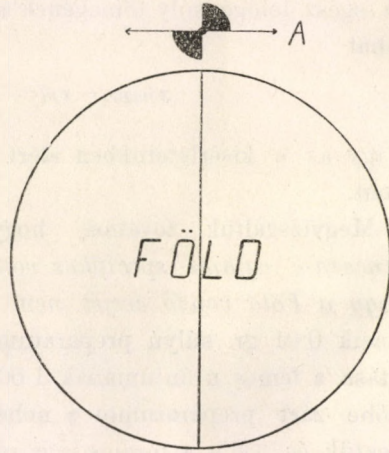


24. ábra.

vonzóerő a testek alakjától és nagyságától, sőt kölcsönös helyzetüktől is függne. AUSTIN L. W. és THWING C. B. ez irányú, éppen nem célszerűen végzett kísérletei szerint a vonzást a két vonzó test közé helyezett pár cm vastag lemezalakú anyagok nem változtatják meg többel, mint annak  $1/500$ -ad részével.

Eörvös-nek a gravitáció abszorpciójára vonatkozó vizsgálatai, bár nem befejezettek, e pontosságot mégis messze felülmulják. E célra *gravitációs kompenzátorát* használta,<sup>57</sup> a mely lényegében szintén egyszerű torziós inga, rúdjának mindkét végén 30 gr-os sárgarézgömbökkel. A rudat kettős falú hengeres cső veszi körül, hogy a külön állványon nyugvó kompenzáló ólomtömegeket a rúd közelében forgathatólag elhelyezhessük. A kompenzáló tömegeknek hengerquadrans alakjuk van, mint azt a 24. ábrán feltüntetett keresztmetszet mutatja. A hengerquadransok mindkét végén nyitott sárgarézcsővekre vannak erősítve s így az eszköz csövére rátolhatók akként, hogy a sárgarézgömböcskék mindkét oldalon egy-egy quadranspár közepében lengjenek. Eörvös e kísérleteinél a quadranspárok tengelyeit egymás-

után  $\varphi = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ -ra állította be. Tegyük fel, hogy a Földnek a sárgarézgolyóra gyakorolt vonzását az egyik oldalon a közben fekvő kompenzáló quadrans ólomtömege abszorbeálja. Ekkor a vízszintes síkban a quadranspárok hatásából származó forgatónyomatékhoz még egy másik is járul, a mely a két fél földgömb vonzásának különbségéből származik s azon  $A$  oldal felé irányul, a melyik oldalon az abszorpció kisebb (25. ábra). A gravitációs kompenzátor rúdjának kitéréseit a quadranspárok fentebb megadott különböző helyzete mellett megfigyelve, eme kitérésekből az ólomquadransok okozta abszorpciót kiszámíthatjuk.



25. ábra.

HECKER O. az árkeltő erők megfigyelésére horizontális ingákkal végzett hosszas kísérleteket. Eötvös egyrészt e vizsgálatok eredményeiből, másrészt

az apály és dagály jelenségének rendszeres megfigyelési adataiból alkalmas módon, a melynek részletezésébe itt nem bocsátkozunk, a vonzás abszorpciójára vont következtetést és azt ily módon a saját kísérleteivel megállapított értéknél jóval kisebbnek találta.

\* \* \*

Végül a *radioaktív anyagokra* vonatkozólag végeztünk néhány kísérletet.

Elsősorban azt vizsgáltuk meg, hogy a *radioaktív anyagok a gravitáció és a tehetetlenség arányossága szempontjából miként viselkednek*. A kísérleti eljárás teljesen ugyanaz volt, mint a melyet a többi anyag vizsgálatánál alkalmaztunk. E célra kis üvegsőbe zárt 0.2 gr. súlyú radiumpreparatumot használtunk,

mely 0.1 gr. tiszta  $Ra Br_2$ -öt tartalmazott, s a melynek aktivitása 1 500 000-szerese volt a fémurániuménak. E preparatumot külön e célra készült rézcsőbe zártuk s így függesztettük a lelógó platina súly helyett az egyszerű nehézségi variometerbe. A megfigyelések a  $x_a - x_{Pt}$  különbség meghatározására az első eljárással történtek. Tekintettel arra, hogy a radiumpreparatum az egész lelógó súly tömegének az  $M_a$ -nak csak  $1/250$  része volt, tehát

$$x_{RaBr_2} - x_{Pt} = \frac{1}{250} (x_a - x_{Pt})$$

s így az e kísérleteinkben elért pontosság ily arányban csökkent.

Megvizsgáltuk továbbá, hogy a radioaktív anyagoknak nincsen-e valami specifikus vonzó, avagy taszító hatásuk, és hogy a Föld vonzó erejét nem abszorbeálják-e? E célra egy másik 0.01 gr. súlyú preparatumot használtunk, melynek aktivitása a fémes urániumának 1 000 000-szorosa volt. A kis üvegcsőbe zárt preparatumot a nehézségi variometer belsejébe helyeztük és pedig a torziós inga rúdjaiba betolt platinasúly mellé. Kísérleteinkben a kis csövecske helyzetét különbözőképen változtattuk: a rúddal párhuzamosan, annak majd az egyik, majd a másik oldalán állott, egyszer alacsonyabban, máskor meg magasabban, mint a lengő rúd.

E kísérleteket többször ismételve a lengő rúdnak nem nagy, de biztos kitéréseit észlelhettük és ezek szerint a preparatum a rúdhoz viszonyított helyzetétől függően vonzó, illetve taszító hatást gyakorolt a rúdra. E jelenséget a radiumpreparatum specifikus vonzó hatásával magyarázhatnók, ha egyszersmind azt tételezzük fel, hogy az a Föld vonzó erejét részben abszorbeálja. Kísérleti tapasztalatainkat még megerősítette az a tény, hogy a preparatum helyett üres üvegcsövecskét helyezvén az eszközbe, az semmiféle hatást nem mutatott. Ellenőrző kísérletképen ezután az eszközbe a preparatuméhoz hasonló méretű üvegcsövecskét helyeztünk, a melybe vékony platinadrót volt beforrasztva, a melyet kívülről hozzávezetett elektromos

árammal oly fokban melegítettünk, hogy a percenként kisugárzott hőmennyiség a radiumpreparatuméval egyenlő legyen. Ez esetben quantitative teljesen ugyanazon eredményeket kaptuk, mint a melyeket a radiumpraeparatumra vonatkozólag észleltünk. A variometeren megfigyelt kitérések tehát hőhatások következményei voltak.

\* \* \*

Az előzőekben úgy a kísérleti módszert, valamint a végzett kísérleteket részletesen ismertettük. Ezek után lássuk vizsgálataink eredményeit.

1. Nagy gonddal végrehajtott, hosszú sorozatos megfigyeléseket végeztünk a *specifikus vonzási együttható*, a  $x$  meghatározására. Különböző összetételű, különböző fajsúlyú, molekulahalmazú, molekulatérfogató és különböző halmazállapotú, valamint különböző szerkezetű anyagokat vizsgáltunk meg e szempontból. Ha adatainkat a platinára vonatkoztatjuk, vagyis a platina gravitációs állandóját normálisnak vesszük, azaz feltételezzük, hogy  $f_{Pt} = f_0$  és így  $x_{Pt} = 0$ , akkor vizsgálataink eredményeit a következő táblázatban állíthatjuk egybe:

	$x - x_{Pt}$
magnalium ... ..	$+ 0.004 \cdot 10^{-6} \pm 0.001 \cdot 10^{-6}$
kigyófa ... ..	$- 0.001 \cdot 10^{-6} \pm 0.002 \cdot 10^{-6}$
réz ... ..	$+ 0.004 \cdot 10^{-6} \pm 0.002 \cdot 10^{-6}$
víz ... ..	$- 0.006 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$
kristályos rézszulfát ...	$+ 0.001 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$
rézszulfát-oldat ...	$- 0.003 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$
azbeszt ... ..	$+ 0.001 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$
faggyú ... ..	$- 0.002 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$

Mindezen anyagokra nézve tehát a Föld vonzását illetőleg  $x < 0.005 \cdot 10^{-6}$ , azaz kisebb, mint annak  $1/200\ 000\ 000$  része.

A LANDOLT-féle ezüstszulfát-ferroszulfát reakcióra nézve a

reakció előtti  $x$  és utáni  $x'$  közötti különbség meghatározásunk szerint:

$$x - x' = 0.001.10^{-6} \pm 0.002.10^{-6}$$

A kristályos rézszulfát vízben való oldásakor HEYDWEILLER szerinti töménységben, ugyanezen különbség:

$$x - x' = -0.001.10^{-6} \pm 0.002.10^{-6}$$

Méréseink pontossága LANDOLT és HEYDWEILLER vizsgálatainak pontosságát messze felülmuta s eltérést még sem tapasztaltunk. Ők a mérleg érzékenységének határán lévő igen kényes méréseket rendszeres körülmények között végezték s így kísérleteikbe rendszeres hibák jutottak, a melyeket egyezésüknél fogva reális eredménynek minősítettek.

2. A délkörben történt észleléseknél a Nap vonzásának különbsége magnalium és platinára

$$x_{\text{magnalium}} - x_{\text{Pt}} = +0.006.10^{-6}$$

3. A vonzás abszorpciójára vonatkozólag gravitációs kompenzátorral végzett kísérletek szerint egy 5 cm vastag ólomlap abszorpciója kisebb, mint  $0.00002.10^{-6}$ , azaz mint az egész vonzóerőnek ötvenezermilliomod része. Ezen eredmény átszámításával az egész Földnek abszorpciójára nézve egyik átmérője mentén kapjuk, hogy az kisebb, mint a Föld vonzó erejének  $\frac{1}{800}$ -ad része.

Az apály és dagály jelenségéből és HECKER megfigyeléseiből pedig azt következtethetjük, hogy a Föld abszorpciója egyik átmérője mentén kisebb, mint a Nap vonzásának  $\frac{1}{10000}$ -ed része.

4. A radioaktív anyagokra vonatkozólag megállapítottuk, hogy

$$x_{\text{Ra Br}_2} - x_{\text{Pt}} = -0.25.10^{-6} \pm 0.50.10^{-6}$$

továbbá, hogy azok esetleges specifikus vonzása avagy taszítása mindenesetre kisebb egy olyan erőnél, a melynek nagyságrendje

$1.10^{-6}$ ; végül hogy azok a Föld vonzásával szemben észrevehető abszorpciót nem gyakorolnak.

Vizsgálataink végeredményét röviden a következő szavakban foglalhatjuk össze: *hosszú észlelési sorozatokat végeztünk, a melyeknek pontossága minden előzőt felülmúl, de egyetlen egy esetben sem állapíthattunk meg észrevehető eltérést a gravitáció és tehetetlenség arányosságának törvényétől.*

Ujabbban e törvény és annak szigorú kísérleti igazolása jelentőségében nagyon emelkedett EINSTEIN általános relativitási elmélete<sup>131</sup> folytán, a melynek egyik sarkalatos alapját képezi.

*Pekár Dezső és Fekete Jenő.*