

408.451

Kiadja az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Budanesten.

A BÁRÓ EÖTVÖS LORÁND-FÉLE GEOFIZIKAI MÉRÉSEKRŐL.

IRTA:

DR. PEKÁR DEZSŐ.



KÜLÖNLÉNYOMAT

A «BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK» 1917. ÉVFOLYAMÁNAK 14. SZÁMÁBÓL.



BUDAPEST.

PALLAS RÉSZVÉNYTÁRSASÁG NYOMDÁJA

1917.

408.451



2004

A báró Eötvös Loránd-féle geofizikai mérésekről.

Irta: DR. PEKÁR DEZSŐ.

E czímen folyó év április hó 16-án Selmezbányán a bányászati és erdészeti főiskola bányavegytani tantermében bemutatásokkal kapcsolatos előadást tartottam. Tekintettel a bányászörököknek e mérések iránt való egyre fokozódó érdeklődésére, előadásom szövegét e folyóirat hasábjain közlöm.

* * *

A «Selmezbányai Gyógyászati és Természettudományi Egylet» elnökségének megtisztelő felszólítására örömmel vállalkoztam jelen előadásom megtartására. Örömbömben azonban némi aggodalom is vegyül, még pedig azért, mert a tárgy, a melyről szólni akarok, nagyon terjedelmes és meglehetősen elvont. Igyekezni fogok azt lehetőleg röviden és népszerű formában előadni, de mindamellett ezen igyekezetem csak akkor lehet sikeres, ha Önök, mélyen tisztelt hölgyeim és uraim megtisztelnak szíves türelmükkel és figyelmükkel.

Az a probléma, amely ezen méréseknek mintegy alapját képezi, magát *Eötvös* Loránd bárót már régóta foglalkoztatta. Az első ilyen fajta mérések a laboratórium-ban történtek, azután egyes próbák a Sághegyen 1891-ben, majd a Gellérthegy aljában, Szentlőrinczen és Budapesten, valamint környékének egyes helyein. Az első részletesebb felvételt 1901-ben a Balaton jegén végeztük. Azóta a részletes felvételek folytonosan és pedig egyre jobban szélesbedő mederben folynak. 1907-ig a *Magyar Tudományos Akadémia*, illetve *Dr. Semsey* Andor bőkezű támogatása tette lehetővé e mérések végzését, ez időtől kezdve pedig az állam nagymérvű anyagi támogatása biztosítja azok folytatását. A szabadban való felvételek, az e célra szervezett mérési expedíciók vezetése már kezdetől fogva az én feladatom.

Előadásom folyamán részletezni kívánom, hogy mire vonatkoznak e mérések, miként végezzük azokat, mit következtethetünk belőlük és végül magát az expedíciós életet, a mérési folyamatot akarom vetített képekben bemutatni.

A felvételek folyamán végzett különböző mérések összefoglalását a következő egybeállítás tünteti fel:

1. A nehézségi erőre vonatkozó mérések	A) szokásos módszerekkel az erő abszolút adatainak meghatározása	a) irány meghatározás asztronómiai és geodéziai mérésekkel;
	B) az Eötvös-féle eszközökkel az erő változásainak mérése	b) nagyság meghatározás ingával;
2. A földmágnességi erőre vonatkozó mérések	A) abszolút meghatározások	a) tényleges gravitációs mérések;
	B) relatív meghatározások	b) kiegészítő mérések.
		a) irány meghatározás: deklináció és inklináció mérés;
		b) nagyság meghatározás: horizontális intenzitás mérés;
		a) deklináció mérés;
		b) horizontális intenzitás mérés.

Ez egybeállítást egyelőre bővebben nem tárgyalom, a részletezésre majd előadásom folyamán reákerül a sor.

* * *

A mérések első része a *nehézségi erőre* vonatkozik. Mi a nehézségi erő? Az az erő, amelynek egyik megnyilvánulása, hogy a testeknek súlyuk van, hogy a vízszintes alapra bizonyos nyomással reánehezednek. Ez nyilvánul meg továbbá akkor is, ha egy testet elbocsátunk: az leesik, mozgást végez, a szabad esést. Ha az erőt pontosan meg akarjuk határozni, két adatát kell megadnunk: az *erő irányát* és az *erő nagyságát*.

A *nehézségi erő irányát a függőön adja meg*. Ha ugyanis egy súlyos testet fonálra akasztunk, a fonál iránya jelzi a nehézségi erő irányát, a «függélyest». Ezt az irányt nyújtja közvetve a libella, a vízszintező is, az a közismert eszköz, amely lényegében nem egyéb, mint egy kevésbé görbült cső. A cső folyadékjában mozgó buborék középső állása esetén az eszköz alapja ugyanis a «vízszintes» irányt jelöli ki, mely a függélyesre pontosan merőleges. Tudvalevőleg a függőön nagyjából a föld közepe felé mutat. Pontosabban véve azonban, már normális viszonyok feltételezése esetén is, a tényleges irány ettől eltér. Ennek okait nem részletezem, csupán fel-
említem, hogy többek között a föld forgása a függőön irányát lényegesen befolyásolja. E mondjuk normális eltérésektől eltekintve, szabálytalan eltérések is vannak. Ezeket általában *függőön-eltéréseknek* nevezzük, s okaikat később részletezzük.

A függőön-eltérések meghatározására használatos módszerek részletes tárgyalása ez előadás keretében nem lehet célom, csupán főbb vonásokban jelezni kívánom meghatározásuk módját. A kérdéses állomásokon, pl. két egy délkörön fekvő helyen csillagászati megfigyelésekkel megállapítjuk a két állomás földrajzi szélessége közötti különbséget, szóval azt a szögletet, amelyet a két állomás függélyese egymással tényleg bezár. Ezután geodéziai módszerekkel, háromszögelés segélyével megmérjük a két állomás egymástól való távolságát, azaz a közbeeső ívet. Ez utóbbi megmondja, hogy a két állomáson a függőön által bezárt szögnek mekkorának kellene lennie. A két különböző úton meghatározott adat különbsége megadja a két állomás közötti függőön-eltérést észak-dél irányban számítva. Lényegében hasonló eljárásokkal határozzuk meg a kelet-nyugat irányba eső függőön-eltéréseket is. Az ily módon nyert értékek természetesen a *relatív függőön-eltéréseket* adják, ha azonban egy teljesen zavartalan, normális állomásból indulunk ki, akkor magukat az *abszolút adatokat* is megkapjuk.

A másik tényező, amely az erőt meghatározza, az *erő nagysága*. Az erő nagyságát a tömegegység, nevezetesen a gramm súlyával szoktuk definiálni. Szóval egyszerűen az *egy gramm súlya határozza meg a nehézségi erő nagyságát*. Ez azonban, amint az a későbbiekben érthető lesz, helyről-helyre változik, s éppen azért értékét valamely változatlan erőegységben kell kifejeznünk. A fizikusok úgy ezen, mint más esetekben is általában oly egységeket használnak, amelyek teljesen változatlanok és

biztosak. E célra bizonyos alapegységekből indulnak ki és pedig rendesen a hossz-, tömeg- és időegységből, a centimeter, gramm és másodperciből. Ezeket és az ezekből lezármaztatott különféle egységeket a kezdőbetűik szerint *CGS* egységeknek nevezik. A visszavezetés mindenkor megfelelő fizikai összefüggések, törvényszerűségek alapján történik. Az erő *CGS* egysége a *dyn*. Hogy ezt miként állapították meg, annak magyarázatába nem bocsátkozom.

Oltyay Károly pontos mérései alapján Budapesten a műegyetem geodéziai intézetének alagsor helyiségében egy gramm súlya, vagyis

$$\text{a nehézségi erő} = 980.852 \text{ dyn.}$$

A meghatározás $\varphi = 47^\circ 28'9''$ földrajzi szélességű, $\lambda = 19^\circ 3'2''$ Greenwich-től számított keleti hosszúságú és az Adria szintje felett $m = 105.6$ méter magasságu helyre vonatkozik.

Az erőt annak iránya és nagysága teljesen meghatározza. Ha az erőt rajzban akarjuk feltüntetni, akkor azt nyíllal ábrázoljuk és pedig nyilat az erő irányába fektetjük, a nyíl hosszát pedig az erő nagyságával arányosan rajzoljuk.

A nehézségi erő nagyságát rendszerint ingával szokás meghatározni. Az inga lengésideje többek között a nehézségi erőtől függ, mert hiszen az ingát éppen a nehézségi erő mozgatja. Ha az ingát egyensúlyi helyéből kimozdítjuk, akkor az lengéseket végez s ezek időtartamából magát a nehézségi erőt meghatározhatjuk. Ha a nehézségi erő növekszik, az inga lengésideje kisebbedik. Ezt kísérletileg is könnyen igazolhatom, ha egy ingára alul gummizsinórt erősítek és azt megfeszítem. Ez esetben ugyanis már nemcsak a nehézségi erő, hanem a gummi rugalmas ereje is lefelé húzza az ingát és az gyorsabban leng, mint azelőtt; vagyis az inga a megváltozott erő hatása alatt lengés idejét is megváltoztatta. Ha tehát pl. itt e helyen és Budapesten ugyanazon változatlan inga lengésidejét lemérjük, a kettőnek különbségéből magát a két helyen működő nehézségi erő különbségét közvetlenül kiszámíthatjuk. Ilyetén módon tehát a budapesti értékből kiindulva a nehézségi erőt Selmeczbányán pontosan meghatározhatjuk.

Ha ily méréseket végzünk, arra az eredményre jutunk, hogy a nehézségi erő a föld különböző helyein más és más. Hogy e változás okaiba némi bepillantást nyerjünk, legcélszerűbben az elméletből indulhatunk ki. E szerint a nehézségi erő nem egyszerű erő, hanem tulajdonképen már két erő eredője. E két erő a föld vonzó ereje és a föld forgásából származó centrífugális erő.

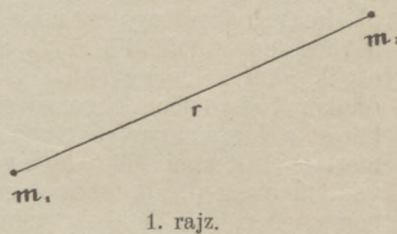
A vonzó erő a testek között mindenütt működik és azok anyagi minőségéből független. Törvényét Newton állapította meg s ezt az egy alapformulát nem mellőzhetjük. Képzeljünk ugyanis egy pontban m_1 tömeget és tőle r távolságban lévő másik pontban m_2 tömeget (1. rajz), akkor a vonzó erő P , amelyet azok egymásra gyakorolnak a következő módon fejezhető ki:

$$P = f \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

E képlet jelentése roppant egyszerű. Minél nagyobbak a ható tömegek, annál nagyobb az erő, amelyet azok egymásra gyakorolnak, és minél nagyobb a távolság, minél messzebb vannak a testek egymástól, annál kisebb és pedig a távolság négyzetének arányában. A képletben fellépő f szorozó, illetve arányossági tényező nagyon fontos szám, amelynek egyszersmind fizikai jelentése is van. Értelmét rögtön megmondhatjuk, ha ugyanis feltesszük, hogy

$$m_1 = 1, m_2 = 1 \text{ és } r = 1, \text{ akkor } P = f$$

vagyis f az az erő, amelyet a tömeg egysége a tömeg egységre a távolság egységéből gyakorol. A *CGS*-rendszerben tehát az f azon erőt jelenti, amelylyel 1 gramm tömeg



1. rajz.

egy másik 1 gramm tömegre 1 centiméter távolságból hat. Ez a gravitáció állandója, a gravitációs konstans. Értéke:

$$f = 0.000\,000\,066\,3 \text{ dyn} = 0.000\,000\,000\,067\,6 \text{ gramm súly (Budapesten).}$$

Első pillanatra talán meglep bennünket, hogy ez az erő ily roppant kicsi. De ez nem lehet meglepő, ha meggondoljuk, hogy a gramm súlya az az erő, amelyet a föld az ő rettenetes nagy tömegével egy gramm tömegre gyakorol. Természetes tehát, hogy azon erőnek, amelyet csupán egy gramm, a földhöz képest igen csekély tömegével egy másik grammra gyakorol, vagyis a gravitációs konstansnak nagyon kicsinek kell lennie. Ez különösen fontos a következőkre nézve is, mert ez az oka, hogy azon erők, melyeket le kell mérnünk, nagyon kicsinyek.

A vonzó erőnek ez a törvénye közvetlenül megmagyarázza azon jelenséget, hogy a nehézségi erő csökken, ha felfelé emelkedem pl. egy hegyre felmegyek. Ez esetben a földtől való távolság az r nagyobbodik és ennek megfelelőleg az erő kisebbedik.

A nehézségi erőnek másik, észak-dél irányban való haladáskor fellépő változását a *centrifugális erő* okozza. Ez az erő minden forgó mozgáskor fellép és a forgó testet a forgás centrumától, a forgás tengelytől eltávolítani igyekszik. Ez okozza pl., hogy a megforgatott kő a parittyából elrepül, hogy a forgó kocsi kerékről a sár lefröcsöcsen stb. Földünkön a centrifugális erő sokkal kisebb, mint a vonzó erő, még ott is, ahol a legnagyobb t. i. az egyenlítőn annak csak $\frac{1}{300}$ része. Éppen ezért földünkön túlnyomóan a vonzó erő érvényesül. Miután pedig a centrifugális erő többek között a forgástengelytől való távolsággal arányos, legnagyobb lesz az egyenlítőn, mert ott a tengelytől való távolság is a legnagyobb. A sarkokon a forgástengelytől való távolság 0, itt tehát a centrifugális erő is 0 lesz. Ezt az erőt tehát irány és nagyság szerint le kell vonnunk a föld középpontja felé irányított vonzó erőből, akkor kapjuk meg a két erő eredőjét, a nehézségi erőt. Ez az oka, hogy a nehézségi erő a sarkoktól az egyenlítő felé haladva csökken, az egyenlítőnél pedig a legkisebb.

Hogy fogalmunk legyen arról, milyen rendűek körülbelül e változások, felemlítem a következő két hozzátételeget adatot. Ha 300 méterrel fölfelé emelkedem, a nehézségi erő $\frac{1}{10\,000}$ részzel csökken, ugyancsak annyival csökken, ha vidékünkön 1 szélességi fokkal délfelé megyek. Egy szélességi foknak körülbelül 111 kilométer távolság felel meg, ilyen pl. a Budapest és Kalocsa közötti távolság. Ez tehát azt jelenti, hogy ha egy 10 kilogrammost, amelynek éppen $\frac{1}{10\,000}$ része a gramm, egy fokkal délre, pl. Budapestről Kalocsára viszek, akkor az éppen 1 gramm súlyával lesz könnyebb. Tévedések elkerülése végett felemlítem, hogy ezt közönséges mérleggel észre nem vehetjük, mert amennyivel megváltozik a mérendő tárgy súlya, ugyanolyan mértékben változik meg a mérő súlyok súlya is. Ezért ezt a változást csak olyan mérleggel mérhetjük le, amely egy állandó erővel mér, amilyen pl. a rugós-mérleg.

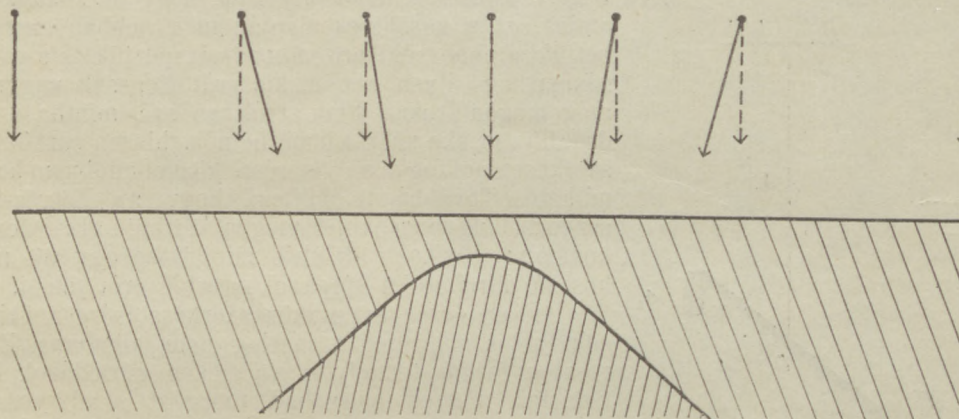
Az eddig említett változások a nehézségi erőnek, hogy úgy mondjam, *szabályos, normális változásai*. Ezekhez még más *szabálytalan változások* is csatlakoznak, amelyek a föld felület egyenetlenségeiből és a kőzetek különféleségéből keletkeznek. A föld felülete ugyanis nem sima, hanem hegyes-völgyes, továbbá anyagát tekintve, nem egynemű, hanem belsejében különböző sűrűségű rétegek váltakoznak. Hogy a földfelület látható kiemelkedései, a hegyek gravitációs zavarokat okoznak, az már régóta ismeretes. Nagy hegységek közelében tapasztalták, hogy a függőn a hegy felé hajlik, a nehézségi erő iránya megváltozik. E hatásokat a vonzóerő alapján közvetlenül megérthetjük. Ugyancsak zavarokat okoznak azonban a föld felszíne alatt elterülő különböző sűrűségű rétegek is. Tudjuk ugyanis, hogy a vonzóerő a tömegekkel arányos, s így a különböző sűrűségű rétegek különböző mértékben vonzanak s így első pillanatra szabálytalanul látszó változásokat okoznak.

Hogy e hatásokról némi képet alkothassunk, vegyük kissé közelebről szemügyre a következő egyszerű vázlatos esetet. Képzeljük, hogy a föld felszíne alatt

egy a felületes rétegnél sűrűbb tömegből álló kiemelkedés van, melyet a 2. rajzon a sűrűbb sraffozással tüntettünk fel. Ennek hatása a föld felületén a nehézségi erőben akként fog nyilvánulni, amint azt a kihúzott nyilak mutatják. Összehasonlítás kedvéért a rajzban a nehézségi erő normális értékét is feltüntettem, még pedig a szaggatott vonalú nyilakkal. Ezek tehát azon esetre vonatkoznak, ha a föld felszíne alatt a zavaró nagyobb sűrűségű tömeg nem volna. A folytonos vonallal kihúzott nyilakat szemügyre véve, úgy az erő nagyságában, valamint irányában változásokat tapasztalunk.

Az erő nagyságára vonatkozólag azt látjuk, hogy miután a sűrűbb és így nagyobb tömeg a környezeténél jobban vonz, közvetlenül felette az erő, a nyíl hossza a legnagyobb. Ettől jobbra, avagy balra távolodva, az erő csökken, a nyilak rövidebbek lesznek. Végül nagy távolságra haladva, amit az aránylag nagyon közel rajzolt szélső nyillal tüntettünk fel, a zavaró tömeg hatása megszűnik és a nehézségi erő normális értékét veszi fel.

Az erő irányára vonatkozólag azt tapasztaljuk, hogy a sűrűbb tömeg nagyobb vonzása folytán a nyilak a felé hajlanak. Jobban eltávolodva a zavaró tömegtől, az



2. rajz.

irányeltérések ismét csökkennek s végül nagy távolságban megszűnnek, az erő iránya normálissá válik, amint azt a szélső nyíl jelzi.

Megjegyzem, hogy a rajzban e hatásokat rettenetesen túloztuk, a valóságban ezek igen kicsinyek. Nagy zavarok esetén is, a legnagyobb eltéréseket véve figyelembe, a nagyságbeli változás a nehézségi erőnek csak néhány százvezred része, az irányváltozás pedig csak néhány másodperc. Ha ennek megfelelőleg hűen készítettük volna el rajzunkat, akkor a kihúzott nyilak a szaggatottakkal teljesen összeesnének, mintha látszólag semmi zavar sem volna. A tárgyalt esetben a vízszintes irányban haladva figyeltük meg a zavaró tömeg hatását. Teljesség kedvéért csupán felemlítem, hogy ha a zavaró tömeg közelében, de nem közvetlenül felette, függélyes irányban lefelé haladunk, akkor is úgy az erő nagyságában, mint irányában hasonló jellegű változásokat tapasztalunk.

Minthogy e változások nagyon kicsinyek, éppen ezért a régebbi módszerekkel azokat rendkívül nehezen és hosszadalmasan, vagy egyáltalában nem tudták lemérni s a megfigyeléseket rendszerint egymástól nagy távolságra fekvő helyeken végezték. Eötvös Loránd bárónak támadt az a gondolata, nem-e lehet oly eszközt szerkeszteni, amelylyel a nehézségi erő változásait igen kis térben, magának az eszköznek terében lemérhetjük, amely tehát nem magát a nehézségi erőt, hanem közvetlenül annak változásait méri.

Az eszköz megszerkesztésében az első főnehézség abban rejlik, hogy annak igen érzékenynek kell lennie. A nehézségi erőnek lemerendő változásai ugyanis nagyon

kicsinyek. Ennek daczára Eötvös bárónak eszközével a szükséges érzékenységet elérhetjük és az erő változását (a gradienst, amelylyel majd a későbbiekben részletesen foglalkozunk) körülbelül a gramm súlyának billiomod részét tevő pontossáig meghatározhatjuk. Hogy ez mily kis erőt jelent, ezt egy hasonlattal kívánom érzékíteni, mert a közvetlen érzéklésen kívül eső nagyon kis és nagyon nagy számokat nem tudjuk jól elképzelni. Gondoljuk el sorban a következő egyre növekedő távolságokat: Utazom Budapestről Vácra, ez 34 km., Bécsig 278, Hamburgig körülbelül 1000 km. Köröskörül utazom a földgolyót, ez az előzőkhöz képest jelentékeny nagy távolság 40 000 km. Ha 25-ször körülutazom a földet, éppen egy millió kilométert tettem meg. Fejezzük ki ezt milliméterekben:

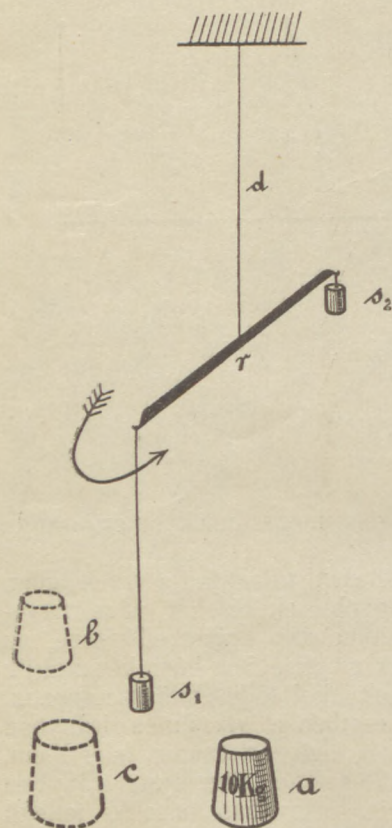
$$25 \times 40\,000 \text{ kilométer} = 1\,000\,000 \text{ kilométer} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ milliméter.}$$

Képzeljük most, hogy valami ördögös gépezettel ezt a kis 1 grammos súlyocskát oly vékony dróttá nyújtjuk, hogy az 25-ször körül éri a földet. E finom drótból, amelyet semmiféle nagyítóval, mikroszkóppal meglátni nem lehetne, 1 milliméter hosszú darabocskának súlya éppen 1 billiomod gramm. Félreértések elkerülése

végett ismételve hangsúlyozom, hogy eszközünkkel, amint azt a későbbiek alapján még jobban megérthetjük, a nehézségi erő változásait mérjük és e változásban egy ilyen rendű kis erőt képesek vagyunk még meghatározni. Nem arról van szó, mintha e kis drótdarabocskára súlyát lemérhetnők, hiszen eszközünk szerkezeténél fogva súlymérésre közvetlenül nem használható. Továbbá felemlítem, hogy az Eötvös-féle eszközzel ugyancsak jól meghatározható gravitációs konstans e vékony drótból mindössze egy 67 mm. hosszú darabocskára súlyával egyenlő erőt jelent.

Ilyen érzékeny eszköz szerkesztésére a fizikusok fontos műszere, a mérleg nem alkalmas. Egyrészt a forgás tengelyen, az éleken súrlódások lépnek fel, melyek a szabad mozgást akadályozzák, másrészt a mérlegre mindenkor az egész nehézségi erő hat, s ilyen nagy erő mellett az igen kicsit lemérni lehetetlen. Általában másfajta méréseknél is ugyanazt tapasztaljuk, pl. a hosszmeréseknél is. Így Budapest és Selmeczbánya távolságában 1 centimétert meghatározni teljes lehetetlen, ellenben egy-néhány centiméteres rudacska hosszát $\frac{1}{1000}$ milliméter pontossáig kényelmesen megmérhetjük.

Éppen ezért e célra Eötvös Loránd báró a torziós ingát használta fel, amelyre a nehézségi erő a maga egészében nem hat. Az eszköz nem is magát a nehézségi erőt, hanem csupán a nehézségi erőből származó vízszintes összetevőket méri. A fizikusok a torziós mérleget kis erők mérésére régóta használják. Eötvösnek azonban sikerült ez eszközt annyira érzékenynyé és biztossá tenni, hogy vele annak különböző részeire ható nehézségi erők igen kis különbségeit



3. rajz.

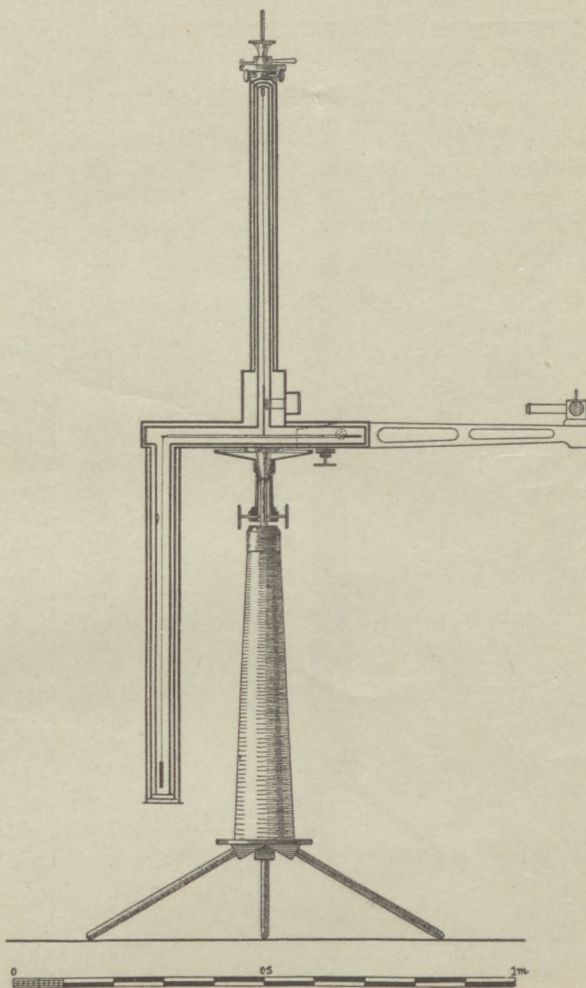
lemérhette. Az e célra szerkesztett különböző alaku torziós ingák közül csak a leggyakrabban használatosat ismertetem, annyival is inkább, mert ez a nehézségi erő változásainak megismerésére a legtöbb adatot nyújtja. Az eszköz vázlatos modelljét a 3. rajzon látjuk. A vékony d dróton r vízszintes rúd lóg, amelynek két vége s_1 és s_2 különböző magasságban lógó, de egyenlő súlyokkal van megterhelve. Az eszköz a d drót körül elcsavarodva a vízszintes síkban végezhet mozgásokat, amint azt a nyíl is mutatja. A függőleges irányban ható nehézségi erő a maga egészében

ben nem csavarhatja el a rudat, mert hiszen a mozgás létrejöttére a mozgás irányába eső vízszintes erő szükséges. Ha azonban, amint az a valóságban tényleg úgy is van, az s_1 és s_2 súlyokra ható nehézségi erő nem teljesen egyenlő irányu, akkor ezek összehatásából fenn fog maradni egy kis vízszintes erőcske, amely a rudat elforgatja.

Hogy az eszköz működését jobban megértessem, azt egy kísérleti példával demonstrálom. Megjegyzem, hogy e durva modellel magát a kísérletet tényleg nem hajthatom végre, e célra már magát a tényleges eszközt kellene felhasználnom. Itt csupán a fellépő hatásokat óhajtom szemléltetni. Ha az s_1 súly közelében oldalt az a helyre teszem a 10 kgrammost, akkor ez közelebb lévén az s_1 alsó súlyhoz, azt jobban vonzza, mint a felső s_2 -öt. Ennek megfelelőleg az s_1 -re gyakorolt vonzó erőnek a mozgás irányába eső vízszintes összetevője is nagyobb lesz, mint az s_2 -re gyakorolt vonzó-erőé. E két erőösszetevő a rudat egymással ellentett irányban igyekszik elforgatni s így a kettő különbségének megfelelőleg az r rúd a nyíl irányában elfordul és pedig oly fokban, hogy a megcsavart drót rugalmas ereje a hatóerővel éppen egyensúlyban legyen. Ha most a 10 kgrammost a hátsó b helyzetbe teszem, akkor az a nyíllal ellenkező irányban forгатja el az eszköz rúdját. Ha a rúd e két helyzete által alkotott szögletet lemérjük, ebből ismerve az eszköz érzékenységét, a ható erőt, sőt a távolságok pontos ismerete mellett a ható tömeget is meghatározhatjuk. A hatás tehát, amit a 10 kgrammos az eszközre gyakorol, első sorban attól függ, hogy milyen helyzetben van az a lógó súlyokhoz, illetve a rúdhöz képest. Azon esetben, ha a 10 kgrammost a rúd irányába, illetve az azon keresztül fektetett függélyes síkba, pl. a c helyzetbe tesszük, akkor annak semmi hatása sem lesz, mert ez esetben a hatóerőknek a rúdra merőleges, a mozgás irányába eső összetevőjük nem lehet.

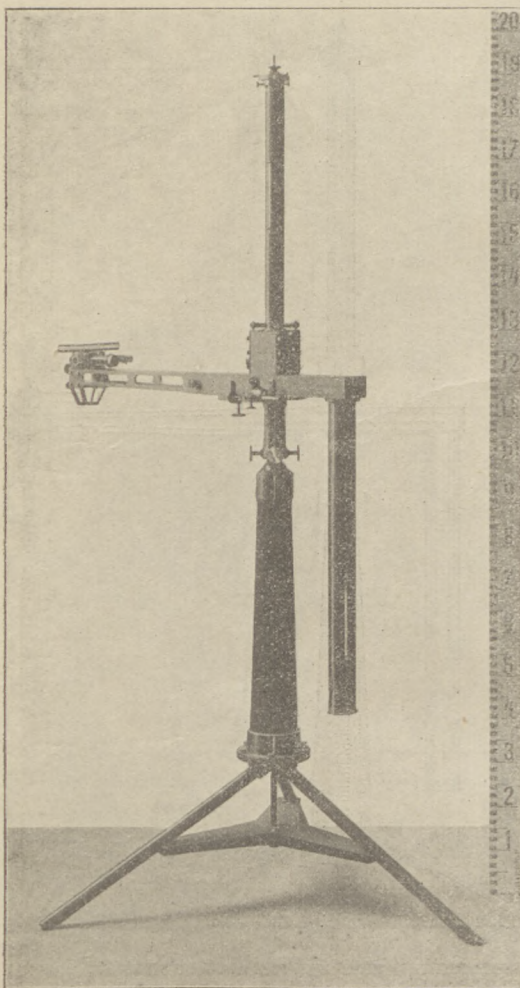
Általában véve a föld alatt lévő sűrűbb tömegek éppen úgy elcsavarodásokat hoznak létre eszközünkben, mint kísérletünkben a közelébe helyezett súly. A mondottak alapján önként beláthatjuk, hogy ha a szabadban mérünk és a föld alatt ismeretlen tömegeket keresünk, akkor az eszközt különféle állásokban kell leélszlelnünk, hogy ezekből a meghatározandó adatokat kiszámíthassuk és azután a földalatti tömegekre következtethessünk.

Magát a tényleges eszközt, melynek keresztmetszetét a 4. rajzon látjuk, a legkörülmétezőbb gonddal és a legnagyobb finomsággal kell megcsiszolni. A torziós drót maga nagyon vékony 0.04 mm.-es platina-irridiumdrót, amely különböző előzetes



4. rajz.

műveletekkel állandóvá van téve. Tulajdonképen ez a drót az eszköz lelke, mert annak elcsavarodásával mérjük a ható erőt. Ezért e drótnak nagyon állandó rugalmas tulajdonságúnak kell lennie. Maga a lengőszerkezet, a vízszintes rúd alumíniumból készült, egyik végére platinalapocska van erősítve, másik végén pedig vékony drótra függesztve egy körülbelül 30 grammos platinahenger lóg le. A rúd elcsavarodását a fizikában gyakorta használatos tükörleolvasással észleljük. A rúd függélyes toldalék részére egy kis tükör van erősítve, amely tehát azzal együtt mozog. A tükörrel szemben egy hosszabb kar végén a távcső és felette a skála van elhelyezve, amint azt a keresztmetszet jobboldalán látjuk. Ha a rúd elfordul, akkor azzal együtt a tükör és így a távcsőben látható skálakép is elmozdul, amit azután a távcsőben lévő fonálkereszt segítségével pontosan megfigyelhetünk. E berendezéssel tehát igen kis szögelfordulásokat is leészlelhetünk.



5. kép.

Az eszközt természetesen védünk kell a külső zavaró hatásoktól, a légáramlatoktól, a gyors hőmérsékletváltozásoktól, amelyek belsejében ugyancsak légáramlásokat okoznak, stb. Ezért maga a lengő szerkezet 3–5 mm. vastag rézlemezekből, illetve csövekből készült hármass fémtokba van bezárva. Maga az egész eszköz masszív oszlopra van helyezve és pedig akként, hogy függélyes tengely körül elforgatható s így a világtájak szerint különböző irányokba állítható. Az 5. képen az eszköz fotografiáját látjuk.

Az eszközt különböző állásokba hozva, végezzük az észleléseket, megfigyelve mindenkor a megnyugodott rúd egyensúlyi helyzetét. Az eszköznek újabb állásba való forgatásakor ugyanis a lengő szerkezet lökéseket kap és jó ideig ide-oda mozog, amely mozgás azonban egy óra leforgása alatt teljesen megszűnik, amikor is a rúd újabb egyensúlyi helyzetét ismét leészleljük és így tovább. A módszer elmélete szerint legalább öt állás szükséges ahhoz, hogy az összes adatokat kiszámíthassuk. Rendszerint eszközünket észak-dél irányba állítva kezdjük el az észleléseket s ezután óránként 72–72°-kal tovább forgatva végezzük a további megfigyeléseket.

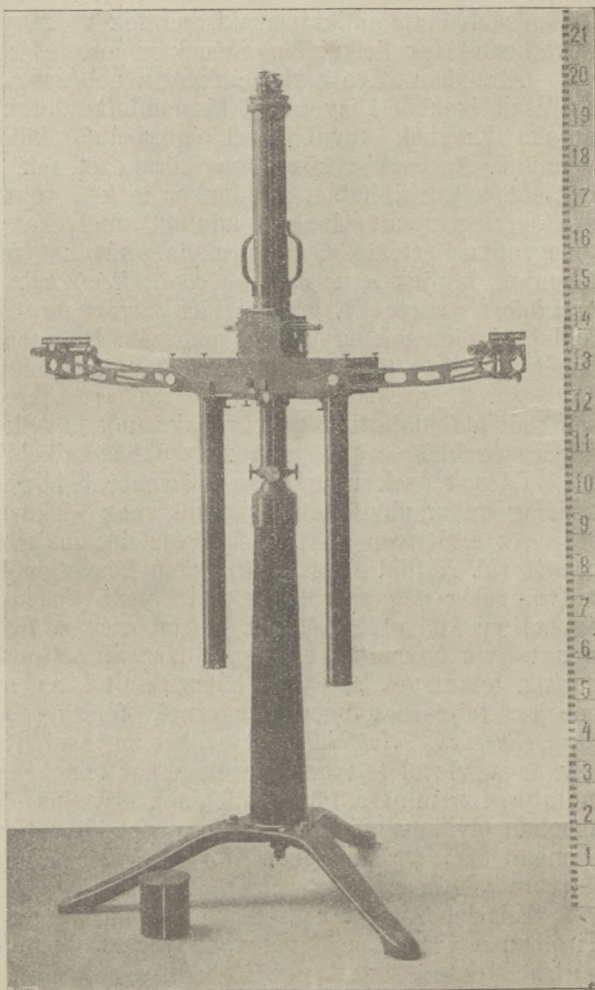
A mérés hosszadalmasságának csökkentésére *Eötvös* egy másik úgynevezett *kettős gravitációs* eszközt szerkesztett, melynek külsejét a 6. képen látjuk. Tulajdonképen ez nem más, mint két egymás mellé helyezett műszer, amelyek egymáshoz képest 180°-kal el vannak forgatva, ellentett állanak, amint azt a képen a lefelé nyúló csövek is elárulják. Az egyik eszköz elöl, a másik hátul van, egymástól teljesen függetlenek, csak közös állványra vannak reászerveelve. Közvetlenül beláthatjuk, hogy a hatás, amelyet a távolból ható tömegek a két eszközre gyakorolnak, általában egymással ellentett lesz. Ez esetben tehát egyidejűleg mindenkor két eszközzel észlelünk, s így kevesebb, ez elmélet szerint már három állásban való észlelés

elegendő. A kettős gravitációs eszközzel tehát az észak-dél irányban s azután csupán az azzal 120° és 240° -ot bezáró irányokban végzünk észleléseket, amelyekből a meghatározandó adatokat mind kiszámíthatjuk. Ujabban általában e kettős eszközöket használjuk. A műszert régebben a szállításhoz több darabra kellett szétszedni, ami a vele való bánást nehézkessé és hosszadalmassá tette. Az újabb eszközök csupán három darabból állanak: a három láb-, az oszlop- és a tulajdonképeni eszközből. Természetesen az ily fajta műszereknél arról is kellett gondoskodnunk, hogy szállítás előtt a lengőszerkezetet megfelelő berendezés révén kívülről megfoghassuk, arretálhassuk.

A szabadban való méréseknél az eszközt külön sátorban állítjuk fel, hogy az időjárás viszonyai, valamint a gyors hőmérsékletváltozásoktól megvédjük. A sátor, illetve házikó erős vízhatlan vászonból való és kettős falú; a két fal köze hőszigetelés céljából faforgácsal van kitöltve. Az eszközt külön e célra készült műszerkocsiban szállítjuk, amelybe az kényelmesen behelyezhető, valamint gyorsan és biztosan rögzíthető. Előadásom folyamán gravitációs műszernek és az észlelő házikónak felállítását, szállítását vetített képekben bemutattam.

A gravitációs mérésekkel kapcsolatban egyes *kiegészítő méréseket* is kell végeznünk. Eszközünkre ugyanis az összes tömegek, tehát nemcsak a földalattiak, hanem a föld feletti látható tömegek is hatnak. Ha méréseinkből a földalattiakra akarunk következtetni, akkor a földfeletti hatásukat tekintetbe kell vennünk. Éppen ezért a látható felszín egyenetlenségeit le kell mérnünk. Ezt az eszköz közelében 100 méter távolságig *nivellálás* útján határozzuk meg, lényegében körülbelül hasonló módon, mint az a mérnöki gyakorlatban szokásos. E nivellálási adatokból az észlelési hely közelében elterülő terep felszín-egyenetlenségeiből származó hatást, a *terrain-hatást* számíthatjuk ki. Ha esetleg mélyebb árkok, avagy magasabb töltések stb. vannak az észlelési hely közelében, ezek külön lemérendők és hatásuk ugyancsak számításba veendő.

Természetesen eszközeinkre a távolabbi hegyek is hatnak, ezeknek hatása azonban a nagyobb távolság miatt jóval kisebb, amiért is ezt a katonai térképek alapján elegendő pontossággal kiszámíthatjuk. Végül megjegyezzük, hogy a föld nem teljesen gömb alakja a nehézségi erő változásaiban is megnyilvánul, s ez a földalakból kiszámítható hatás adja az úgynevezett *normális értékeket*. Csak mindezen hatások tekintetbe vétele után következtethetünk méréseinkből a földalatti tömegekre.



6. kép.

Az említetteken kívül még másfajta kiegészítő méréseket és munkálatokat is kell végeznünk, amelyek részletezésébe azonban nem bocsátkozom.

* * *

Méréseinket elvégezvén, az adatok feldolgozása következik. Éppen azt szándékozom a következőkben kissé részletezni, hogy észlelési adatainkból mi mindent határozhatunk meg. E célból tulajdonképpen fel kellene írnom mindenekelőtt az eszköz formuláját, s ebből kiindulva, kellene a kérdést tárgyalnom. Ezt a leghelyesebb és legszabatosabb utat azonban jelen előadásomban nem követhetem, mert az különösebb matematikai szakismereteket igényelne. Ezért inkább csupán a főbb következtetések fizikai lényegének ismertetésére szorítkozom.

Általában véve eszközeinkkel a nehézségi erő változásait határozhatjuk meg. Az észlelésekből közvetlenül kiszámított adatok a közvetlenül észlelt eredményeket adják. Ezeknek további feldolgozásánál különböző korrekciókat kell tekintetbe vennünk. Az eszköz közvetlen környezetének teljesen esetleges véletlentől függő hatását, a terrainhatást mindenkor le kell vonni adatainkból. Így kapjuk a nehézségi erő tényleges változásainak adatait, amelyeket *topografikus értékeknek* hívunk. Ha a topografikus értékekből a normális értékeket, melyekről már az előzőkben szözlöttünk, levonjuk, kapjuk a *normálistól való eltéréseket, a topografikus rendellenességeket, a gravitációs zavart*. E gravitációs zavart úgy a látható földfeletti, mint a láthatatlan földalatti tömegek együttesen okozzák. Ha tehát a topografikus rendellenességekből ismét a látható tömegek, a hegyek hatását levonjuk, kapjuk a *földalatti tömegek által okozott gravitációs zavart, a subterrán rendellenességeket*. Amikor tehát méréseinkből a földalatti tömegekre akarunk következtetni, éppen ezen subterrán rendellenességekből, a subterrán zavarokból kell kiindulnunk.

Lássuk ezek után kissé közelebbről, hogy a nehézségi erő változásaira vonatkozólag mi mindent határozhatunk meg eszközeinkkel.

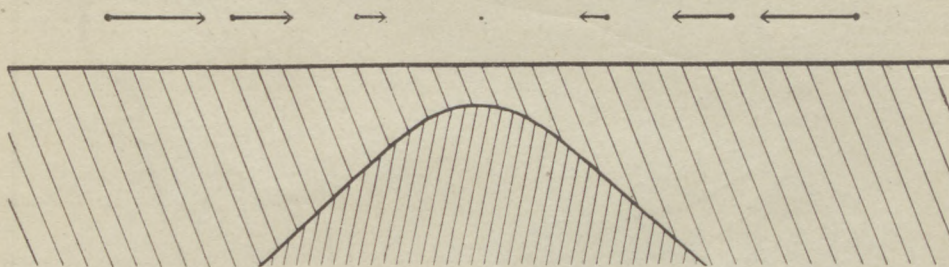
Az első ilyen adat, amelyet észleléseinkkel megállapíthatunk, a *földfelület alakjára vonatkozik*. A földfelület alakja nem közvetlenül érzékelhető fogalom, mert a föld tudvalevőleg hegyes-völgyes, már pedig ezen szabálytalan egyenetlenségeket ki-egyenlítve kell elképzelnünk. Éppen ezért a földfelület alakjának meghatározására a nyugvó víz felszínét szoktuk felhasználni. Gondoljuk, hogy az egész földet tenger borítja, tekintsünk el ennek háborgásaitól, az apály és dagály jelenségétől, akkor ennek a teljesen nyugodt tengernek felszíne adja meg a föld felületét, amelyet *szintfelületnek, nivófelületnek* szokás nevezni. Képzeljünk itt az előadási teremben egy nagy vízzel telt medenczét, akkor ennek színe a föld felületének itteni alakját mutatja. Ez, mint a föld felületének egy kis darabja természetesen görbe felület, azonban oly kevésbé görbült, hogy azt közvetlenül lemérni nem tudom. Méréseinkből azonban első sorban éppen a *nivófelület görbületi viszonyaira vonatkozólag állapíthatunk meg bizonyos adatokat*.

Közelebbről ezt nem részletezem, csak egy különösebben érdekes példát említek. Tirolban a Cimabanche völgyben végeztünk méréseket, mely a 3000 métert meghaladó Monte Cristallo és Croda Rossa között 1520 méter tengerszín feletti magasságban fekszik úgy, hogy az aránylag szűk völgy relatív mélysége 1500 méternél nagyobb. E hatalmas kiemelkedő tömegek hatása abban nyilvánul, hogy a völgyben és pedig különösen annak szélein a nivófelület, a szintfelület sokkal kevésbé görbült, mint annak normális viszonyok között lennie kellene, mintha az egy földünkénél harminczszor nagyobb sugarú gömbhöz tartoznék. Ez esetben tehát a kiemelkedő látható tömegek hatását tapasztaljuk, természetesen azonban a földalatti láthatatlan tömegek is befolyásolják a nivófelület alakját. A görbületi adatok subterrán értékeiből tehát a földalatti tömegekre vonhatunk bizonyos következtetéseket.

Méréseinkből továbbá a megvizsgált területen a *függőn-eltéréseket részletesen meghatározhatjuk*. E célra azonban szükséges, hogy egyrészt az észlelési állomások megfelelő hálózata álljon rendelkezésünkre, hogy másrészt az abszolút függőn-eltéréseket egy-két ponton ismerjük. Ezt a pár abszolút adatot a szokásos módon

határozzuk meg, amint azt már az előzőekben tárgyaltuk. Hogy a földalatti tömegek függőön-eltéréseket okoznak, ezt ugyancsak az előzőekben a 2. rajz kapcsán részleteztük. Világos tehát, hogy a függőön irányában fellépő subterrán zavarokból magukra a földalatti hatótömegekre következtethetünk.

Végül észlelési adatainkból kiszámíthatjuk, hogy a vízszintesben haladva miként változik a nehézségi erő nagysága, azaz maga a nehézségi erő. Ha egy pontból kiindulva a vízszintesben különböző irányokban haladunk, a nehézségi erő általában különböző mértékben változik. A különböző irányok között van egy, mondjuk kiváltságos irány, amelyben haladva, a nehézségi erő legnagyobb mértékben változik, legjobban növekszik. Méréseinkből elsősorban meghatározhatjuk, hogy ez irány merrefelé esik, vagyis az észak-dél vonallal mekkora szöget zár be. Továbbá magát a változás fokát is kiszámíthatjuk, nevezetesen hogy ez irányban 1 centiméterrel előre haladva, az erő hány CGS egységgel, hány dynnel növekszik. Ezt az adatot *gradiensnek* nevezzük. A gradiensek nagyon kicsinyek s éppen ezért azokat $\frac{1}{1000\ 000\ 000} = 1.10^{-9}$ CGS egységekben szoktuk kifejezni. Térképeinken a gradienst kis nyíllal ábrázoljuk, amely nyilat a kiváltságos irányba, a legnagyobb növekedés irányába fektetjük s magát a nyíl hosszát a változás fokával arányosan rajzoljuk. Ha térképeinkbe a subterrán rendellenességek gradienseit, vagyis a földalatti tömegek okozta gravitációs zavar gradienseit rajzoljuk be, akkor ezekből közvetlenül a földalatti tömegekre következtethetünk.



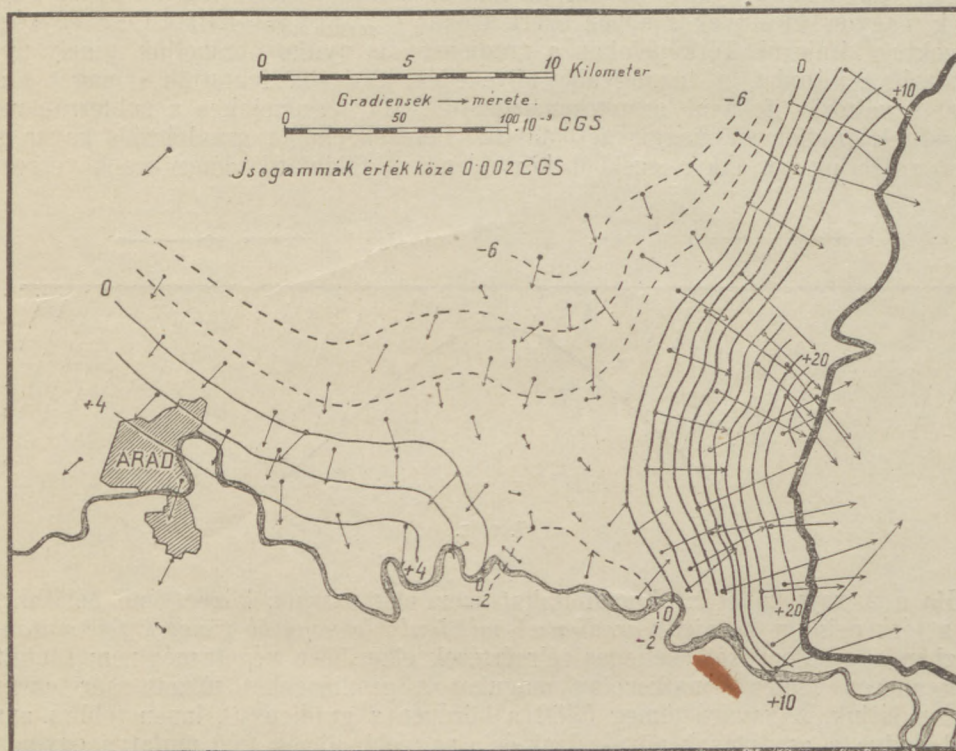
7. rajz.

Ha a 2. rajz kapcsán elmondottakat szem előtt tartjuk, közvetlenül beláthatjuk, hogy a térképeinkbe berajzolt *gradiensek* mindenkor a nagyobb tömegek felé mutatnak. A rajzban a gradienseket esetleges félreértések elkerülése végett még nem tüntettem fel. Ugyanezen esetre vonatkozólag magukat a gradienseket túlzott méreteken a 7. rajzon látjuk. A zavaró tömeg fölött a közepén a gradiens 0, innen jobbra, avagy balra haladva a gradiensek növekednek és a nagyobb tömeg felé mutatva egymással ellentettek. Rajzunkban csak a zavart okozó nagyobb sűrűségű földalatti kiemelkedés közepe körüli viszonyokat tüntettük fel, ha attól jobban eltávolodunk, akkor természetesen a gradiensek ismét csökkennek. Csupán felemlítem, hogy miután a valóságban a földalatti kiemelkedés lejtési viszonyai sohasem olyan szabályosak, mint azt rajzunkban feltételeztük, ennek megfelelőleg a gradiensek is nem így rendszeresen változnak.

Látjuk tehát, hogy a gradiensek már bizonyos bepillantást nyújtanak a földalatti viszonyokba. Még szemléltetőbb képet nyerhetünk azonban a következő módon. Ha a megvizsgált területen az állomásoknak elég sűrű hálózata áll rendelkezésünkre, akkor a gradiensek alapján az egész terület bármely pontjára kiszámíthatjuk a nehézségi erő értékét. Közbevetőleg megjegyzem, hogy ha magukat az abszolút adatokat akarjuk megadni, akkor szükséges, hogy egy-két ponton azokat a szokásos módon ingaméréssel meghatározzuk. Egy pár abszolút adat ismerete ezenkívül abból a szempontból is előnyös, mert ezzel méréseinket ellenőrizhetjük. Az ingamérés ugyanis közvetlenül megadja két egymástól távolabb fekvő állomás között a nehézségi erő különbségét, a gradiensekkel számítva természetesen ugyanazt a különbséget kell

megkapnunk. Az inga tehát csak egy pár alappontot ad, de e változások finomabb menetébe bepillantást nem nyújt és kisebb foku érzékenysége miatt fogva nem is nyújthat. Ismerve már most a megvizsgált terület bármely pontjára a nehézségi erő értékét, azon pontokat, amelyeken a nehézségi erő egyenlő, folytonos görbe vonallal köthetjük össze. *E vonalakat egyenlő nehézségű görbéknek, isogammáknak nevezzük.* Ha térképeinkbe a földalatti tömegek okozta gravitációs zavar isogammáit, a *subterrán rendellenességek isogammáit* rajzoljuk be, e görberendszer közvetlenebb bepillantást nyújt a földalatti viszonyokba.

Az isogammák maguk az észlelésekből közvetlenül meghatározott biztos adatok, ha azonban ezeknek a földalatti tömegekre vonatkozó jelentőségét akarjuk megállapítani, akkor ez már bizonyos feltevésektől függ. A legegyszerűbb feltevés az, hogy a föld alatt egy nagyobb sűrűségű, mondjuk sziklás réteg van, amely felett a kevésbé

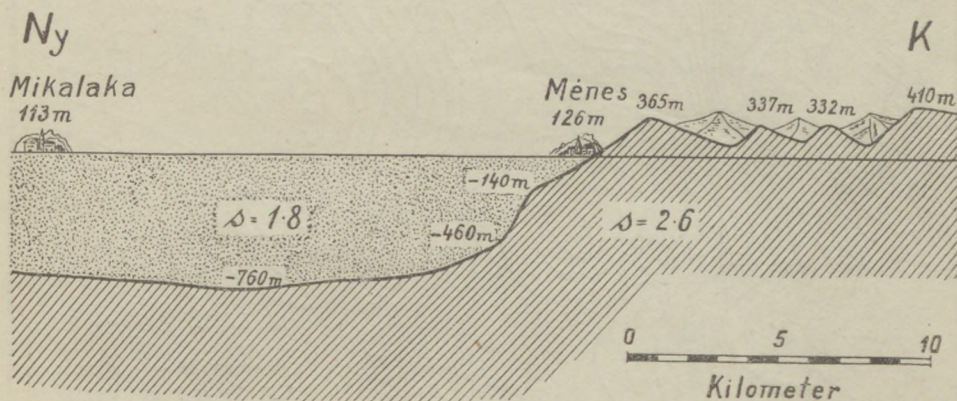


8. rajz.

sűrű felszíni réteg kerül el. Ez esetben az isogammák olyanféle jelentőségűek, mint rendes térképeinken a rétegvonalak. A hegyvidék magassági viszonyait tudvalevőleg akként szokták ábrázolni, hogy az egyenlő tengerszín feletti pontokat egymással összekötik, így pl. a 100, 200, 300 méter stb. magasságú pontokat. Az ekként megrajzolt görbék a rétegvonalak. Hogy az ábrázolás még szembeötlőbb legyen, a közöket a lejtéseknek megfelelő sűrűségű sraffozással, avagy különböző színárnyalattal töltik ki, amint ezt használatos térképeinken láthatjuk. Az említett egyszerű feltevés mellett tehát az isogammák közvetlenül a földalatti sűrűbb tömeg felületének magassági viszonyait, rétegvonalait adják. Hangsúlyozni kívánom azonban, hogy más feltevések esetén következtetésünk is más eredményre vezet. Ha a föld alatt több egymástól eltérő sűrűségű réteg van, akkor ezek hatása összegeződik, s így egymástól eltérő alakulatok a nehézségi erőben körülbelül hasonló változásokat okozhatnak. Eppen ezért egyidejűleg a függőön-eltérésekre és a görbületi viszonyokra vonatkozó adatok

is tekintetbe veendők, amelyek a helyes feltevése bizonyos támpontokat nyújtanak. Ugyancsak e szempontból fontosak a geológiai adatok is, amelyeket következtetéseinknél mindenkor szem előtt kell tartanunk.

Méréseink nagy tömegéből csupán egy pár példát óhajtok kissé közelebbről tárgyalni. A 8. rajzon *Arad vidékén* a subterrán rendellenességek, a földalatti tömegek gravitációs hatásának térképét látjuk. A térkép szélén a vastag vonal a síkság határát, az aradi hegyalja szélét tünteti fel, amely hegységnek hatása a mondottak szerint a rajzban feltüntetett adatokból már le van vonva. Az egyes pontok az észlelési állomások, amelyek közül néhányat kihagytunk, mert néhol nagyon sűrűen vannak elhelyezve s így a kicsinyített rajzban az áttekinthetőséget zavarják. A nyilak a gradiensek, a berajzolt görbék az isogammák. Látjuk, hogy a hegy közelében a gradiensek a hegy felé mutatnak, jelezvén, hogy ez irányban a föld alatt nagyobb tömegek vannak, vagyis a hegy sziklarétege a föld alatt lefelé folytatódik. Arad felé haladva a gradiensek bizonyos fokig megfordulnak, jelezvén, hogy a sűrűbb altalaj ismét kissé feljebb emelkedik. Még szembeötlőbben mutatják e viszonyokat a gravitációs zavar isogammái, amelyek közül a negatívokat, vagyis a normálisnál kisebb értékűeket szaggatott vonallal ábrázoltuk; a melléjük írt néhány szám tulajdonképpen a $+0.004$, $+0.010$, $+0.020$ stb. CGS értékű isogammákat jelzi. E térképnek



9. rajz.

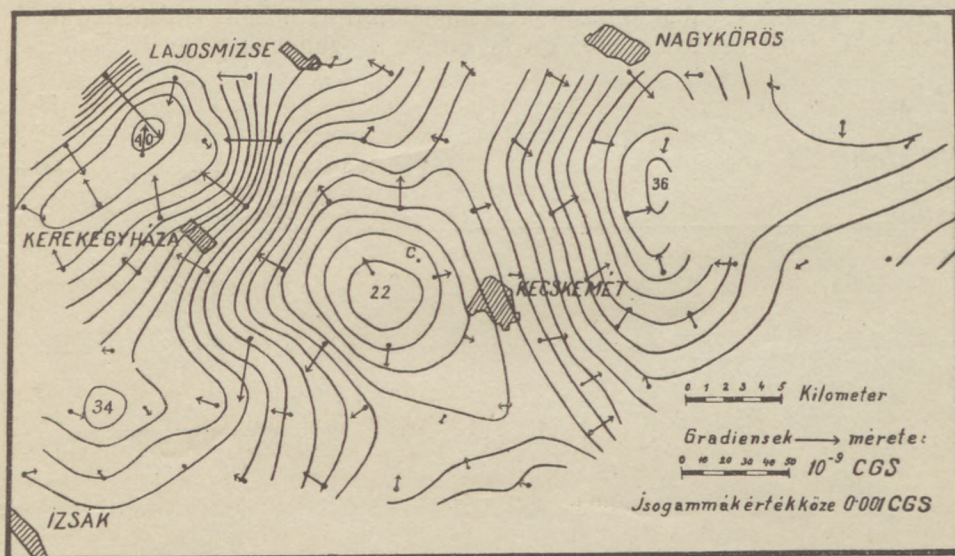
megfelelőleg készítettük el a *Ménes* hegyaljai falu szélességi körén kelet-nyugat irányban képzelt keresztmetszetet (9. rajz) és pedig $s_1 = 1.8$ és $s_2 = 2.6$ sűrűségek feltételezésével. A rajzban a hegyek földalatti folytatását képező sziklás altalaj képét látjuk, a régi tengerfeneket, amelyre azután az alföld lazább felületű rétege reá rakódott.

Hasonló viszonyokat tüntetnek fel *Budapest környékén* végzett méréseink. Itt is a budai hegységek a föld alatt folytatódnak és meglehetősen gyors lejtéssel terjednek tovább az alföld felületű, lazább talaja alatt. Méréseink ugyanazon lejtést adják meg, mint amelyet a fúrások alapján megállapítottak. A budai oldalon a melegvíz-források közel vannak a felszínhez, a margitszigeti fúróluk már 118 méter, a városligeti pedig 970 méter mélységű. Ily mértékben lejt maga a sziklás altalaj is.

A *Kecskemét vidékén* végzett méréseink részletes eredményét a 10. rajzon látjuk, melyben az előzőkhöz hasonlóan ugyancsak a subterrán rendellenességek vannak feltüntetve. Az egyes területekre beírt számok tulajdonképpen a nehézségi erő 0.022 , 0.034 , 0.036 és 0.040 CGS nagyságú zavarát jelentik. Látjuk, hogy a középső 22-es területből kiindulva a gradiensek mind kifelé irányulnak, a nagyobb sűrűségű tömegek tehát kifelé vannak, míg a középen kisebb tömegnek kell lennie. A 40-es területen túl haladva a gradiens megfordul, jelezvén, hogy a nagyobb tömeg a 40-es terület körül fekszik. Még szemléltetőbben mutatják e viszonyokat az isogammák. A középen a legelső isogamma a 0.022 CGS értékű, innen kiindulva az izogammák a szélek

felé nőnek, északnyugat irányban pl. egészen 0.040 CGS-ig s azután megint csökkennek. Ha ismét csupán két, egy alsó sűrű és egy felső lazább réteget tételezünk fel, akkor az isogammák a földalatti alsó réteg felszínének rétegvonalait adják és pedig 0.6 sűrűségkülönbséget feltételezve 40 méteres közökben. A sűrűbb altalajban tehát a közepén egy mélyedés van, innen a szélek felé haladva a sűrűbb tömeg emelkedik, majd ismét leesik. Szóval egy kráterszerű alakulattal van dolgunk, illetve helyesebben szólva, egy oly fajta «körhegységgel», mint amilyenek a holdkráterek. A körhegység ugyanis aránylag széles, körülbelül 30 kilométer átmérőjű s szélein egyes csúcsok emelkednek ki. Ezen különös alakulat kétségtelenül összefügg a kecskeméti földrengésekkel. E kérdést nem részletezem, csupán felemlítem, hogy pl. az 1911 július 8-iki rengés epicentruma, vagyis a földfelületnek a rengés közép-pontja felett fekvő helye térképünkön a C pontba esik, szóval kráterünk közepébe. A rajzunkban fel nem tüntetett rengési görbék ugyancsak össze esnek ezen alakulattal.

Kiemelem azonban, hogy e következtetés csak az említett feltevés esetén állja meg a helyét. Más, a környezetnél kisebb sűrűségű földalatti tömegeket feltételezve,



10. rajz.

másfajta alakulat is eredményezheti az észlelt gravitációs zavart. Így a közepén lévő minimumot nagyobb sötét jelenléte is okozhatja, amint ezt Böckh Hugó geológialag valószínűnek is tartja. Daczára annak, hogy jelen esetben a helyes feltevés megválasztása miatt következtetéseink bizonytalanok, mindenesetre a méréseknek nagy fontosságuk van. Hiszen csak a terepen jól megjelölhető minimum helyét és a maximumok valamelyikét kell megfúrunk, hogy a földalatti alakulatba biztos bepillantást nyerjünk.¹ Továbbá bizonyos, hogy ha egyszer e gravitációs zavar tulajdonképeni értelmét helyesen megállapítottuk, hasonló típusu zavarok az alföldön más esetben is ugyanazt fogják jelenteni. Általában véve tehát minél több kétségtelenül kiderített esetünk lesz arra, hogy bizonyos gravitációs zavarok geológialag miként interpretálandók, annál biztosabbá válnak következtetéseink az újabb esetekre vonatkozólag. Eppen ezért szükséges, hogy a geológiai tapasztalatok és a gravitációs mérések egymást mintegy szervesen kiegészítsék.

A geológiai megállapítások és a gravitációs mérések közötti megegyezés szép

¹ A maximumok közül tulajdonképen kettőt volna célszerű megfúrni, mert közülük az egyik egyszersmind mágneses tulajonsága.

példáját mutatják az *egbelli olajfúrások vidékén* végzett megfigyelések, amelyeket Böckh Hugó e folyóirat hasábjain részletezett,¹ s amelyekkel éppen ezért itt bővebben nem foglalkozom.

Következtetéseinknél természetesen a függőn irányában és a nivófelület görbületi viszonyaiban fellépő zavarokat is szem előtt kell tartanunk, melyek a különböző alakulatok bizonyos fokú szétválasztását teszik lehetővé. Ugyancsak e szempontból fontosak a földmágneses erőre vonatkozó megfigyelések, a miért is ezeket mindenkor a gravitációs mérésekkel párhuzamosan végezzük.

* * *

A földön mindenütt működik egy erő, a mely az iránytűt körülbelül észak felé irányítja. Ez a *földmágneses erő*. Ennek meghatározására, hasonlóan mint azt a nehézségi erőnél tettük, két adatot kell megállapítanunk, az *erő irányát és nagyságát*. Az irány meghatározása két szöglet útján történik. Az egyik szöglet a *deklináció*, a mely megmondja, hogy a mágnesű, helyesebben az erő iránya a vízszintes síkban mekkora szögletet zár be a csillagászati észak-dél vonallal. A másik az *inklináció* az a szöglet, melyet a minden irányban teljesen szabadon forogható iránytű a vízszintessel bezár. Az itt bemutatott inklinációs tűn látjuk, hogy annak északi vége lefelé hajlik és itt Selmeczbányán a vízszintessel 63°-ot képez. Az erő nagyságának meghatározására czélszerűségi okokból nem magát az egész erőt, hanem csak annak vízszintesbe eső összetevőjét a *horizontális komponens*t szoktuk megmérni. E három adat a *deklináció, inklináció és horizontális intenzitás*, a *D, I és H* a földmágneses erőt teljesen meghatározza. Megjegyzem, hogy ez adatok helyről-helyre és időről-időre változnak.

Fekete Jenő meghatározása szerint Pestszentlőrinczen és pedig a $\varphi = 47^\circ 27' 2''$ földrajzi szélességű, $\lambda = 36^\circ 50' 8''$ Ferrótól számított keleti hosszúságú helyen 1914. év augusztus 1-én a középértékek a következők:

$$D = 5^\circ 27' 8'' \quad I = 62^\circ 3' 2'' \quad H = 0.21257 \text{ CGS.}$$

A mágneses adatok abszolút értékeinek meghatározását a rendesen szokásos módszerekkel és eszközökkel végezzük. Az abszolút állomások közé sokszor relatív megfigyeléseket tűzünk. Ez esetben ugyanis csupán az erőben fellépő változásokat mérjük és pedig aránytalanul könnyebben és gyorsabban kezelhető eszközökkel. Általában véve éppen a gyorsabb és ügyesebb kezelhetőség szempontjából eszközeink, ha mindjárt lényegükben nem is újak, át vannak konstruálva. A relatív deklinációk meghatározására Eötvös bárónak lényegében is saját szerkezetű eszközét használjuk. E méréseket, a melyeket előadásomban vetített képek kíséretében tárgyaltam, nem részletezem.

A mágnesesség, ellentétben a gravitációval, a testeknek nem általános tulajdonsága. Látjuk, hogy a mágnes rúd a vasszegeket magához vonzza s azokat ugyancsak mágnesessé teszi: a vasszegek egymásba fogódzó kötegben tapadnak a mágnes rúd végéhez. A rézszegeket, avagy a gyufaszálakat ellenben a mágnes rúddal fel nem emelhetjük. A vas, a nikkel stb. mágneses tulajdonságú, míg a réz, a fa stb. nem mágneses.

A földi mágneses erőben fellépő helyi zavarokat tehát a föld alatti mágneses tulajdonságú anyagok okozzák. Ilyenek pl. a vasérczek, bizonyos különösen vulkanikus eredetű kőzetek stb. E zavarokból tehát megfelelő mágneses tömegekre következtethetünk. Éppen ezért fontos a mágneses adatoknak ismerete, mely kapcsolatban e gravitációs adatokkal, mélyebb bepillantást enged a felsőbb rétegek szerkezetébe. Ilyetén módon pl. az *Erdélyben végzett méréseink* alapján a különböző hatótömegeket, így a nagyobb sűrűségű rétegeket, a kisebb sűrűségű söteteket és a mágneses tömegeket egymástól szétválaszthattuk és a földalatti rétegvonulatok

¹ Brachyantiklinálisok és dómok kimutatása torziós mérleggel végzett nehézségi mérések adatai alapján. L. évf. I. kötet 265—273. oldal.

elég részletezett képét készíthettük el, még pedig már a geológiai adatok igénybevétele nélkül. Természetesen e kép még tökéletesebb és a valóságnak még jobban megfelelő lesz, ha a geológiai adatokat is tekintetbe vesszük.

* * *

Ezek után lássuk főbb vonásokban e mérési módszer más irányu alkalmazásait és jelentőségét. A báró Eötvös Loránd gravitációs eszközével végezhető mérések több irányban fontosak és pedig tudományos, geofizikai, geodéziai, geológiai és szeizmológiai szempontból.

Elsősorban tudományos szempontból különösen azért jelentős ez az eszköz, mert vele nagyon kis erőket lemérhetünk. Az egyetemi fizikai intézet pincéjében van egy ilyen különösen érzékeny műszer felállítva, amelylyel pl. a tőle 1—1.5 méter távolságban ülő ember tömegét megmérhetjük a vonzóerő azon különbségei alapján, amelyet az ember tömege az univerzális gravitáció törvényének megfelelőleg az eszköz különböző részeire gyakorol. Gondoljunk a gravitáció konstans igen kicsi voltára s akkor elképzelhetjük, mily kis erő méréséről van itt szó!

Ugyancsak e módszert használtuk fel akkor, amikor Eötvös Loránd báró és Fekete Jenővel együtt közösen «a tehetetlenség és a gravitáció arányosságára vonatkozólag» pontos kísérletsorozatokat végeztünk, amelylyel a göttingai egyetem filozófiai fakultásának Beneke-féle pályakérdését megoldottuk s e munkánkkal az első díjat megnyertük. E kérdés megvizsgálását egyrészt elméleti szempontok, másrészt pedig különösen Landolt és Heydweiller kísérletei tették aktuálissá. Ők ugyanis teljesen zárt Π -alakú csövekben kémiai reakciókat végeztek. Az egymásra ható oldatokat a cső két szárába helyezték el s a csövet leforrasztva, annak súlyát mérlegben igen nagy pontossággal meghatározták. Ezután a csövet megbillentvén, a két oldatot összekeverték, amikor is a reakció végbement. Az üvegeső súlyát most ismét gondosan megmérték, amikor is több esetben kimutatható súlyváltozást észleltek. E kísérlet azt jelentené, hogy a gravitáció a különböző, nevezetesen a reakció előtti és utáni anyagokra különbözőképen hat s így a testek súlya azok anyagi minőségétől is függ. E kísérletek tehát a fizika egyik alaptörvényét gyökerében támadják meg. Az Eötvös-féle eszközzel végzett kísérleteinkkel sikerült kimutatnunk, hogy ily fajta eltérések nincsenek, illetve szabatosabban kifejezve, észleléstünk pontosságánál, azaz $\frac{1}{300\,000\,000}$ -nál mindenestre kisebbek. Szóval a gravitáció az anyagi minőségtől függetlenül a különböző testekre egyformán hat. Landolt és Heydweiller kísérletei korántsem érték el e pontosságot. A kimutatott súlyváltozásnak az a magyarázata, hogy a mérleg érzékenységeinek határán lévő igen kényes kísérleteket rendszeres körülmények között végezték s így kísérletsorozataikba rendszeres hibák jutottak bele, amelyeket egyezésüknél fogva reális eredménynek minősítettek.

Másik nézőpont, amelyből a gravitációs mérések és így az Eötvös-féle eszközzel való megfigyelések fontosak, a geofizikai szempont. E vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy miként van egészében felépítve a föld felülete és a jelenlegi viszonyok részleteiből a multa, földünk fejlődésére is következtethetünk. Az apály és dagálylyal kapcsolatos jelenségeket és több e körbe tartozó problémát említhetnék, de példaképen csupán egyre óhajtom figyelmüket felhívni. Ez az isostásia elve, amely szerint földünk felületén az igen nagy tömegek akként helyezkedtek el, mintha azok a környezetben úsznának. Az eddigi vizsgálatok szerint nagy hegységekre, továbbá magukra az egész kontinensekre nézve ezt kell feltételeznünk, kisebb hegyekre, kisebb tömegekre vonatkozólag azonban az isostásia nem érvényes. E kérdések vizsgálatánál eszközeink hasznos szolgálatot tehetnek.

Harmadik fontos szempont a geodéziai. A föld alakjának kérdése általános emberi érdek. E célból végzik a fokméréseket, amelyekkel úgyszólván egész világrészeket végigmérnek s ebből a föld alakját levezetik. A fokméréseknek egészen az ókorba visszanyúló érdekes történetével nem foglalkozhatom. Legújabbban az Internationale Erdmessung bizottságának irányítása mellett végzik e műveleteket, amelyek költségéhez a világ összes államai hozzájárulnak. Az egyre szaporodó fokmé-

rések tanúsága szerint a föld nem olyan egyszerű lapult gömb, mint azt régebben gondolták, alakja meglehetősen bonyolult. A fokmérések pontossága szempontjából fontos, hogy a végigmért területen a gravitációs zavarok ismereteseek és így számításba vehetők legyenek. Éppen e zavarok részletes vizsgálatát az *Eötvös-féle* eszközzel végezhetjük. Maga az *Internationale Erdmessung* bizottsága e méréseket nagyon fontosnak ítélte, átírt a magyar kormányhoz, hogy azokat hathatósan támogassa és ez úton aránylag nagyobb területek részletes megvizsgálását lehetővé tegye. Ily módon részesültek és részesülnek folytatólag állandó állami támogatásban *Eötvös* Loránd báró geofizikai mérései.

Gyakorlatilag legfontosabb a negyedik, a *geológiai szempont*. Amint előadásom folyamán részleteztem, méréseink alapján következtetéseket vonhatunk a földalatti tömegek szerkezetére. Hasznosítható rétegeket találhatunk fel e módon, mint ahogy pl. *Erdélyben* méréseink a söteteket kitűnően kimutatják. Ezenkívül oly anyagokat is felfedezhetünk, amelyek ugyan gravitációs szempontból közvetlenül nem nyilvánulnak, de bizonyos, már gravitációsan kimutatható, rétegalakulattal függnek össze. Így adott esetekben vízre, olajra, földgázra is következtethetünk. Így pl. *Budapest* környéken a melegvízforrások lejtése összeesik a dolomitréteg lejtésével, melyet eszközeinkkel lemérhetünk. Tehát módszerünkkel előre megmondhattuk volna, hogy a városligeti artézikútnál valószínűleg 900—1000 méter mélységben érik el a vizet. *Egbe*l környékén, ahol olajok után kutattak, méréseinkkel teljesen olyan alakulatot állapítottunk meg, mint amelyet a geológusok is meghatároztak. *Erdélyben* végzett méréseinkkel a rétegvonulatok legmagasabb és legmélyebb helyeit az antiklinálisokat és synklinálisokat határozhatjuk meg, amelyek ismerete a földgázfúrások telepítése szempontjából elsőrendű fontosságú. A módszert ez irányban kifejlesztvén, egyre több gyakorlati eredményt várhatunk.

Végül az ötödik, a földrengéstani, a *szeizmológiai szempont*. Legveszedelmesebbek a földrengések ott, ahol a földnek ki nem egyensúlyozott vonalai, bizonyos törésvonalai, tektonikai vonalai vannak. Ha ily vidéken megrázkódik a föld, akkor igen nagy elmozdulások, rétegsuszamlások jöhetnek létre. Eszközeinkkel éppen az ilyen, a földrengések szempontjából veszedelmes alakulatokat kereshetjük ki. Utalok *Kecskemét* vidékére, ahol a földalatti geológiai alakulat a földrengésekkel kétségtelenül összefügg. Ha valamely nagyobb földrengés előtt és után végzett mérések ugyanazon a területen rendelkezésünkre állanak, minden valószínűség szerint ezekből a nagyobb földalatti tömegelmozdításokra következtethetnénk. Talán ily módon a vulkanikus tömegeltolódásokat is észlelhetnők. Mintegy hasonlatképen felemlítem, hogy pl. a *Duna* partjától 100 méter távolságban megfelelő érzékenységu eszköz útján a víz szintváltozása annak gravitacionális hatása alapján jól észlelhető volt.

* * *

Ezek után előadásomban vetített képek kíséretében részleteztem, hogy tényleg miként végezzük szabadban való méréseinket. Itt képek híján csak pár szót kívánok erről szólni. Gravitációs eszközeink nagyok, úgy hogy szállításukra külön kocsik szükségesek. Az egyéb műszereket, sátrakat, felszerelési tárgyakat ugyancsak külön kocsikon szállítjuk. A gravitációs észlelések, a gyors hőmérsékletváltozások zavaró hatásának elkerülése céljából, éjjel történnek. A megfigyeléseket a szükséges pontokon igen gyakran a lakott helyektől, községektől távol végezzük. Mind e körülmények szükségessé teszik, hogy valóságos expedíciós felszereléssel lássuk el magunkat, hogy így a lakott helyektől függetlenül, tekintet nélkül az idő viszontagságaira, teljesen szabadban tartózkodhassunk. Célyszerű lakásról, lakósátrakról, azok megfelelő berendezéséről, világításáról, konyhafelszerelésről stb. kellett gondoskodnunk. Tekintve, hogy naponkint egy-egy új állomásra hurezolkodunk, mindezen berendezkedések megszerkesztésénél a főszempont az volt, hogy azok gyorsan és könnyen egybeállíthatóak és lebonthatóak legyenek. Saját tapasztalatainkon okulva e berendezések egyre jobban tökéletesedtek.

Sokszor kedvezőtlen terepeken, süppedékes, árvizes területeken végeztük méréseinket s így arról is kellett gondoskodni, hogy az elénkbe gördülő akadályokat leküzdhessük. Repülő hid, kocsiemelők és pallók segítségével nem egyszer sikerült ily kritikus helyeken átjutnunk. Természetesen felszerelési tárgyaink szaporodásával együtt járt, hogy kocsiparkunk is megnövekedett. A háboru előtti években már két csoportban dolgozva, összesen 6 észlelő és 15 munkásember, illetve kocsis vett részt a mérésekben. Összesen 13 kocsi állott rendelkezésünkre, köztük a külön szerkesztett műszerkocsik, lakáskocsik, teherkocsik és személyszállító utazókocsik. Ezeket takarékosságból csupán 9 pár állandó lóval vontattuk. Most a háboru alatt is folytatjuk méréseinket, de lényegesen megszükitett mederben. Kivételes esetekben, egész különleges körülmények között, megfelelő különleges felszereléssel is végeztünk méréseket, így a Balaton jegén, a Bega-csatorna mentén stb. Méréseink kapcsán természetesen nem egyszer balesetekben, különböző kalandokban is volt részünk, melyeket előadásom folyamán vetített képekben bemutattam.

Méréseink legnagyobb részét a síkságon, az alföldön végeztük. Ez ugyanis a látható tömegek korrekciója szempontjából nagyon előnyös. Ugyancsak ez az ok volt az, hogy első nagyobb szabásu méréseink teréről a Balaton sima jég hátát választottuk. A hegyes vidéken is vannak egyes részletes felvételeink, így pl. Erdélyben a Maros völgye mentén. Általában véve azonban eddigi méréseinkkel inkább egyes érdekesebb kisebb területek feldolgozását céloztuk. Nagyobb részletes felvételek végzése nagyobb észlelőszemélyzetet s ezzel kapcsolatban nagyobb felszerelést igényelne. Talán a háboru után ez is sorra kerül!

* * *

Végül a külföld érdeklődéséről óhajtok pár szót szólni. Az *Internationale Erdmessung* 1906. évi budapesti értekezlete alkalmával a geodéták egy nagyobb internacionális társasága tekintette meg az akkor éppen Arad vidékén folyó méréseket s azokat különös érdeklődéssel tanulmányozta.

Az elsők között a németek, a potsdami porosz kir. geodéziai intézet rendezkedett be az Eötvös-féle gravitációs mérésekre. Eszközüket lényegében utasításaink szerint saját intézeti mechanikusukkal készítették. Később Hecker professzor a strassburgi seismológiai intézet részére ugyancsak Potsdamban egy második eszközt készíttetett. Ezen eszközökkel a szabadban még nem végeztek méréseket, tudtommal mostanában szándékoznak azokat megkezdeni.

A francziák közül Brillouin végzett méréseket a Simplon alagútban az Eötvös-féle eszközzel, melyet bizonyos módosításokkal maga készíttetett.

Az olaszok közül a palermói egyetemen Venturi professzor elméletileg, a padovai egyetemen pedig Soler gyakorlatilag foglalkozott az Eötvös-féle módszerrel. Soler professzor a mérések tanulmányozására nálunk is járt és Nagykőrös körül azokban részt is vett. Eszközüket Süss Nándor budapesti precízió-mechanikusnál rendelték meg, aki a mi műszereinket is készítette. Padova környékén már a szabadban méréseket is végeztek.

Az orosz katonai földrajzi intézettel ugyancsak tárgyalások folytak ily eszközök megrendelésére, amelyek azonban abba maradtak.

Az angolok a londoni The Science Museum részére Süssnél Eötvös-féle eszközt készíttettek.

Az elsők között a japánok szintén Süss mechanikusnál rendelték meg eszközüket, amelylyel Sinjo egyetemi tanár, aki a mérési módszert nálunk gyakorlatilag is tanulmányozta, Tokio körül végez megfigyeléseket.

Nálunk kívülünk Gorjanovich Kramberger horvát geológus irányítása mellett Gavazzi tanár végzett Horvátországban és Szlavóniában méréseket. Eszközüket ugyancsak Süssnél csináltatták. Tekintve hogy a hosszas tapasztalatok alapján a műszerek gyakorlati aprólékos titkait jól ismerjük, az összes Budapesten készült eszközöket véglegesen mi hoztuk rendbe. Ugyancsak mi határoztuk meg mindenkor az eszközök azon állandóit, amelyek a számításoknál szükségesek.

A külföld és közöttük a németek eleintén hidegen fogadták e méréseket. Nem hitték, hogy szabadban észlelve a szükséges nagy pontosságot és biztosságot elérhetjük. Miután azonban nagyobb észlelési sorozatok és az azokban mutatkozó rendszeresség kapcsán módjukban volt a mérések realitásáról meggyőződést szerezni, a módszer legbuzgóbb pártolóiivá lettek. Így maga *Helmert*, berlini egyetemi tanár, a potsdami geodéziai intézet igazgatója, az Internationale Erdmessung elnöke, eleintén nem igen bízott e mérésekben, később pedig a legnagyobb elragadtatással nyilatkozott róluk. Így mikor 1915-ben ingamérések végzése céljából Potsdamban jártam, ismételtén volt alkalmam *Helmert*tel e mérésekről beszélgetni, amikor is ő többek között a következőket mondotta: A felső geodézia két legsudálatosabb eszközének tartja a libellát és az *Eötvös*-féle eszközt, mert mind a kettő lényegében olyannyira egyszerű és mégis okkal-móddal használva, általuk a föld alakjára és felszínének szerkezetére vonatkozólag oly fontos és messzemenő következtetéseket vonhatunk.

Hálásan kell megemlékeznünk első sorban *Semsey* Andor főrendiházi tag úrról, aki a kezdet éveiben a szabadban való felvételeket bőkezűen támogatta, s ezzel a későbbi fejlődésnek alapját megvetette. Nagy köszönettel tartozunk a magyar kormányoknak és pedig kiválóan gróf *Apponyi* Albert volt kultuszminiszter, valamint *Wekerle* Sándor volt miniszterelnök és pénzügyminiszter uraknak, akik az első állandó-államsegély nagylelkű kiutalásával a mérések folytatását biztosították.

Különös köszönettel tartozunk továbbá *Teleszky* János pénzügyminiszter és *Böckh* Hugó miniszteri tanácsos uraknak, akik az utóbbi időben e méréseket a legnagyobb szeretettel felkarolták és a legintenzívebben támogatták. Hiszem, hogy a geológusokkal együtt működve, e megfigyelésekkel módunkban lesz a föld rejtett rétegeibe egyre biztosabb és egyre mélyebb betekintést nyerni s ez úton hazánk javát szolgálni!

* * *

A módszer szigorú elméletét és a mérések egy kis részének végeredményeit *Eötvös* Loránd báró eredeti értekezéseiben találjuk meg. Az esetleg eziránt közelebb-ről érdeklődők részére a megjelent dolgozatokat az alábbiakban közlöm:

Vizsgálatok a gravitáció és mágnesség köréből; Matematikai és Természettudományi Értesítő. 1896. XIV. kötet.

Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus; Annalen der Physik und Chemie. 1896. Neue Folge. Band 59.

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. Tome III.

A nehézség és a mágneses erő nivófelületeinek és változásainak meghatározásáról; Matematikai és Fizikai Lapok. 1900. IX. kötet.

Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwage; Verhandlungen der XV. allgemeinen Konferenz der internationalen Erdmessung in Budapest 1906. — A módszer szigorú matematikai elméletét és gyakorlati alkalmazásának módját a legrészletesebben ezen értekezésben találjuk.

A Balaton nivófelülete s azon a nehézség változásai; 1908. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. I. kötet 1. rész. Geofizikai függelék. — Németül is megjelent. E dolgozat bevezetésében *Eötvös* a módszer elméletét elemi úton tárgyalja.

Bericht über geodätische Arbeiten in Ungarn besonders über Beobachtungen mit der Drehwage; Verhandlungen der XVI. allgemeinen Konferenz der internationalen Erdmessung in London und Cambridge 1909. — Francziául is megjelent.

Bericht über Arbeiten mit der Drehwage ausgeführt im Auftrage der kön. ungarischen Regierung in den Jahren 1909—1911. Verhandlungen der XVII. allgemeinen Konferenz der internationalen Erdmessung in Hamburg. 1912.

Pékár Dezső: Kísérleti tanulmányok az Eötvös-féle gravitációs csavarási mérleg-zavarairól; Matematikai és Természettudományi Értesítő. 1915. XXXIII. kötet.



