

263.214

263214

GRAVITÁCIÓS MÉRÉSEK

ÍRTA

PEKÁR DEZSŐ

L. TAG

Különlenyomat

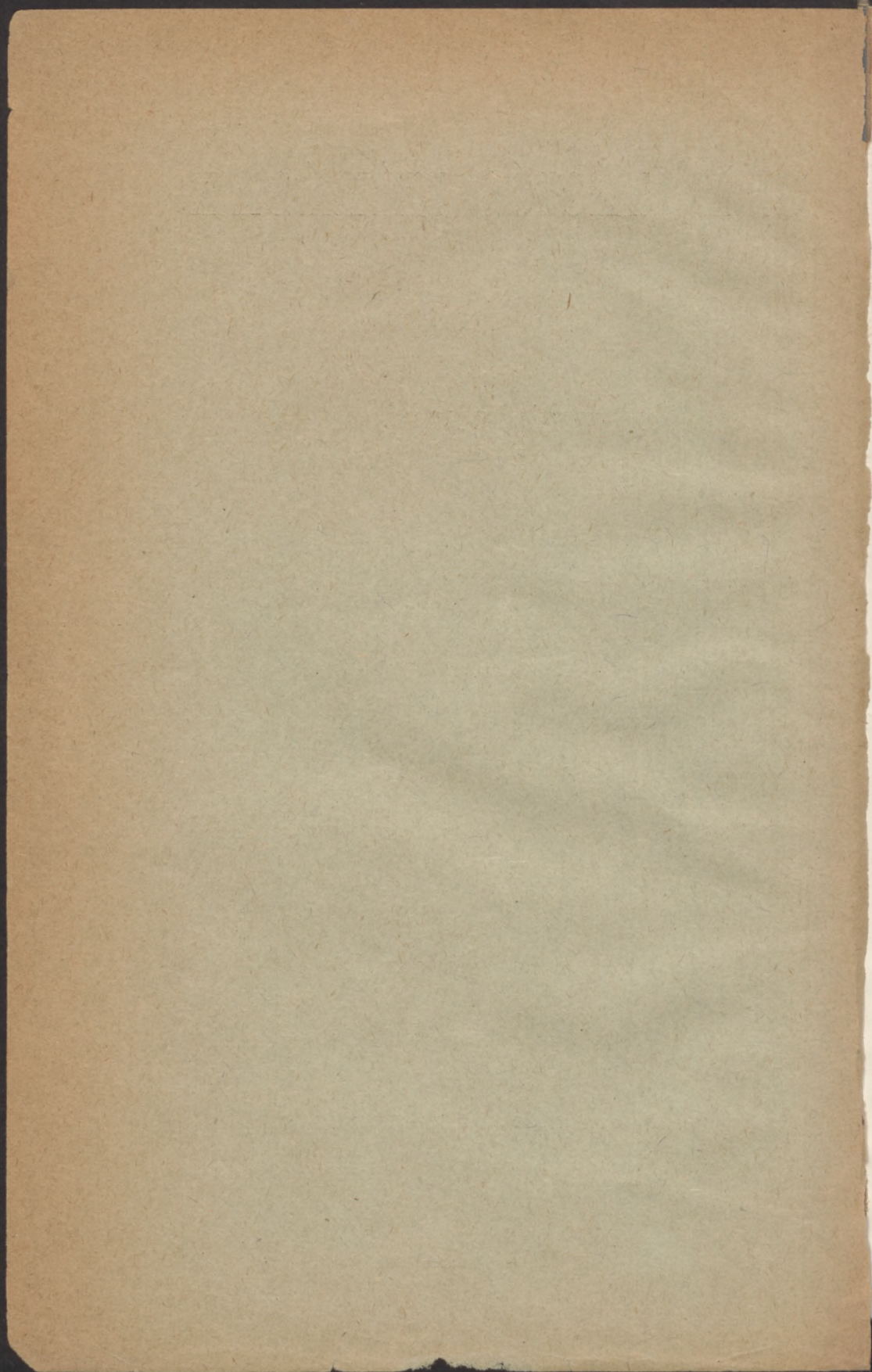
a Báró Eötvös Loránd Emlékkönyvből



BUDAPEST

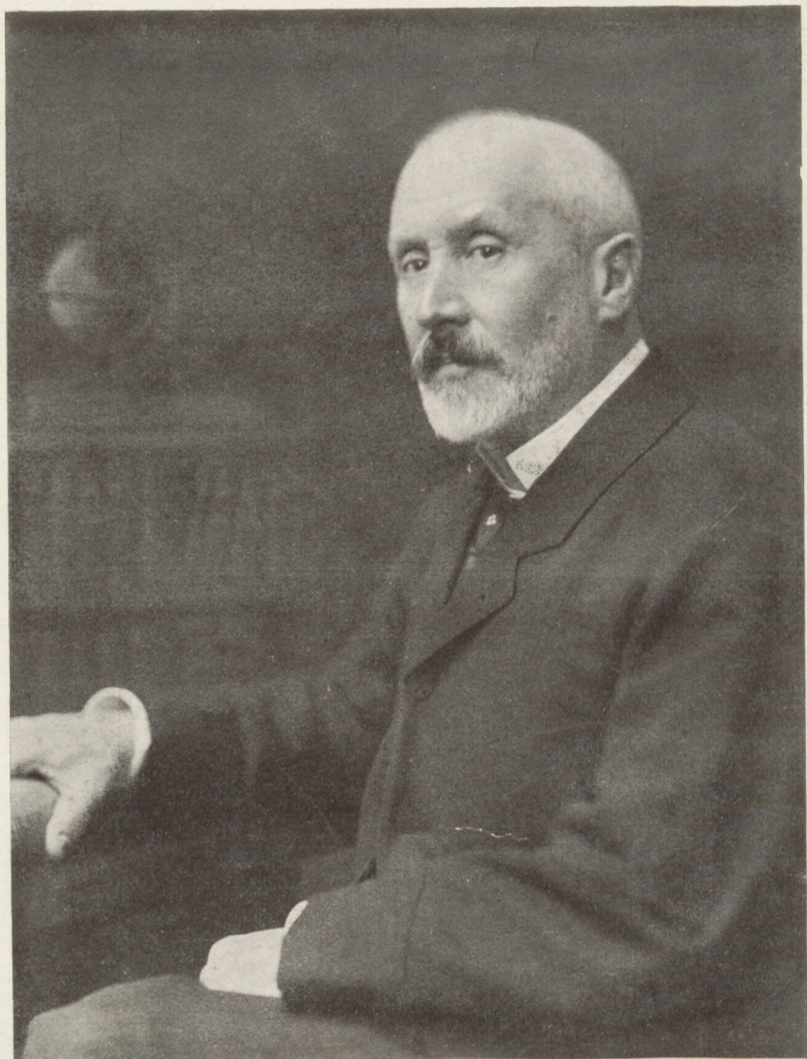
KIADJA A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

1930





Stendalái ~~Stendalái~~
982.



Székely Aladár felvétele, 1913.

BÁRÓ EÖTVÖS LORÁND

III. GRAVITÁCIÓS MÉRÉSEK.

PEKÁR DEZSŐ I. tagtól.

Báró EÖTVÖS LORÁND a mult század nyolcvanas éveitől kezdve közel négy évtizeden keresztül, úgyszólván állandóan a gravitáció tanulmányozásával foglalkozott. E vizsgálatokban teljesen új vezérgondolata, hogy a nehézség térbeli változásainak tanulmányozására a torziós ingát használta fel. Ez alapon felépült sajátos vizsgálati módszerét két biztos pillérre fektette. Az egyik az eljárás szigorú fizikai elméletének kifejtése, a másik az e célra alkalmas, szinte hihetetlen érzékenységu eszköz tényleges megszerkesztése volt. Ily módon kezében a fizikusok lomtárában heverő műszer, a torziós inga, csodákat mívelt. Eddig hozzáférhetetlen fizikai feladatok megoldását tette lehetővé a tudományban, legújabb alkalmazásában pedig biztos varázsvesszőként nyújt felvilágosítást a gyakorlati geológusnak a Föld mélyének felkutatásában.

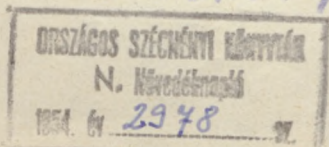
*

Mielőtt a módszerrel, az eszközzel, a mérések módjával, azok feldolgozásával, eredményeivel és jelentőségével foglalkoznék, a vizsgálatok történelmi adatait s ezzel kapcsolatban a mérések statisztikáját állítom röviden egybe.

Első méréseit Eötvös báró természetesen a laboratóriumban végezte. Az egyetemi fizikai intézeten kívül először a Gellért-

Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv.

9



hegy tövében,³⁹ a Rudas-fürdő igazgatósági épületének földszintjén, majd pedig *Szentlőrincen* már a szabadban felállított vászonsátorban figyelte meg eszközeinek viselkedését. Ezen előzmények után lehetségesnek mutatkozott a nehézség változásainak a szabadban való megvizsgálása. 1891 nyarán a Celledömölk mellett emelkedő *Sághegyen*^{66, 67} végzett néhány mérést, amely már is azon meglepő eredményre vezetett, hogy az e helyen STERNECK ingaméréseivel megállapított nagyobb gravitációs zavar ez úton nem igazolódott be. Báró EÖTVÖS ezen első tanulmányaiban főleg KÖVESLIGETHY RADÓ és TANGL KÁROLY segédkezett, a sághegyi mérésekben pedig BODOLA LAJOS is résztvett.

Ezután a laboratóriumi vizsgálatok tovább folytak, ezen kívül *Budapest területén*, valamint *környékének egyes helyein* történtek megfigyelések, amelyekben 1895 óta már magam is résztvettem.

1901-ben LÓCZY LAJOSnak a Balaton-bizottság lelkes vezérének kérésére Eötvös báró a *Balaton jegén* végzett megfigyeléseket,^{68, 77} amelynek síma háta első részletes próbára nagyon alkalmasnak kínálkozott, mert figyelmen kívül hagyhattuk a terrénhatást vagyis azokat a zavaró hatásokat, amelyek a környezet egyenetlenségeiből és szabálytalanságaiból származnak. Ez alkalommal báró EÖTVÖS LORÁND, LÓCZY LAJOS, CHOLNOKY JENŐ, KÖVESLIGETHY RADÓ és báró HARKÁNYI BÉLA összesen 28 állomáson határozták meg a nehézség változásait, mely megfigyelések a Balaton tengelyével párhuzamosan húzódó tektonikai vonal jelenléte mellett tanuskodnak.

Már e mérések azon gyakorlati tanuságra vezettek, hogy azok nagyobb mederben csak megfelelő expedíciós felszereléssel végezhetők. Erre kért támogatást Eötvös báró 1901-ben a Magyar Tudományos Akadémia ünnepi közülésén tartott elnöki megnyitó beszédében.⁶⁹ Tényleg a Magyar Tudományos Akadémia és különösen SEMSEY ANDOR bőkezű támogatása ezt lehetővé is tette. Elkészült az első expedíciós kocsink és szerény felszerelésünk, amelyből azután a későbbi tökéletesebb kifejlődött.

Professzorom bizalma engem tisztelt meg azzal a feladattal, hogy e szabadban való méréseket, ez expedíciókat vezessem, ami még halála után is, mind e mai napig az én hivatalos kötelességem.

1902-ben a *Fruska Gora hegységtől északra* 20 állomáson észleltünk, amelyekben kívülem, mint állandó megfigyelő STEINER LAJOS vett részt. Ezután pár éven keresztül mi ketten voltunk az expedíció észlelői.

1903-ban a *Balaton*⁷⁷ jegén 12, a *Fruska Gora* és *Szabadka* között 19 és *Arad környékén* 19 állomáson végeztünk megfigyelést.

1904-ben 72 állomással az egész *Fruska Gora hegységet* körüljártuk.

1905-ben *Aradtól Versecen át Oravicáig* s azután *Versectől Alibunár* felé összesen 78 állomáson mértünk, mely alkalommal azután STEINER helyett FEKETE JENŐ volt a második észlelő, aki ez időtől kezdve, 1922-ig állandóan résztvett a megfigyelésekben.

1906-ban az *Arad körüli* méréseket a hegyek aljáig kiterjesztettük 84 állomással.^{76, 78} Ez évben az *Internationale Erdmessung* XV. általános értekezletét Budapesten tartotta, amely alkalommal báró EÖTVÖS LORÁND gravitációs méréseiről kiváló érdeklődéssel fogadott előadást tartott. A bizottság tagjai közül többen az Arad körül működő expedíciót is felkeresték. Az értekezlet a magyar kormánynál hivatalosan azon óhaját fejezte ki, hogy kívánatosnak találná e geodéziai szempontból nagy fontosságú mérések támogatását, hogy ilyenén módon az adatok nagyobb mennyisége álljon a bizottság rendelkezésére. A magyar kormány nem zárkózott el e kérés elől s a méréseket 1907-től kezdve tekintélyes állami támogatásban részesítette, s ezzel alapját vetette az *Eötvös Intézetnek*.

1907-ben ugyancsak *Arad vidékén* állomásainkat 82 újabbal szaporítottuk.⁷⁸ Az államsegélyből újabb eszközök, újabb kocsik s egyéb expedíciós felszerelési tárgyak készültek, amelyek a kormányrendeletnek megfelelően az új intézmény részére külön

leltározattak. Továbbá az abszolút adatok meghatározása céljából relatív ingamérésekre és sarkmagasság meghatározásokra is berendezkedtünk, hogy a torziós inga adatait ezekkel egybevetthessük; illetve ezekkel kiegészíthessük, amint azt a későbbiekben részletezni fogjuk. A porosz Kir. Geodéziai Intézetben használatos eszközöket szereztünk be és OLTAY KÁROLY, aki e mérések végzésére vállalkozott, ott Potsdamban sajátította el az ő mesterien kidolgozott eljárásukat s az ő útmutatásuk szerint határozta meg eszközeink állandóit.

1908-ban zeg-zugos vonalban haladtunk *Aradtól Szegeden át Szabadka felé* és 55 állomással Aradtól körülbelül 150 kilométer távolságra, majdnem Szabadkáig jutottunk. A megfigyelésekben, mint harmadik észlelő RYBÁR ISTVÁN segédkezett.

1909-ben *Szeged, Szabadka, Baja és Zombor között* körülbelül 160 kilométer hosszú vonalon 85 állomáson mértünk, amikor is RYBÁR helyett GARCSÁR SÁNDOR végezte a megfigyeléseket.

1910-ben *Tirolban Cimabanche mellett*, a Monte Cristalló és Croda Rossa közötti völgyben ⁸⁰ ketten FEKETÉVEL 40 állomáson mértünk, hogy itt a vízfelület nagyfokú rendellenességét kimutassuk. Ezután visszatérve, még ősszel RYBÁR ISTVÁNNAL hárman a *titeli platón* és környékén 76 állomáson végeztünk megfigyelést.

1911-ben a július 8-iki földrengés Kecskemétre terelte figyelmünket. Az előző évi részvevőkkel *Szegedről indulva*, zeg-zugos vonalban Kecskemétig haladtunk s összesen 130 állomással *Kecskemét környékét* részletesen behálóztuk.⁸⁰

1912-ben már két gravitációs expedíció működött. A *Maros-völgyében Nagy-Enyedről Marosvásárhelyig* haladva, összesen 157 állomáson észleltünk, mely alkalommal hármonkon kívül RENNER JÁNOS, POGÁNY BÉLA és FRÖHLICH PÁL működtek közre.

1913-ban ugyancsak két expedíció működött, de egyike csupán földmágnességi megfigyeléseket végzett. Ez alkalommal *Torda környékén* kezdtük gravitációs méréseinket és az-

után az előző évi megfigyeléseket kiegészítve *Marosvásárhelytől Szászrégenen át Görgényig folytattuk*, összesen 126 állomáson. A gravitációs mérésekben kívülem POGÁNY BÉLA és RENNER JÁNOS vett részt s utóbbit később KOVÁCS GYÖRGY váltotta fel.

1914-ben hasonló módon két expedíció indult útnak. *Szatmárnémeti és Nagybánya között* végeztünk gravitációs megfigyeléseket. A háború félbeszakította működésünket s így csak 23 állomáson észlelhettünk és a nagy zűrzavarban tengelyen kellett összes kocsijainkkal innen Budapestre hajtatnunk, 370 Km utat megtennünk. Ez alkalommal munkatársaim RENNER JÁNOS és CSER IMRE voltak.

A háború 1915-ös zavaros évében észlelők és munkások híján EÖTVÖS-féle gravitációs méréseket nem végezhattünk. Csúpán STEINER LAJossal együtt a *Kis-Kárpátok és a Morvamező környékén* 5 állomáson relatív ingaméréssel a nehézségi erő abszolút értékét, a g -t határoztuk meg, mely adatok a jövő évi tervbe vett mérésekhez szolgáltak alapul. Időközben ugyanis BÖCKH HUGÓ messze kiható ajánlatára a m. kir. Pénzügyminisztérium tervbe vette, hogy bányakutatási célzattal torziós inga-méréseket fog végeztetni. A háborús viszonyok miatt egyelőre e mérésekre külön nem rendezkedhetett be s így EÖTVÖS bárót kérte fel, hogy az ő kívánságait is figyelemre méltatva, végezze kutatásait. Ez idő óta méréseink a pénzügyminisztérium hathatós erkölcsi és anyagi támogatásában részesültek s ez tette lehetővé, hogy azokat a háború alatt is zavartalanul folytathattuk.

1916-ban a *Morvamezőn*, az egbelli olajfúrások környékén 92 állomáson mértünk.^{154, 155} Állandó munkatársaim FEKETE JENŐ és WAGNER LAJOS voltak s egy ideig kívülök STEINER LAJOS, RENNER JÁNOS és WALEK KÁROLY vett részt a megfigyelésekben.

1917-ben földgázkutatói célzattal a *Hortobágyon és környékén* 135 állomáson észleltünk, előző évi állandó munkatársaimmal és WALEK KÁROLYlyal együtt.

1918-ban *Ujvidék és Titel környékén* dolgoztunk a torziós ingával és megfigyeléseinket 102 új állomással gyarapítottuk. Munkatársaim FEKETE JENŐ, SZECSDY MIKLÓS és KERÉKJÁRTÓ BÉLA voltak.

1919 április 8-án mindnyájunk nagy szomorúságára és a tudomány nagy veszteségére báró EÖTVÖS LORÁND elköltözött az élők sorából. Az előzők szerint a torziós ingával ez ideig 1400 állomáson végeztünk megfigyelést, nem számítva azt, hogy ellenőrzés céljából időközönként több állomást megismételtünk. A részletes felsorolásból láthatjuk, hogy e mérések nem rendszeres, országos felvételek voltak, hanem egyes, a gravitációs zavarok szempontjából érdekesnek ígérkező területek feldolgozásai.

A gravitációs állomásokon mindenkor a földmágneses elemeket is meghatároztuk s ezenkívül is még sok ilyen mérést végeztünk, amelyekkel az érdekesnek mutatkozó mágneses zavarokat teljes részletességgel kidolgoztuk. E tekintetben utalok a később következő e tárgyú értekezésre.

A torziós ingával átkutatott területek egyes pontjain OLTAY KÁROLY vezetése alatt *relatív ingamérések* történtek.^{78, 148} Mindekelőtt szükséges volt Budapesten a nehézségi erő gyorsulásának a g értékének pontos meghatározása. E célból 1908-ban OLTAY relatív ingamérésekkel a műegyetem geodéziai intézetét a potsdami geodéziai intézettel kötötte össze és e meghatározását 1915-ben még gondosabban megismételte, amely mérésekben magam is résztvettem.^{156, 157} A további mérésekben azután a kiinduló és a záró állomás mindenkor Budapest volt. Ily módon 1918 végéig a g abszolút értékét 46 állomáson határoztuk meg. A *függőőnellérések* megállapítása céljából pedig OLTAY 12 állomáson végzett sarkmagasságmérést, 3 állomáson pedig azimutmeghatározást. Mindezekben a mérésekben fősegítőtársa SZECSDY MIKLÓS volt.

Báró Eötvös halála után az 1907-ben alapított különleges intézményt a kultusztárcától a pénzügyminisztérium vette át, ahol az vezetésem alatt mint a *Báró Eötvös Loránd Geofizikai*

Intézet, a bányakutatási osztály keretében működik. Feladata egyrészt Eötvös báró tudományos vizsgálatainak folytatása és továbbfejlesztése, másrészt a geofizikai és pedig elsősorban a torziós ingamérések végzése. Igaz, hogy e mérések többnyire már bizonyos gyakorlati célt is szolgáltak, de azokat mindenkor a legmesszebb menő tudományos pontossággal végeztük. Mint-hogy e munkálatok az Eötvös báró életében végzeteknek szerves folytatását képezik, azokat az alábbiakban röviden részletezzük.

Sajnos 1919-ben a vörös uralom és a román megszállás miatt nem mérhettünk, sőt eszközeinket el kellett rejtenünk a tervbe vett elrekvirálás elől. 1920-ban elsősorban *Tokodon*, a Magyar Általános Kőszénbánya Részvénytársulat területén végeztünk FEKETE JENŐ és SZÉCSŐDY MIKLÓS közreműködésével 25 állomáson torziós ingamérést, amikor is a földalatti vetődéseket igyekeztünk kimutatni. Tudományos szempontból nagyon érdekes volt e kérdés kísérleti megvizsgálása, mert elméletileg e feladat megoldására a torziós inga kiválóan alkalmasnak ígérkezik.¹⁹⁰ Ugyancsak ez évben előző munkatársaim és RENNER JÁNOS segítségével tovább folytattuk petroleum és földgáz kutató méréseinket *Hajdúszoboszló* környékén 57, *Makó* vidékén pedig 42 állomáson.

Az 1921—23 években a nehéz gazdasági viszonyok dacára azért folytathattuk méréseinket nagyobb mérvben, mert erre az időtartamra a magyar kormány az *Anglo Persian Oil Company Ltd.*, illetve a *D'Arcy Exploration Company Ltd.*-del földgáz és olajkutatási szerződést kötött és az ennek megfelelőleg alakult *Hungarian Oil Syndicate Ltd.* részére a geofizikai kutatásokat vezetésem alatt az Eötvös Intézet végezte, amelynek összes költségeit természetesen az angolok fedezték.

1921-ben FEKETE JENŐ, SZÉCSŐDY MIKLÓS és RENNER JÁNOS segítségével a *Kúnszentmiklós*, *Lajosmizse* és *Bugyi* között fekvő területen 164 állomáson mértünk.

1922-ben előző évi munkatársaimmal folytattuk megfigyeléseinket és pedig *Hajdúböszörmény* környékén 66, *Szatmár-*

ököritő vidékén 43 és végül *Baja* körül 42 állomáson, amely utóbbi mérésekben JAKAB IMRE is közreműködött.

1923-ban SZECSÓDY MIKLÓS, RENNER JÁNOS, JAKAB IMRE, GERINCZY PÁL és OSZLACZKY SZILÁRD segítségével az angolok részére *Rápoltság* környékén 105 állomáson, a magyar állam megbízásából pedig SZECSÓDY MIKLÓS, KAHLE FRIGYES és POSCH ALFRÉD közreműködésével *Püspökladány* vidékén 62 állomáson végeztünk torziós ingamérést.

Közbejött nehézségek miatt sajnos 1924-ben a szabadban nem végezhattunk méréseket; 1925-ben azonban már tovább folytattuk ily irányú munkálatainkat és SZECSÓDY, JAKAB, SZILÁGYI BÉLA és VIRÁGVÖLGYI BÉLA segítségével *Ujfehértó* körül 47 állomáson mértünk.

1926-ban SZECSÓDY és JAKABON kívül OSZLACZKY SZILÁRD és MÁJAY PÉTER vett részt a mérésekben és 72 állomással egy *Karcagtól Nagykovácsig* húzódó gravitációs vonalat dolgoztunk ki.

1927-ben SZECSÓDY, OSZLACZKY és BAKOS TIBOR közreműködésével *Budapest* környékén 58, *Nagykovács* és *Ókéske* között 40 állomáson mértünk.

1928 tavaszán OSZLACZKY és BAKOS segítségével a Salgótarjáni Kőszénbánya Részvénytársulat dorogi bányájában 250 meterre a felszín alatt 14 állomáson végeztünk torziós ingamérést, a szén körüli triasz mészkőben lévő üregek kimutatására, amelyeken át a vízbetörés a bányászatot állandóan veszélyezteti. Ugyancsak ez évben SZECSÓDY, JAKAB, OSZLACZKY és BAKOS közreműködésével *Karcag* és *Kúmadaras* vidékén 105, majd pedig *Püspökladány* körül 26 állomáson mértünk. Az idei 1929 évi nyár folyamán még szélesebb mederben folytattuk kutatásainkat, amennyiben amint az a háború előtti időkben volt, ismét két külön expedíciós csoportban dolgoztunk.

Végeredményben az 1901—28 években hazánkban végzett méréseinkkel 9684 Km² területen földünk gravitációs erőterét teljes részletességgel megismertük, továbbá 1214 Km hosszú vonalon abba tájékoztató bepillantást nyertünk. Dicsekvés nélkül mondhatjuk tehát, hogy *sehol a világon nincs más ország,*

ahol ily nagy területre kiterjedő ily részletes és pontos gravitációs felmérések volnának. A tudományos anyag oly óriási, hogy annak közlése a legtömörebb módon, nagy quart alakban kilenc vaskos kötetet fog kitenni. Az eddigi közleményekben ugyanis sajnos csupán egyes részleteknek rövid összefoglaló ismertetése jelent meg.

Az Eötvös Intézet a külföld felkérésére ugyancsak több ízben végzett torziós ingaméréseket. Így az angol kormány legnagyobb olajvállalata a *Burmah Oil Company Ltd.* megbízásából három ízben mértünk Indiában összesen 357 állomáson. Még pedig 1923—24 telén személyes vezetésem alatt elsősorban RENNER JÁNOS, valamint KARUNA KUMAR DAS és JUGAL BEHARI LAL hindu asszisztenseim közreműködésével *Khairpur bennszülött állam dzsöngeljeiben*; továbbá 1925—26 telén vezetésem mellett ugyancsak elsősorban RENNER, és kívülé DAS, valamint HEM CHANDRA BANERJEA segítségével *Upper Assam őserdeiben Digboi és Tinsukia környékén* csupa bennszülöttből álló expedíciókkal dolgoztunk. Ezután az angolok utasításaim szerint itt Budapesten berendezkedtek a mérések végzésére. Első alkalommal azonban 1927—28 telén még SZECSÓDY MIKLÓS geofizikusom vezetése alatt dolgoztak és a megfigyelésekben W. SINGLETON és H. J. HAYMAN angolok, továbbá DAS és BANERJEA hindu asszistensek működtek közre. Ezenkívül 1927 és 1928 nyarán a Francia Köztársaság *Ministère des Travaux Publics*-je közvetlen felkérésére a *Puy-de-Dôme départementban a limagnei síkságon*⁴⁶⁷ végeztünk összesen 144 állomáson torziós ingaméréseket, amely munkálatokat vezetésem mellett elsősorban RENNER JÁNOS, kívülé első alkalommal JAKAB IMRE, második esetben pedig OSZLACZKY SZILÁRD végezte. Ily módon úgy Indiában, valamint Franciaországban elég tekintélyes területeket mértünk fel gravitációs eszközeinkkel. Jóllehet, mindezen külföldi mérések petróleumkutatás céljából történtek, azokat mindenkor a hazaiakhoz hasonlóan a legmesszebbmenő tudományos pontossággal végeztük. Ily módon tehát a gravitációs erőteret oly területeken ismerhettük meg teljes részle-

tességgel, ahol az különben nem lett volna módunkban. Együttal ezen, az ittenitől lényegesen eltérő viszonyok között végzett munkálatokból sok tanulságos és hasznos tapasztalatot meríthettünk.

Báró Eötvös halála után OLTAY KÁROLY is tovább folytatta abszolút méréseit és relatív ingáinkkal 27 újabb állomáson határozta meg a nehézségi erő értékét.^{373, 374}

Az előzők tanúsága szerint évek hosszú során át igen gazdag és értékes tudományos anyagot gyűjtöttünk össze, amelynek mielőbbi közlése elsőrangú kötelességünk annyival is inkább, mert aziránt a világ minden részéből egyre fokozottabb mértékben érdeklődnek.

* * *

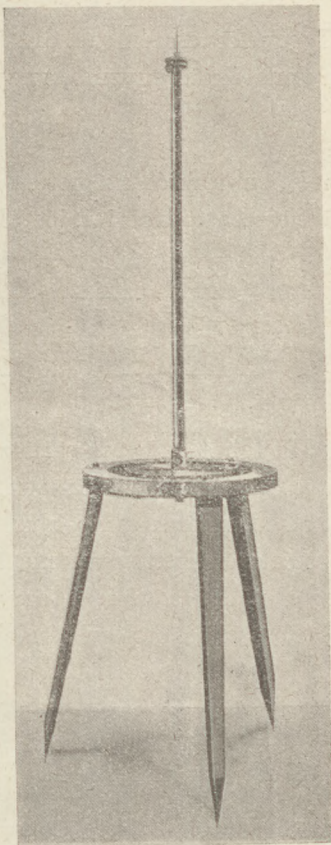
Báró Eötvös LORÁND gravitációs módszerét legelőször 1896-ban a Matematikai és Természettudományi Értesítőben,⁵⁷ valamint a Wiedemann Annalen-ben⁵⁸ tette közzé, melyekben annak részletes elméletével és e tárgyra vonatkozó sokoldalú vizsgálataival foglalkozik. Később 1900-ban a párizsi fizikai kongresszus elé terjesztett jelentésében,⁶⁶ mely a Matematikai és Physikai Lapok hasábjain is megjelent,⁶⁷ már a laboratóriumon kívül végzett mérésekről is beszámolt. Az Internationale Erdmessung kiadványaiban megjelent későbbi értekezéseiben a módszer elméletét különösen a szabadban végzendő mérések szempontjából⁷⁶ tárgyalja és a tényleges mérésekkel részletesebben foglalkozik, továbbá főbb vonásokban azok eredményeit is közli.^{78, 80} A Balaton-bizottság kiadványában megjelent értekezése a Balatonon végzett méréseket tartalmazza, egyszersmind a módszer elméletét elemi úton tárgyalja.⁷⁷

Tekintve, hogy az ezt megelőző cikk a módszer általános elméletét részletesen ismerteti, csupán annak a mérések szempontjából fontos részleteire terjeszkedem ki.

Báró Eötvös gravitációs méréseiben általában kétféle alakú torziós ingát használt, melyeket az előző cikk külön ábrákban is

feltüntet. Az *első alak*: a torziós dróton függő vízszintes rúd mindkét végére platinasúly van erősítve, szóval a rúd végein lévő nagyobb tömegek egyenlő magasságban vannak. A *második alak*: a vízszintes rúd egyik végére ugyan- csak platinasúly van erősítve, másik végén pedig vékony drótra függesztve platinahenger lóg alá, szóval a rúd végein levő tömegek különböző magasságban vannak. A szabadban végzett mérésekre csaknem kizárólag a második alakú torziós ingát használják.

A nehézség térbeli változásainak hatására a torziós inga általában elcsavarodik. Ha az erőt a térben lineárisan változónak tételezzük fel, ami az eszköz aránylag kis terében elegendő szigorúsággal felvehető, akkor ez az elcsavarodás a *második alakú* ingára vonatkozólag a következő módon fejezhető ki. Legyen U a nehézségi erő potenciál függvénye egy derékszögű XYZ koordinátarendszerre vonatkoztatva, amelynek kezdőpontja a lengőszerkezet súlypontjában van s amelynek Z tengelye függélyesen lefelé, X tengelye észak, Y tengelye pedig kelet felé van irányítva. Jelentse továbbá K a lengőszerkezet tehetetlenségi nyomatékát, h a mélyebben lógó m tömeg súlypontjának függőleges távolságát a felsőtől, l annak forgási karját s végül a a rúd tengelyének az X tengellyel képezett szögletét, akkor a forgató nyomaték F következőképpen fejezhető ki :



1. ábra. Görbületi variometer
1890-ből.

$$F = \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) K \frac{\sin 2\alpha}{2} + \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} K \cos 2\alpha - \\ - \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} mhl \sin \alpha + \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} mhl \cos \alpha.$$

Egyensúly esetén ez a drót megcsavarodásából származó forgató nyomatékkal egyenlő, vagyis

$$F = \tau \vartheta,$$

hol ϑ a torziós szögletet, a fonál megcsavarodását, τ pedig a felfüggesztő drót torziós állandóját jelenti. E két egyenlethől :

$$\vartheta = \frac{1}{2} \frac{K}{\tau} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + \frac{K}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha - \\ - \frac{mhl}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin \alpha + \frac{mhl}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos \alpha.$$

Ha tehát az egész eszközt függélyes tengely körül elforgatva, más és más állásba hozzuk, a létrejövő elcsavarodásokat különböző azimutokban, α -kban meghatározhatjuk. Tekintve, hogy egyenletünkben négy meghatározandó adat foglaltatik, azonkívül pedig a rúd elcsavaratlan helyzetét nem ismerjük, legalább öt állásban kell észlelnünk s ebből azután a

$$\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right), \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$$

értékeik kiszámíthatjuk.

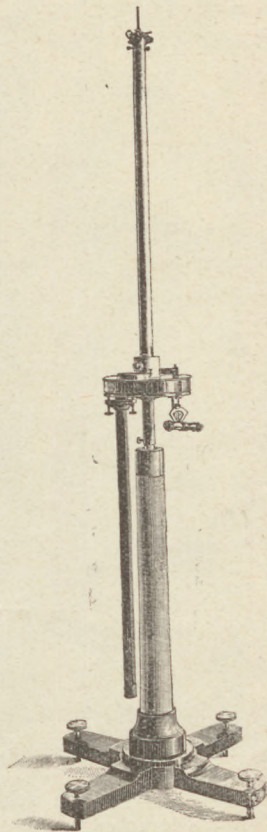
Teljeség kedvéért csupán felemlítem, hogy az *első alakú* torziós inga formuláiban a jobboldal csak a két első tagból áll s így ez a meghatározandó négy adat közül csupán az első kettőt adja meg. Kevesebb adatot nyújt a nehézség térbeli változásai-ból s ezért kevésbé használatos. Igaz, hogy e két adat az első alakú torziós ingával pontosabban és biztosabban meghatározható, de a szabadban való méréseknél, tekintettel egyéb zavaró körülményekre, a második alakú ingával elérhető pontosság teljesen elegendő.

* * *

Magának az eszköznek megszerkesztésében elsősorban azt kellett szem előtt tartani, hogy annak *igen érzékenynek kell lennie*, mert vele 1.10^{-9} CGS rendű értékeket kell meghatározunk, amiért is az ingák egyszerű lengésidejének 15 perc-nél nagyobbaknak kell lennie. Ezért az aránylag nagy tehetetlenségi nyomatékú ingákat lehetőleg kis torziójú, vékony drótokra függesztjük. Szükséges továbbá, hogy a lengőszerkezetet a külső zavaró hatásoktól kellően megóvjuk, hogy az a nagy érzékenység mellett is biztos adatokat nyújtson.

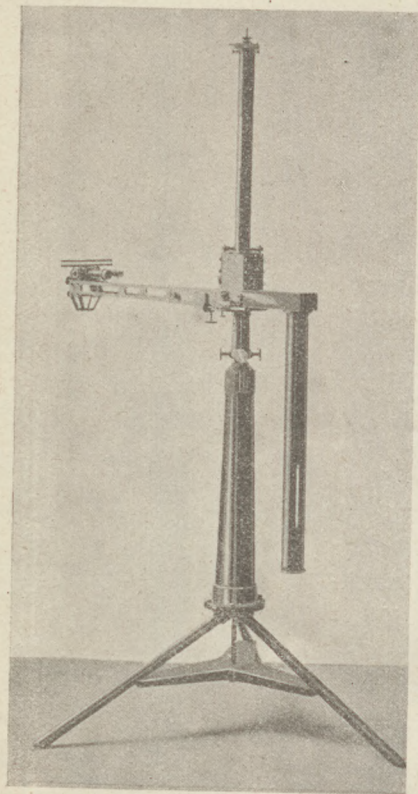
A torziós drót az eszköz lelke, mert tulajdonképpen annak rugalmas erejével mérünk. Feltétlenül szükséges tehát, hogy annak torziós állandója és csavarodottsági állapota állandó legyen. E célra Eötvös báró többnyire 0.04 mm átmérőjű platina-irridium drótokat használt, amelyeket különböző előzetes műveletekkel állandósított, mert azok közvetlenül az egyensúlyi helyzetnek nagymérvű és szabálytalan eltolódása folytán nem használhatóak. Ezért HERAEUS-nál külön oly drótokat rendelt, hogy azok húzás közben lehetőleg ne legyenek megcsavarva. A kellő hosszúságban rézlapocskákhoz forrasztott s így elkészített drótokat régebben hosszabb

ideig tartó megterheléssel, később különböző e célra alkalmas és évtizedek tapasztalatai alapján egyre célszerűbben kidolgozott eljárásokkal állandósítjuk. Az így elkészült drótokat még külön e célra szerkesztett úgynevezett próbaeszközben megvizsgáljuk s közülök a kicsi és állandó hőmérsékleti egyűtthetőséggel bírókat



2. ábra. Horizontális variometer 1890-ból.

kiválasztjuk. Ily módon szinte hihetetlen állandóságú drótokat sikerült előállítanunk. Quarcfonalakkal is kísérleteztünk, de ezek e célra nem váltak be s tapasztalataink szerint csupán kisebb megterhelések esetén használhatóak.



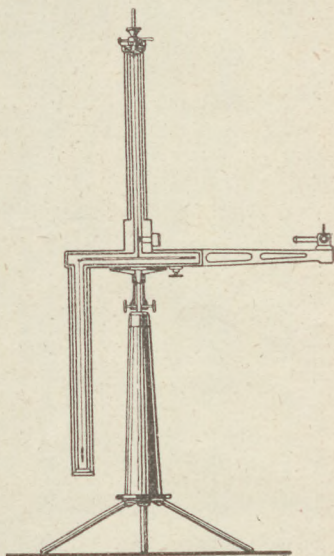
3. ábra. Egyszerű nehézségi variometer 1898-ból.

Mielőtt a szabadban való mérésekben használt eszközöket ismertetnők, báró Eötvösnek régebbi, főleg laboratóriumi kutatásokban használt eszközei közül legalább a két legfontosabbat bemutatjuk. Az 1. ábrán az 1890-ben szerkesztett *első alakú torziós ingát* látjuk, amelyben tehát az ingarúd végén lévő tömegek egy vízben vannak. Báró Eötvös találóan *görbületi variometernek* nevezte el ezt az eszközt, jelezvén ezzel, hogy az csupán a görbületi adatokat adja meg. Az észlelés egy külön állványra szerelt skála és távcsővel történik. E célból a torziós rúdra erősített kis tükrön kívül, még az eszköz házára is egy külön tükröske van erősítve,

s a torziós inga kitéréseit e két tükrő által reflektált skálaképek egyidejű megfigyelésével határozzuk meg. A 2. ábrán az ugyan-csak 1890-ben szerkesztett *második alakú torziós ingát* látjuk, ahol a rúd végein lévő tömegek különböző magasságban vannak. Az eszközt Eötvös báró *horizontális variometernek* nevezte el, minthogy elsősorban a nehézségnek a horizontális síkban való változásait, a gradienst adja meg. Az észlelés ugyanúgy történik,

mint az előző műszernél. Ezek a torziós ingák 1896-ban a Budapesti Ezredéves Kiállításon már ki voltak állítva.

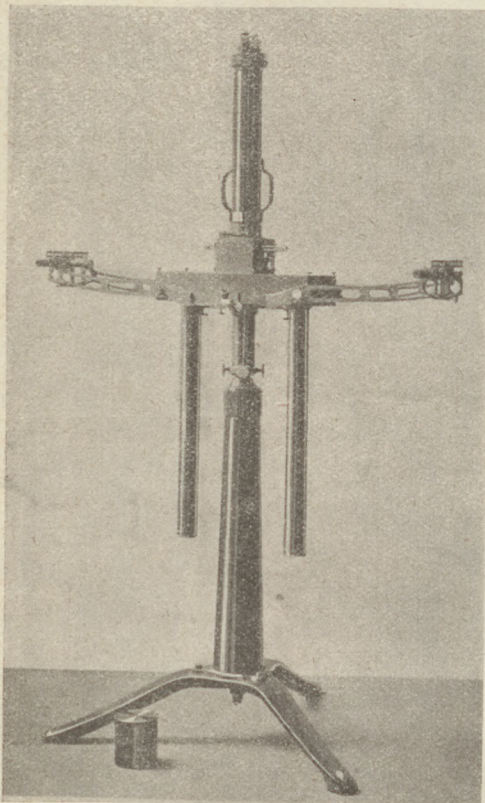
A 3. ábrán az 1898-ban szerkesztett *egyszerű nehézségi variometer* külső képét, a 4. ábrán pedig annak keresztmetszetét látjuk. Az eszköz a mezei mérésekben már kényelmesen használható és 1900-ban a Párizsi Világkiállításon már ki volt állítva. Úgy ezen, valamint a későbbi *nagytípusú báró Eötvös-féle ingákban* a lengő szerkezet alumíniumból készült 40 cm hosszú, vízszintes rúd, melynek egyik végére platinalapocska van erősítve, másik végén pedig körülbelül 30 grammos platinahenger lóg le. A rúd függélyes toldalékrészére kis tükör van erősítve s az elcsavarodásokat a szokásos módon távesöves tükör leolvasással észleljük. Az eszköz természetesen védenünk kell a külső zavaró hatásoktól: légáramlásoktól, sugárzásoktól, gyors hőmérsékletváltozásoktól stb. Ezért maga a lengő szerkezet 3—5 mm vastag rézlemezekből és csövekből készült hármass fémtokba van bezárva. Az eszköz masszív oszlopra van helyezve és pedig akként, hogy függélyes tengely körül forgatható s így különböző azimutokba állítható. Magukat az azimutokat az oszlopra erősített körosztályzaton olvassuk le.



4. ábra. Egyszerű nehézségi variometer keresztmetszete.

Az észlelési időtartam megrövidítése céljából báró Eötvös már 1902-ben egy új, úgynevezett *kettős nehézségi variometer-t* szerkesztett, amelyet az 5. ábrán láthatunk. Ez tulajdonképpen két egymástól teljesen független eszköz, melyek azonban egymáshoz képest 180°-kal elforgatva, közös állványra vannak szerelve. Ez esetben tehát egyidejűleg mindenkor két eszközzel észlelünk s így a kívánt adatok meghatározására már három

állításban való észlelés elegendő. Újabban általában az ilyen kettős eszközöket használják. A régebbi műszereket szállításnál több darabra kellett szétszedni (6. ábra), ami a velök való bánást nehézkessé és hosszadalmassá tette, sőt az eszközöknek



5. ábra. Kettős nehézségi variometer
1902-ből.

folytonos kinyitogatása a szabadban egyenesen célszerűtlennek bizonyult. Éppen ezért az újabbaknál maga a tulajdonképpeni eszköz egy darabból áll, amelyet szállításkor nem szedünk szét. Csúpan a háromlábát és az oszlopot szállítjuk még külön darabban, amelyre azután magát az eszközt egyszerűen reáhelyezzük. Ez esetben természetesen megfelelő berendezésről kellett gondoskodni, hogy a lengő szerkezet szállításelőtt kívülről arretálható legyen. Továbbá megfelelő kocikat készítettünk, amelyekbe az eszközöket közvetle-

nül és kényelmesen behelyezhettük (7. ábra).

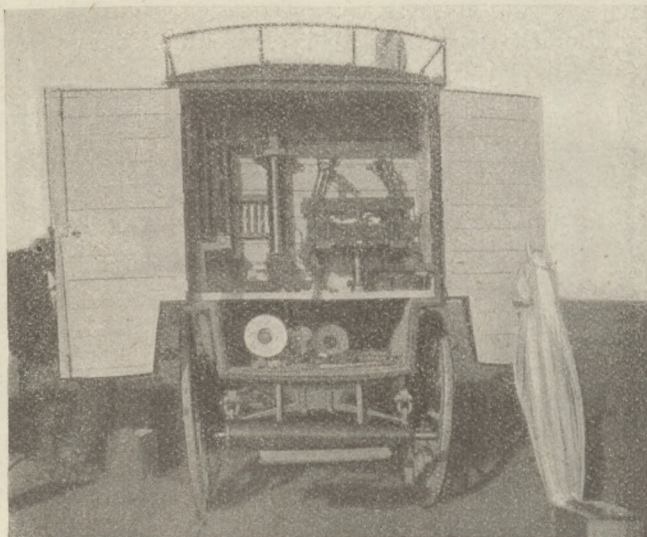
A szabadban való méréseknél az eszközt külön e célra készült sátorban állítjuk fel, hogy az időjárás viszontagságai és a gyors hőmérsékletváltozásoktól megvédjük. A sátor, illetve házikó erős, vízhatlan vászonból való, kettős falú és a két fal köze hőszigetelés céljából faforgáccsal van kitöltve (8. és 9. ábra). Bár

eszközeink nappal is teljesen megbízható leolvasásokat nyújtanak, az észleléseket többnyire éjjel végezzük, amikor is az egyenletesebb hőmérséklet miatt még pontosabb adatokat nyerünk. Egyébként ez az időbeosztás az expedíciókban az idő kihasználása szempontjából is előnyös. Ha ugyanis az állomások egymástól nagyobb, több kilométer távolságban fekszenek, a hurcolkodás, a sátrak és eszközök felállítása s egyéb munkálatok a nappalt elfoglalják, éjjel az észleléseket végezzük el s így egy-egy állomással egy nap alatt elkészülünk. Maga az észlelés a megnyugodott rudak egyensúlyi helyzetének és a hőmérsékleteknek óránkénti leolvasásából áll, amikor is azután az eszközt egy-egy újabb állásba forgatjuk át. Régebbi eszközeinkben a engő szerkezetek csak 1 óra 45 perc alatt nyugodtak meg s így egy éj folyamán a szükséges leolvasásokat kellő számban nem ismételhettük meg. Éppen ezért később a rudat körülvevő szekrény magasságát kellően beszabályoztuk; a magasságnak megfelelő csökkentésével ugyanis a csillapodást annyira fokozhatjuk, hogy a lengő szerkezet egy óra alatt teljes biztonsággal nyugalomba jön.

Az eddig tárgyalt eszközökön kívül báró Eötvös 1908-ban még két más *kisebb méretű kettős variometert* is szerkesztett, egyet 20 cm és egyet 10 cm hosszú rudakkal, amelyeket a 10., illetve a 11. ábrán bemutatunk. Ezek közül az első elég jól használható, a második azonban nem vált be. Az eszköz méreteinek csökkentésével ugyanis a külső zavaró hatások befolyása növekszik, amiért is túlságosan kisméretű eszközök szerkesztése nem ajánlatos és előnytelen.

Végül teljesség kedvéért felemlítem, [hogy báró Eötvös 1909-ben lelógó súlyok nélküli rudakkal is készítettett egy a szabadban való mérésekre szánt eszközt, amelyben tehát a rúd két végén egyenlő magasságban vannak a platinasúlyok felerősítve. E műszer tulajdonképpen három különálló, de közös állványra szerelt eszközből áll, amelyek egymással 120° — 120° -ct képeznek (12. ábra). E *hármasszögletes variometer*-rel az 1910. évi expedíció folyamán *Titel környékén* rendszeresen észleltünk.

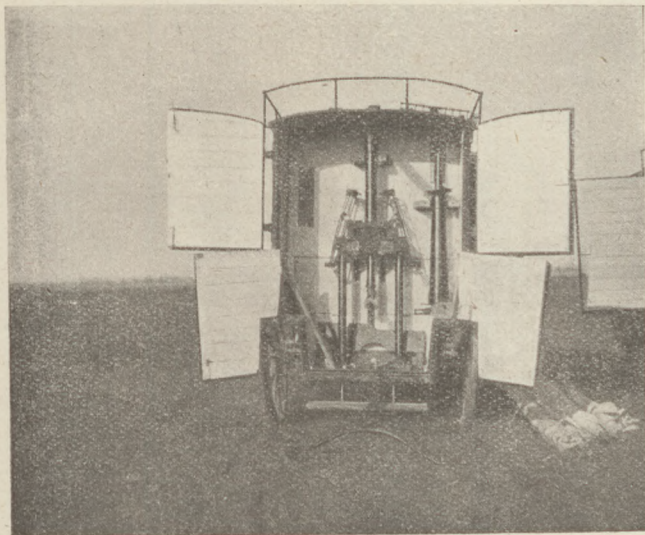
Az eszköz teljesen bevált, de tekintettel arra, hogy a nehézségi erő változásainak csupán két adatát, a görbületi adatokat adja meg, az eszközt további méréseinkben nem [használtuk. Az ily fajta torziós ingáknak különösen geodéziai szempontból van nagy jelentőségük, minthogy bizonyos fokú közvetlen felvilágosítást nyújtanak a nívófelület tényleges görbületére vonatkozólag.³⁵⁵



6. ábra. Műszerkocsi az 1902. évi eszközzel, melyet szállításkor teljesen szét kellett szedni.

Báró Eötvös halála óta a vezetésem alatt működő Eötvös-Intézet, a legkülönbözőbb körülmények között végzett kiterjedt méréseiben szerzett tapasztalatai és a laboratórium-ban végzett kísérletei alapján tovább tökéletesítette a torziós ingákat, hogy azok a szabadban folyó munkálatok összes követelményeinek legmesszebbmenőleg megfeleljenek. Különös gondot fordítottunk arra, hogy eszközeink a külső zavaró hatások, különösen a gyors hőmérséklet változásokkal szemben érzéketlenek legyenek, amit az eszköz belsejében elhelyezett alkalmas

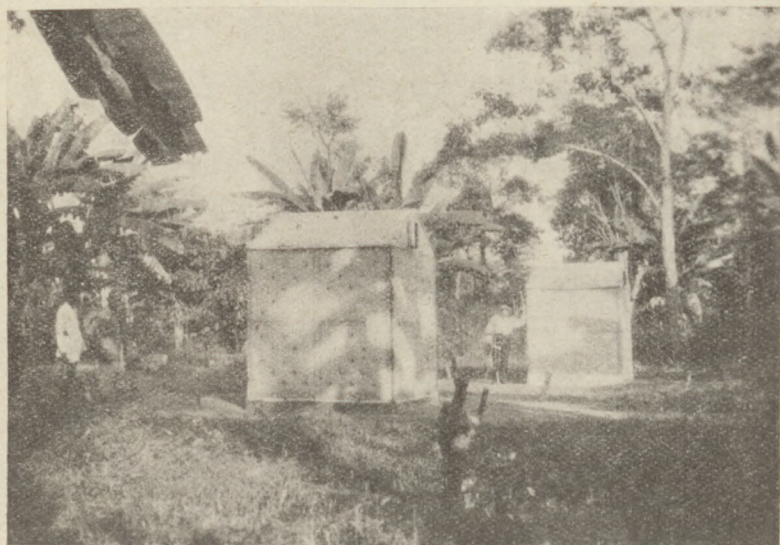
felületekkel értünk el.^{151, 394} Lépésről lépésre haladva eleintén a szabadban jól bevált *nagyobbméretű Eötvös-eszközök* tökéletesítésével foglalkoztunk. Így többek között a drága platinasúlyok helyett olcsóbb aranyat használtunk, ami kevésbé lévén mágneses, határozottan előnyösebbnek bizonyult; az eszköz súlyának csökkentésére azt jórészt alumíniumból készítettük; az arretálást tökéletesítettük, hogy az teljesen megbízható és az



7. ábra. Műszerkocsi az 1907. évi eszközzel, mely csak három darabból áll, a tulajdonképpeni eszközből, az oszlopból és a háromlábból.

eszköz arretált állapotban bármely helyzetben szállítható legyen stb.^{191, 204, 255} Csakhamar azonban a gyakorlatban előnyösebb *kisebbméretű eszközök* szerkesztésére tértünk át. A 13. ábrán bemutatott új kis eszköz kitűnően bevált. Mindenestül két kis ládába csomagolva könnyen szállítható; szükség esetén kulik a hátukon vihetik. Felállítása és kezelése végtelenül egyszerű. Szerkezete egyáltalán nem kényes, a rázkódást jól bírja, hosszú tengeri és vasúti szállítás után minden újabb szabályozás nélkül közvetlenül észlelhetünk vele. Gyors hőmérsékletváltozások

esetén is jó és megbízható leolvasásokat nyújt, amiért is külföldön kizárólag nappal mérnek eszközeinkkel. Az észlelések háromnegyedóránként végezhetők. Úgy a régebbi torziós ingákat valamint ezt a kis típusú eszközt, a *Süss Nándor Precíziós Mechanikai és Optikai Intézet R. T.* Budapesten gyártja a mi utasításaink szerint és ellenőrzésünk mellett. A belső lengő szerkezetet, a tulajdonképpeni torziós ingát azonban mi állítjuk



8. ábra. Műszersátrak Indiában felállítva.

egybe. A torziós drótokat mi magunk készítjük. A kellően egybeállított eszközt mindenkor egyénileg megvizsgáljuk, a már említett felületek kellő alkalmazásával a külső zavaró hatásokkal szemben érzéketlenné tesszük. Végül a műszer állandóit és formuláit meghatározzuk, hogy az a mérésekre közvetlenül használható legyen. Eszközeink már kiállották a gyakorlati élet tűzpróbáját, amint azt szerte a nagyvilágon Japán és Indiától Amerikáig, Európától Afrikáig közel 100 darab használatban lévő «Original Eötvös Made in Hungary» bizonyítja.

*

Hogy az észlelésekből a meghatározandó adatokat kiszámíthassuk, mindenekelőtt szükséges, hogy a formulában szereplő

$$\frac{K}{\tau} \text{ és } \frac{mhl}{\tau}$$

mennyiségeket, vagyis az *eszköz állandóit* ismerjük. Ezek közül az m , h és l mérlegeléssel, illetve hossz-méréssel közvetlenül lemérhető.

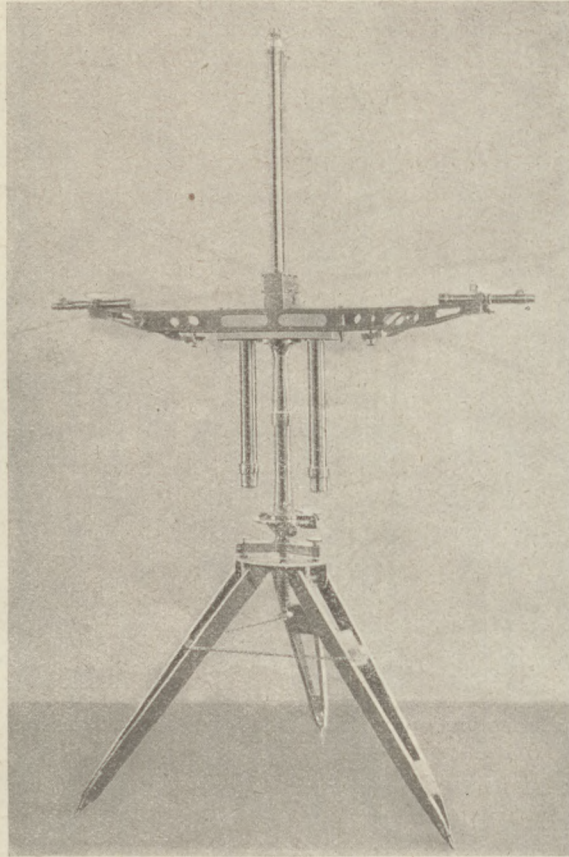


9. ábra. Műszersátor-lapok szállítása Upper Assamban elefántokon.

A K -t, a lengő szerkezet *tehetetlenségi nyomatékát* az eszközön kívül határozzuk meg. E célból a rudat megfelelő vastagabb drótra függesztjük és a lelógó súlyt rövidre fogjuk, hogy ingásaival az egész szerkezet lengéseit ne zavarja. Maga a meghatározás az egyébként is szokásos módon történik. A rúdon ugyanis kis keresztbevágások vannak. E helyekre egyszer kisebb, egyszer nagyobb forgássugáron két hengeres súlyt akasztunk s a lengésidőket mindkét esetben pontosan meghatározzuk. Ismerve a lengésidőket, a segédsúlyok tömegét és átmérőjét,

valamint forgássugarait, ez adatokból a tehetetlenségi nyomatékot könnyen kiszámíthatjuk.

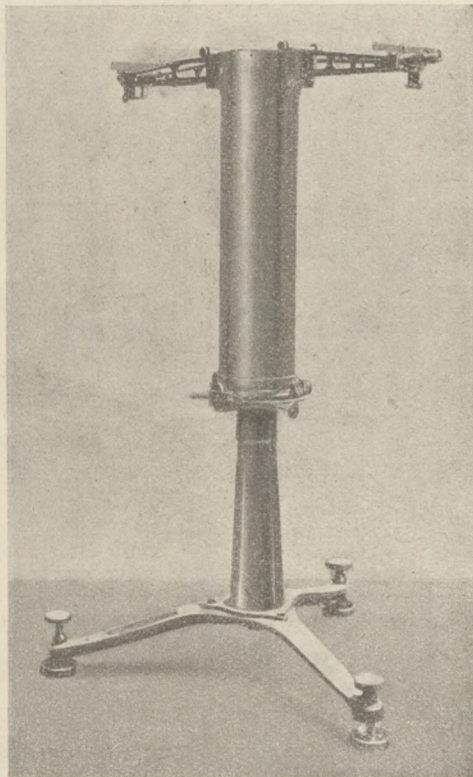
A *torziós állandó*, a τ meghatározása céljából egy körülbelül



10. ábra. Kis eszköz 1908-ból 20 cm-es torziós rudakkal.

13 kg-os ólomgolyót a lelógó súly közelében, felváltva hol az egyik, hol a másik oldalra helyezünk és a létrehozott kitéréseket megfigyeljük. Ebből a tömegek, a távolságok és a lelógó súly hosszának ismerete mellett a τ -t egyszerű módon kiszámíthatjuk.

Az észlelés, amint azt már említettük, tükörleolvasással történik és pedig, hogy lehetőleg kis sátorban elférjünk, megtört, prizmás távcső segítségével. Ha n a skálaleolvasást, n_0 a meg-



11. ábra. Kis eszköz 1908-ból 10 cm-es torziós rudakkal, kettős rézhengerbe zárva, vizspirálissal.

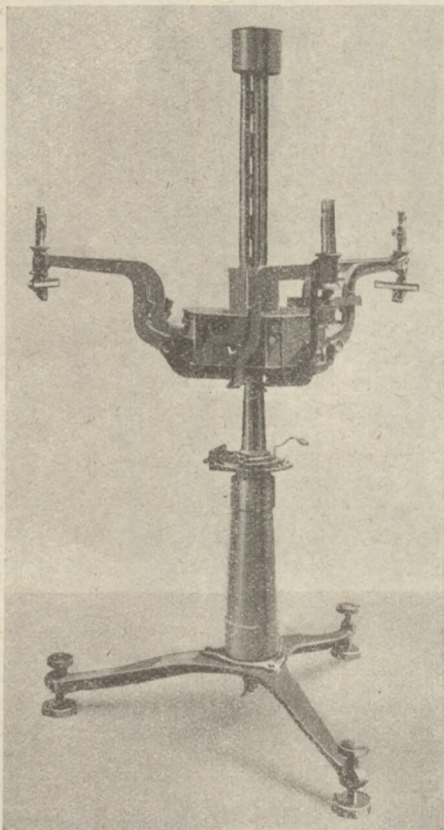
osavaratlan rúd helyzetének skálaértékét, D pedig a skálaváltást jelenti, akkor törött távcső esetén:

$$\vartheta = \frac{n_0 - n}{2D}.$$

Ezt a ϑ képletébe helyettesítvén, az eszköz formuláját a következő alakban nyerjük:

$$n_0 - n = D \frac{K}{\tau} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + 2D \frac{K}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha - \\ - 2D \frac{mhl}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin \alpha + 2D \frac{mhl}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos \alpha.$$

Az egyszerű nehézségi variométernél öt azimutban és pedig



12. ábra. Hármass görbületi variométer 1909-ből.

legcélszerűbben a mágneses meridiánból kiindulva 0° , 72° , 144° , 216° és 288° -os állásokban észleljük le a megnyugodott rúd skálaértékeit az n_1 , n_2 , n_3 , n_4 és n_5 -öt. Ha az imént felírt formulába az állandók, valamint az azimutok trigonometrikus függvényeinek számértékeit behelyettesítjük s az öt egyenletből

az n_0 -át kiküszöböljük, a számításra alkalmas egyszerű formulákhoz jutunk.

Példaképpen közlöm a «Balatoni eszköz»-nek nevezett egyszerű variometerünk 1903. évi formuláit:

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} = -2.1061 (n_5 - n_2) - 1.3017 (n_4 - n_3)$$

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} = +1.7916 (n_4 + n_3 - 2n_1) - 0.6843 (n_5 + n_2 - 2n_1)$$

$$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) = +4.1413 (n_5 - n_2) - 6.7008 (n_4 - n_3)$$

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} = -1.0886 (n_4 + n_3 - 2n_1) + 2.8499 (n_5 + n_2 - 2n_1)$$

Lényegében hasonló módon határozzuk meg a kettős nehézségi variometer formuláit, amelynél az észlelés csupán három a 0° , 120° és 240° -os azimutokban történik.

A meghatározandó adatokat sorozatosan az egymásra következő három-három állásból számítjuk ki a példaképpen egy újabb típusú (36,723 számú) kis eszközre vonatkozólag közölt alábbi, illetve ahhoz hasonló formulákkal, amelyekben n_1 , n_2 és n_3 az első inga, n'_1 , n'_2 és n'_3 a második inga leolvasásait, n_0 illetve n'_0 pedig a csavaratlan egyensúlyi helyzeteket jelenti.

$(n_2 - n_0)$ és $(n_3 - n_0)$ -ból:

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} = +1.4094 \{[(n_2 - n_0) - (n_3 - n_0)] - (1 + 0.01682) [(n'_2 - n'_0) - (n'_3 - n'_0)]\}$$

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} = +2.4412 \{[(n_2 - n_0) + (n_3 - n_0)] - (1 + 0.01682) [(n'_2 - n'_0) + (n'_3 - n'_0)]\}$$

$$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) = +4.3711 \{[(n_2 - n_0) - (n_3 - n_0)] + (1 + 0.00484) [(n'_2 - n'_0) - (n'_3 - n'_0)]\}$$

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} = +3.7855 \{[(n_2 - n_0) + (n_3 - n_0)] + (1 + 0.00484) [(n'_2 - n'_0) + (n'_3 - n'_0)]\}$$

$(n_3 - n_0)$ és $(n_1 - n_0)$ -ből:

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} = -1.4094 \{ [2(n_3 - n_0) + (n_1 - n_0)] - (1 + 0.01682) [2(n'_3 - n'_0) + (n'_1 - n'_0)] \}$$

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} = -2.4412 \{ (n_1 - n_0) - (1 + 0.01682)(n'_1 - n'_0) \}$$

$$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) = -4.3711 \{ [2(n_3 - n_0) + (n_1 - n_0)] + (1 + 0.00484) [2(n'_3 - n'_0) + (n'_1 - n'_0)] \}$$

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} = -3.7855 \{ (n_1 - n_0) + (1 + 0.00484)(n'_1 - n'_0) \}$$

$(n_1 - n_0)$ és $(n_2 - n_0)$ -ből:

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} = +1.4094 \{ [2(n_2 - n_0) + (n_1 - n_0)] - (1 + 0.01682) [2(n'_2 - n'_0) + (n'_1 - n'_0)] \}$$

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} = -2.4412 \{ (n_1 - n_0) - (1 + 0.01682)(n'_1 - n'_0) \}$$

$$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) = +4.3711 \{ [2(n_2 - n_0) + (n_1 - n_0)] + (1 + 0.00484) [2(n'_2 - n'_0) + (n'_1 - n'_0)] \}$$

$$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} = -3.7855 \{ (n_1 - n_0) + (1 + 0.00484)(n'_1 - n'_0) \}$$

Mi magunk a három állásból rendszerint három sorozatot figyelünk meg, összesen tehát kilenc megfigyelést végzünk, hogy ily módon a meghatározandó adatokat teljes tudományos pontossággal és biztonsággal állapíthassuk meg. Az eszköz közvetlen környezetében a talajban nem egyszer teljesen lokális sűrűség-egyenetlenségek fordulnak elő. Hogy ezeket észrevegyük és hatásukat kiküszöbölhessük egyidejűleg mindenkor két, egymástól néhány méter távolságban felállított torziós ingával mérünk.

Az észleléseket egyszerűség kedvéért a mágneses meridiánból kiindulólág végezzük s ebből azután a csillagászati délkörre vonatkoztatott értékeket utólag kiszámítjuk. További részletekbe e rövid ismertetés keretében nem bocsátkozhatom.

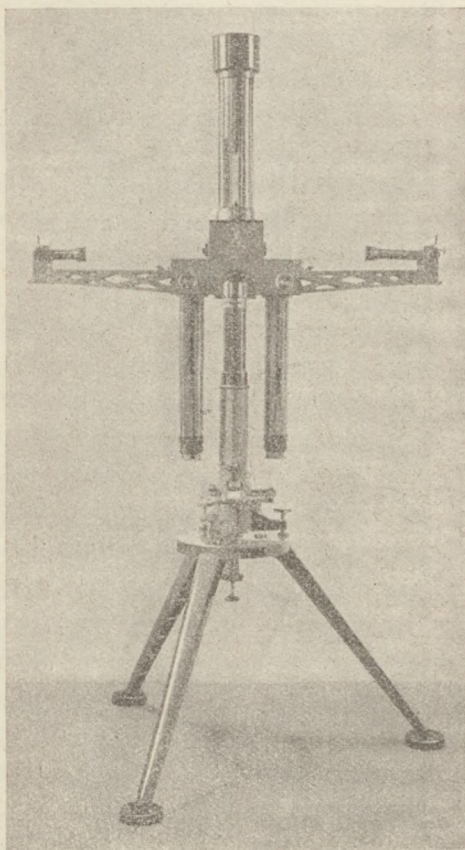
* * *

Megfigyeléseinkből az észlelési helyeken a

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}, \quad \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right), \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$$

tényleges értékeit, a *«teljes értékeket»* nyerjük.

Ezek így közvetlenül további számításokra és következtetésekre nem alkalmasak. Ez adatokban ugyanis benne van első-sorban a közvetlen környezet látható egyenetlenségeiből származó hatás, amely teljesen a véletlentől függ. E *«terrénhatást»* mindenkor tekintetbe kell vennünk és meg kell határoznunk. Nem túlságosan egyenetlen területen elegendő ezt 100 méter távolságig kiterjeszteni. Az eljárás lényege a következő. Közvetlenül az eszköz alatt előzőleg egy körülbelül 1,5 méter sugarú kört síkra egyengetünk, *«kiplanírozunk»*. Ennek lejtését a mágneses észak-dél, illetve kelet-nyugat irányban alkalmas módon libellával mérjük. A mágneses meridiánból kiindulólág 8 irányban az 5, 20, 50 és 100 méter távolságban lévő pontok átlagos magasságát nivelláló eszközzel meghatározzuk. Ez adatokból, az ugyancsak külön megmért földszűrűség tekintetbe vételével a terrén-



13. ábra. Új típusú kis eszköz 1927-ből.

hatást kiszámítjuk. Az e célra levezetett formulákat és a számítás menetét nem részletezhetem. Természetesen minden-
esetre szükséges, hogy a számításban felhasznált pontok a
terepre jellemzőek legyenek, éppen ezért ennek megfelelően kell
az állomásokat kitűznünk, amit kis gyakorlattal könnyen elér-
hetünk. Közelben lévő árkok, töltések stb. hatását külön kiszá-
mítjuk, ha azokat az állomás eltolásával el nem kerülhetjük.
Külön e célra végzett vizsgálatokkal meggyőződhattunk arról,
hogy a térrénhatás meghatározása reális eredményekre vezet.

E térrénhatást a teljes értékekből mindenkor le kell vonnunk
s így kapjuk a *«topografikus értékeket»*.

A Föld nem teljesen gömb alakja miatt a

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \text{ és } \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \text{-nak}$$

számottevő *«normális értékei»* vannak. Ezeket a BESSEL-féle
ellipszoid és a HELMERT-féle formula segítségével a különböző
szélességű helyekre kiszámíthatjuk. Budapesten pl.

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} = 8 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \text{CGS} \quad \text{és} \quad \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) = 4 \cdot 7 \cdot 10^{-9} \text{CGS}.$$

Ha e normális értékeket a topografikus értékekből levonjuk,
kapjuk a gravitációs zavar jellemzőit, a *«topografikus rendelle-
nességeket»*.

Ha a geológusok kívánságainak megfelelőleg a földalatti
láthatatlan tömegekre akarunk következtetni, akkor a föld-
feletti látható tömegek és különösen a hegyek hatását is tekin-
tetbe kell vennünk. E *«kartografikus hatást»* alkalmas módon a
térképek rétegvonalai alapján elegendő közelítéssel kiszámít-
hatjuk. A kartografikus hatást a topografikus értékekből levonva
jutunk a *«szubterrán rendellenességekhez»*, amelyek a földalatti
tömegek hatásából származnak. Síkságon, nagy távolságra a
hegységektől a kartografikus hatás zérus, illetve elhanyagol-
hatóan kicsiny, amiért is itt a kétféle rendellenesség összeesik.

Ezek után lássuk, mit jelentenek a torziós mérleg nyújtotta adatok s hogy azokból folytatólagosan mi mindent számolhatunk ki.

Az első két adat a $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$ és $\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$ egy nivófelületben nehézségi erő gyorsulásának a g -nek változásait határozza meg, még pedig a horizontális síkban a nehézség legnagyobb változását, a gradienst és annak irányát adja meg. Tudvalevőleg ugyanis

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} = \frac{\partial g}{\partial x} \quad \text{és} \quad \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} = \frac{\partial g}{\partial y}$$

vagyis ezek a *nehézségi erő gradienseinek összetevői* és magát az eredőt, a *teljes gradienst* és annak irányát, illetve az X tengellyel képezett szögletét az α -t, a következő kifejezések adják:

$$\frac{\partial g}{\partial s} = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}\right)^2} \quad \text{és} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}}{\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}}.$$

A gradienseket térképeinken megfelelő irányú és hosszúságú nyilakkal ábrázoljuk.

Ha a nivófelület minden pontjában ismernők a gradienseket, akkor a nehézségi erő véges változásait a Δg -ket integrálás útján pontosan kiszámíthatnók. A valóságban ezt teljesen elegendő közelítéssel megkaphatjuk, ha az állomásoknak elég sűrű hálózata áll rendelkezésünkre, úgyhogy két szomszédos állomás között a változást lineárisnak vehetjük, amikor is az x és y menti gradiensösszetevők középértékeivel mehetünk egyik állomásból a másikba. Ez eljárás megengedhetőségét bizonyítja az, hogy egy zárt vonalon körülhaladva, az ily módon számított

$$\int \frac{dg}{ds} ds = 0,$$

amint ez különböző méréseinkkor ismételten beigazolódott.

Ha a *nehézségi erő gyorsulásának abszolút értékeit* akarjuk kiszámítani, szükséges, hogy azt legalább is az észlelési hálózat

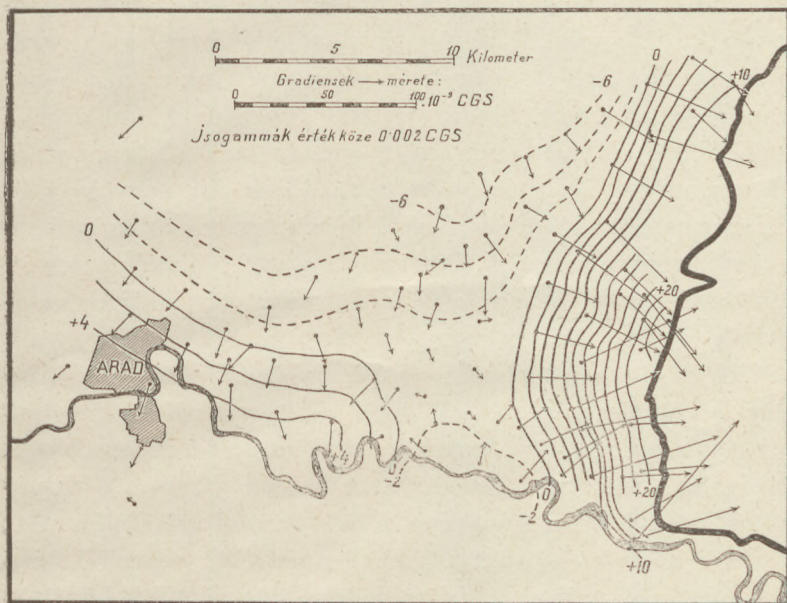
egy pontján *ingaméréssel* meghatározzuk. Célszerű azonban, ha több ponton végzünk ingamérést, mert ekkor a torziós mérleg eredményeit az ingamérés adataival ellenőrizhetjük. Ismételten alkalmunk volt meggyőződni arról, hogy elegendő sűrűségű hálózat esetén, hosszú vonalakon keresztül a gradiensekből levezetett adatok az inga adataival megegyeznek, illetve az eltérések az ingamérések pontosságát nem igen haladják meg. Ily módon a két eszköz egymást ellenőrzi és szervesen kiegészíti. Az inga egyes pontokon abszolút értékeket ad s ezek között a torziós mérleg a nehézségi erő változásának menetét adja meg és pedig oly részletességgel, amelyet ingával meg nem határozhatunk.

Csak egyes esetekben tapasztaltunk nagyobb eltéréseket a kétféle mérés között. Így báró Eötvös sághegyi mérései és STERNECK ingamérései között aránylag nagy különbség mutatkozott,^{66, 67} amint azt már az előzőkben említettük. Hasonló eset fordult elő balatoni méréseinkkor. STERNECK adatai szerint a nehézség rendellenességének különbsége Boglár és Fonyód között 0.051 CGS , holott a torziós mérleg szerint ezt csak 0.002 CGS -nek találtuk.⁷⁷ Az eltérés oka az ingamérésben elkövetett hibában rejlik.

Az imént részletezett módon tehát a torziós ingával átkutatott terület minden pontjára a nehézségi erő értékét meghatározhatjuk s így térképeinkbe az *egyenlő nehézségű görbéket*, az *izogammákat* is minden további nélkül berajzolhatjuk. Már a gradiensek a nehézség változásainak elég szemléltető képét nyújtják, még közvetlenebb azonban az izogammák nyújtotta kép. Természetesen térképeinkbe így módon akár a topografikus értékeket, akár a topografikus rendellenességeket, akár pedig a szubterrán rendellenességeket ábrázolhatjuk s e szerint azok jelentése más és más, ami e fogalmak értelmezéséből önként következik.

Így a szubterrán rendellenességek gradiensei és izogammái a földalatti tömegek hatásából származó gravitációs zavart tüntetik elő. Az izogammák maguk az észlelésekből közvetlenül meghatá-

rozott 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 mélyében nagyobb sűrűségű sziklás réteg húzódik, amely felett a kevésbé sűrű felszíni réteg terül el. Ez esetben az izogammák olyanféle jelentőségűek, mint rendes térképeinkben az



14. ábra. Gradiensek és izogammák Arad vidékén.

egyenlő magasságú vonalak, a rétegvonalak, amelyek azonban a földalatti sűrűbb réteg felületét határozzák meg, s amelyek értékközét a

$$\Delta g = 2\pi G (s' - s) \Delta h$$

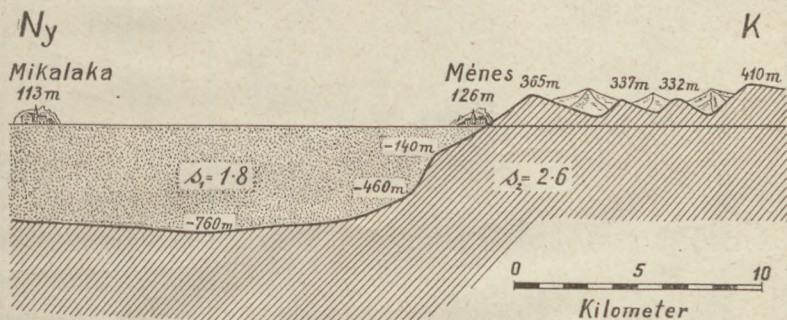
közelítő képlettel könnyen kiszámíthatjuk. Ha, amint az sok esetben előfordul, a sziklás altalaj és a felszíni réteg közötti sűrűségkülönbséget $s' - s = 0.6$ -nek vesszük s ezen értéket, valamint a gravitációs állandó $G = 66.10^{-9}$ értékét képletünkbe helyettesítjük, akkor $\Delta g = 0.001$ CGS nehézségkülönbségnek

$\Delta h = 4019$ cm, szóval kereken 40 méter magasságkülönbség felel meg. Ez esetben tehát az egymástól 0.001 CGS-nyire lévő izogammák a sűrűbb, sziklás altalaj felületének 40 méteres rétegvonalait adják. Lényegében ez a feltevés érvényes arra a valószínűségben gyakran előforduló esetre, hogy a földben lefelé, azaz mélyebbre haladva, a kevésbbé sűrű felületi rétegek után más sűrűbb rétegek következnek. Ez esetben az izogammák a sűrűbb rétegsorozatot helyettesítő közepes réteg felületének rétegvonalait adják meg. Hangsúlyozni kívánom, hogy ez az értelmezés csak az említett feltevések esetén érvényes, de még ekkor sem általánosságban, minden esetben, hanem csakis akkor, ha a földalatti alakulat nincsen nagyon közel a felszínhez és kiterjedése vagyis horizontális méretei aránylag nagyok vertikális, magassági méreteihez képest. Más feltevések természetesen más eredményre vezetnek. Tekintve, hogy a földalatti viszonyok általában nem olyan egyszerűek, következtetéseinkben óvatosságnak és körültekintőeknek kell lennünk.

Méréseink nagy tömegéből csupán pár példát óhajtok kissé közelebbről tárgyalni. A 14. ábrán az *Arad vidékén* végzett méréseink egy részlete alapján,⁷⁶ a szubterrán rendellenességek, a földalatti tömegek gravitációs hatásának vázlatos térképét állítottuk egybe. 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 zavarnák. A nyilak a gradiensek, a berajzolt görbék az izogammák. 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 izogammái, amelyek közül a negatívokat,

vagyis a normálisnál kisebb értékeket szaggatott vonallal ábrázoltuk; a melléjük írott számok értéküket $1 \cdot 10^{-3}$ CGS egységekben jelzik. E térképnek megfelelőleg készítettük el a Ménes hegyaljai falu szélességi körén kelet-nyugot irányban képzeltek keresztmetszetet (15. ábra) és pedig $s_1 = 1.8$ és $s_2 = 2.6$ sűrűségek feltételezésével.⁷⁸ A rajzban a hegyek földalatti folytatását képező sziklás altalaj képét látjuk, a régi tengerfeneket, amelyre azután az Alföld lazább felületés rétege reá rakódott.

Hasonló viszonyokat tüntetnek fel *Budapest környékén* végzett méréseink. Itt is a budai hegységek a föld alatt folytatód-

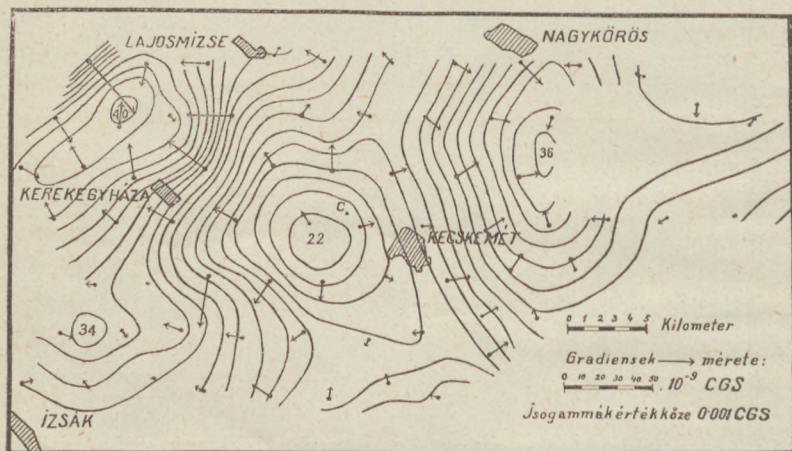


15. ábra. Földalatti keresztmetszet a torziós inga mérések alapján Arad vidékén.

nak és meglehetősen gyors lejtéssel illetve törésszerű leeséssel terjednek tovább az Alföld felületés, lazább talaja alatt. Méréseink ugyanazon lejtést adják meg, mint amelyet a fúrások alapján megállapítottak. A budai oldalon a melegvízforrások 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 vázlatos eredményét a 16. ábrán látjuk,⁸⁰ melyben az előzőkhöz hasonlóan ugyancsak a szubterrán 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 izogammák. A középen a legelső izogamma a $22 \cdot 10^{-3}$ CGS értékű, innen kiindulva az izogammák a szélek felé nőnek, északnyugat irányban például egészen



16. ábra. Gradiensek és izogammák Kecskemét vidékén.

$40 \cdot 10^{-3}$ CGS-ig s azután megint csökkennek. Ha ismét csupán két, egy alsó sűrű és egy felső lazább réteget tételezünk fel, akkor az izogammák a földalatti alsó réteg felszínének rétegvonalait adják és pedig 0.6 sűrűségkülönbséget feltételezve 40 méteres közökben. A sűrűbb altalajban tehát a középen 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 «körhegység», mint amilyenek a holdkráterek. A körhegység ugyanis aránylag széles, körülbelül 30 kilométer átmérőjű s szélein egyes csúcsok emelkednek ki. Ez a 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 középpontja felett fekvő helye, térképünkön a C pontba esik, szóval kráterünk közepébe. A rajzunkban fel nem tüntetett rengési görbék ugyancsak össze esnek ezzel az alakulattal.

Ismételten kiemelem azonban, hogy e következtetés csak az említett feltevés esetén állja meg a helyét. Más, a környezetnél kisebb sűrűségű földalatti tömegeket feltételezve, másfajta alakulat is eredményezheti az észlelt gravitációs zavart. Így a középén lévő minimumot nagyobb sötét jelenléte is okozhatja, amint ezt Böckh Hugó geológiaiilag lehetségesnek tartotta.^{154, 155} Egyébként e kérdésre, nevezetesen, hogy a torziós mérleg adataiból a földalatti tömegekre micsoda következtetéseket vonhatunk, még a következőkben visszatérünk.

kecskeméti
térkép!

*

A torziós mérleg első két adata, a $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$ és $\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$ az eddig tárgyaltaikon kívül még a nehézség erővonalának görbületére és a nehézségnek a függélyes mentén való irányváltozására ad felvilágosítást. Ugyanis az

$$r = \frac{g}{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}\right)^2}}$$

alapján a *nehézség erővonalának görbületi sugarát* számíthatjuk ki. Továbbá a

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \frac{1}{r} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}\right)^2}}{g}$$

a *gradienst* adja meg, amellyel a *függőn iránya a magassággal változik*.

*

A torziós mérleg másik két adata a $\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$ és $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$ a *nívófelület görbületi viszonyaira* vonatkozólag nyújt felvilágosítást. Ha ugyanis a főgörbületi sugarakat és pedig közülök a kisebbiket ϱ_1 -gyel, a nagyobbikat ϱ_2 -vel jelöljük, akkor

$$\left(\frac{1}{\varrho_1} - \frac{1}{\varrho_2}\right) = -\frac{1}{g} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right) \frac{1}{\cos 2\lambda},$$

ahol λ azt a szögletet jelenti, amelyet a nagyobbik görbületi sugarú normálmetszet az xz síkkal bezár s magát a λ -át pedig a

$$\operatorname{tg} 2\lambda = -\frac{2 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}}{\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)}$$

összefüggés határozza meg. Szóval e két adat a *nívófelület görbületének a gömbfelülettől való eltérését és a főgörbületek irányát* határozza meg.

Egyszerűség kedvéért vezessük be az R mennyiséget a következő összefüggés alapján

$$R = g \left(\frac{1}{\varrho_1} - \frac{1}{\varrho_2}\right).$$

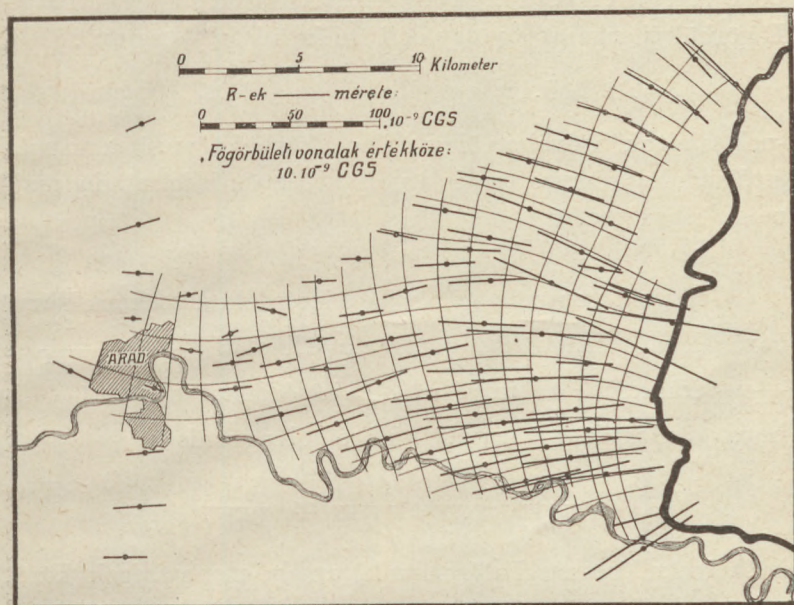
Minthogy ϱ_1 -gyel a kisebbik, ϱ_2 -vel pedig a nagyobbik görbületi sugarat jeleztük, az R mindenkor pozitív mennyiséget jelent, melyre vonatkozólag:

$$\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right) = -R \cos 2\lambda \quad \text{és} \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} = \frac{1}{2} R \sin 2\lambda.$$

Gömbfelület esetén az R értéke zérus. Általában tehát az R mennyiség a *nívófelületre* vonatkozólag a *gömbfelülettől való eltérés mértékét* adja meg. Ezen kívül azonban az R mennyiségnek még más jelentése is van.

Az egyszerű, *első alakú* torziós rúdra ható erők ugyanis azt mindenkor a nagyobb tömeget magában foglaló nagyobb görbületi sugarú fősíkba igyekeznek forgatni, s a forgató nyomaték, mely ezt az irányítást létesíti, ugyanazon rúdra ugyanazon

szögkitérés mellett, ezen R mennyiséggel arányos, amiért is azt *horizontális irányító képességnek* nevezzük. Ezen R mennyiségeket grafikusán az észlelési állomásokon keresztül fektetett vonaldarabkákkal tüntetjük elő, amelyek hossza az R értékével arányos, irányát pedig a λ , a nagyobbik görbületi sugarú főkík iránya adja meg.



17. ábra. R értékek és főgörbületi vonalak Arad vidékén.

A 17. ábrán az *Arad vidékén* végzett méréseink alapján az R értékei vannak feltüntetve.⁷⁶ Az R irányában mutatkozó nagy szabályosság miatt a főgörbületi vonalakat is berajzolhattuk térképünkbe. Először azt a csoportot, amelyek az R vonalakat érintik, amelyek tehát a nagyobb görbületi sugarú főkíkok irányában haladnak, másodszor az ezekre merőlegeseket. A kép a görbületi viszonyokat elég szemléltetően tünteti elő.

Egy másik érdekes példát is említek. *Tirolban Cimabanche* mellett a völgyben végeztünk méréseket,⁸⁰ mely a 3000 métert meghaladó *Monte Cristallo* és *Croda Rossa* között 1520 méter

tengerszín feletti magasságban fekszik, úgyhogy az aránylag szűk völgy viszonylagos mélysége 1500 méternél nagyobb. E hatalmas kiemelkedő tömegek gravitációs hatása abban nyilvánul, hogy a völgyben a nívófelület a normálisnál jóval kevésbé görbült. A völgy hosszirányában a görbületet körülbelül normálisnak vehetjük fel s így a meghatározott R értékből a völgy irányára merőleges görbületi sugarat kiszámíthatjuk. E görbületi sugarat a völgy déli szélén, illetve közepén :

$$\rho = 206\,685 \cdot 10^5 \text{ cm, illetve } \rho = 12\,267 \cdot 10^5 \text{ cm}$$

-nek találtuk. Szóval a völgy szélén a görbületi sugár a normális értéknek harminceszorosa és a völgy közepén még mindig majdnem kétszerese.

*

Geodézia szempontból egyike a legérdekesebbeknek Eötvös bárónak az a számítási eljárása, amellyel a $\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$ és $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$ értékeiből a nívófelület alakját jellemző adatokat s így magát a nívófelületet levezeti. E célból ugyanis a

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \quad \text{és} \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$$

értékeit kellene meghatároznunk, amely mennyiségek között még a

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 2\omega^2$$

összefüggés áll fenn, amelyben ω a földforgás szögsebességét jelenti. Közvetlenül láthatjuk, hogy a torziós inga említett két adata a teljes meghatározásra nem elegendő. Ezen adatokon kívül még a $\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$ ismeretére volna szükségünk. Sajnos, ennek meghatározására mindezideig nincsen jobb fizikai eljárásunk a JOLLY-féle mérlegelésnél. E meghatározás pedig a torziós mérleghez viszonyítva, annyira durva és kevésbé pontos, hogy ezt a torziós inga adatainak kiegészítésére egyáltalán fel nem használhatjuk.

Báró Eötvös még a múlt század kilencvenes éveinek elején egy olyan, horizontális tengely körül forgó ingát konstruált és annak matematikai elméletét kidolgozta, amellyel a $\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$ értékét meghatározhatnók. A legnagyobb gonddal elkészített tényleges ilyen eszköz azonban a forgástengelyen fellépő sűrűlódások miatt hasznavehetetlennek bizonyult. Báró Eötvös maga e vizsgálatait nem publikálta. Később 1920-ban tőle függetlenül A. BERROTH egy ilyfajta műszer elméletét közölte.¹⁷³

Báró Eötvös számítási eljárása szerint, ha az észlelési hálózat két pontján, a függőöneltérések északi összetevőit asztromiai-geodéziai mérésekkel meghatározzuk, akkor ezen adat elegendő arra, hogy az egész terület minden pontjára a függőöneltéréseket és a görbületeket kiszámíthassuk. A megoldást többféle módon végezhetjük, ezek közül csak a használatosabbat ismertetem.

E célból mindenekelőtt az egész területre egységes $\xi\eta\zeta$ derékszögű koordináta rendszert vezetünk be, melynek kezdőpontja a területen belül valamelyik pontban van s a $\xi\eta$ sík e pont xy síkjával összeesik. Hálózatunkat orthogonálisan a $\xi\eta$ síkra vetítjük s e síkban végezzük további számításainkat. Mindenekelőtt kimutathatjuk, hogy ha a nivófelületnek egy kisebb darabját akarjuk meghatározni, amelynek szélességi és hosszúsági kiterjedése nem nagyobb egy fél foknál, akkor az állomások vetületi pontjaiban a

$$\left(\frac{\partial^2 U}{\partial \eta^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial \xi^2} \right) \text{ és } \frac{\partial^2 U}{\partial \xi \partial \eta} \text{ helyett a } \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \text{ és } \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$$

értékeket használhatjuk, melyeknek egymástóli eltérése ez esetben $1 \cdot 10^{-9}$ CCS egységen alul marad s így ezt az elérendő pontosság szem előtt tartásával megengedhetjük.

Számításunkban az állomások hálózatában zeg-zugos vonalban, illetve ennek megfelelő háromszögekben haladunk tovább s jelöljük a zeg-zugos vonal egymást követő állomásait 1, 2, 3, 4 stb. folyószámmal s egyelőre közülök hármát általánosságban a , b , c -vel. Vegyünk fel átmenetileg a $\xi\eta$ síkban egy sn

derékszögű sík koordináta rendszert, melynek s tengelye a -tól b felé van irányítva. Ez esetben

$$\int_a^b \frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} ds = \left(\frac{\partial U}{\partial n} \right)_b - \left(\frac{\partial U}{\partial n} \right)_a.$$

Ha az állomások hálózata elég sűrű ahhoz, hogy két-két szomszédos között a változást lineárisnak vehessük, akkor

$$\int_a^b \frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} ds = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} \right)_a + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} \right)_b \right\} s_{ab}.$$

Ha továbbá az ab irány és a ξ tengely képezte szöget α_{ab} -vel jelöljük, akkor

$$\frac{\partial U}{\partial n} = - \frac{\partial U}{\partial \xi} \sin \alpha_{ab} + \frac{\partial U}{\partial \eta} \cos \alpha_{ab}$$

s így

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} \right)_a + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} \right)_b \right\} s_{ab} = & - \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)_b - \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)_a \right\} \sin \alpha_{ab} + \\ & + \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right)_b - \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right)_a \right\} \cos \alpha_{ab}. \end{aligned}$$

Egyszerűség kedvéért jelöljük:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} \right)_a + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} \right)_b \right\} s_{ab} &= T_{ab} \\ \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)_b - \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)_a &= \xi_{ab} \text{ és } \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right)_b - \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right)_a = \eta_{ab}. \end{aligned}$$

Ez esetben egy egész háromszögre, azaz a , b , c pontokra a következő egyenleteket kapjuk:

$$\begin{aligned} T_{ab} &= -\xi_{ab} \sin \alpha_{ab} + \eta_{ab} \cos \alpha_{ab} \\ T_{bc} &= -\xi_{bc} \sin \alpha_{bc} + \eta_{bc} \cos \alpha_{bc} \\ T_{ca} &= -\xi_{ca} \sin \alpha_{ca} + \eta_{ca} \cos \alpha_{ca} \\ \xi_{ca} &= -\xi_{ab} - \xi_{bc} \text{ és } \eta_{ca} = -\eta_{ab} - \eta_{bc} \end{aligned}$$

Az ezen öt egyenletben előforduló hat ismeretlent nem számíthatjuk ki. Egyelőre azonban a legelső 1, 2, 3 háromszögben a ξ_{12} -őt ismeretlennek hagyjuk és a -val jelöljük. Ez esetben egyenleteinkből a többi ismeretlent kiszámíthatjuk:

$$\xi_{12} = a \quad \text{és} \quad \eta_{12} = \frac{T_{12} + a \sin \alpha_{12}}{\cos \alpha_{12}}$$

folytatólag pedig a ξ_{23} és η_{23} egyenletei általános alakban a következők:

$$\xi_{bc} = \frac{T_{bc} \cos \alpha_{ca} + (T_{ca} - \xi_{ab} \sin \alpha_{ca} + \eta_{ab} \cos \alpha_{ca}) \cos \alpha_{bc}}{\sin (\alpha_{ca} - \alpha_{bc})}$$

$$\eta_{bc} = \frac{T_{bc} \sin \alpha_{ca} + (T_{ca} - \xi_{ab} \sin \alpha_{ca} + \eta_{ab} \cos \alpha_{ca}) \sin \alpha_{bc}}{\sin (\alpha_{ca} - \alpha_{bc})}$$

melyek, ha az $a=1$, $b=2$, $c=3$ indexeket helyettesítjük a ξ_{23} és η_{23} -at adják, ha pedig folytatólag az $a=2$, $b=3$, $c=4$ indexeket helyettesítjük, a ξ_{34} és η_{34} -et kapjuk, s így tovább. Így tehát fokozatosan tovább haladva tetszésszerűen hosszú vonalra az értékeket, nevezetesen a

$$\left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)' - \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right) \quad \text{és} \quad \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right)' - \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right)$$

különbségeket kiszámíthatjuk, amelyek azonban az egyelőre, ismeretlen $\xi_{12}=a$ mennyiséget tartalmazzák, amely adatot a függőön eltérések alapján a következő módon határozhatjuk meg.

Ha ugyanis egy pontban a függőön eltérését az északi irányban $\Delta\mu$ -vel és keleti irányban $\Delta\lambda$ -val jelöljük, akkor ezt a topografikus rendellenességekből a következő kifejezések adják:

$$\Delta\mu = \frac{1}{g} \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right) \quad \text{és} \quad \Delta\lambda = \frac{1}{g} \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right).$$

Ebből pedig két állomás között a relatív függőőnelterések:

$$\Delta\mu' - \Delta\mu = \frac{1}{g} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)' - \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right) \right]$$

$$\Delta\lambda' - \Delta\lambda = \frac{1}{g} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right)' - \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right) \right].$$

Ezen egyenletek közül csupán az elsőt felhasználva, az asztronómiai-geodéziai úton lemért északi függőőnelterésből a

$\left[\left(\frac{\partial U}{\partial \xi}\right)' - \left(\frac{\partial U}{\partial \xi}\right)\right]$ értékét kiszámíthatjuk. Ezt a torziós ingával meghatározott adattal egyenlővé téve, az abban foglalt $\xi_{12}=a$ értékét kiszámíthatjuk. Az a értékét számításainkba behelyettesítvén, összes állomásainkra a $\frac{\partial U}{\partial \xi}$ és $\frac{\partial U}{\partial \eta}$ értékeit s velük a függőóneltéréseket megkapjuk. Szóval a feladatot teljesen megoldottuk.

Teljesség kedvéért csupán felemlítem, hogy a feladat a második egyenlet felhasználásával is megoldható, ha ugyanis a keleti relatív függőóneltérés ismeretes. Az északi függőóneltérések meghatározása tudvalevőleg egyszerűbb és pontosabb, e célból ugyanis a geodéziai távolságmérésen kívül csupán sarkmagasság meghatározásokat kell végeznünk. Éppen ezért célszerűbb, ha számításainkban ezen adatokra támaszkodunk.

Ily módon tehát összes állomásainkra a $\frac{\partial U}{\partial x}$, $\frac{\partial U}{\partial y}$, $\frac{\partial U}{\partial z}$ értékeit megkapjuk s ebből a függőóneltéréseket közvetlenül kiszámíthatjuk. Továbbá ugyancsak ezen adatokból számítás útján egyrészt a $\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}$, $\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$ értékeit, másrészt a potenciált, az U értékeit is megkapjuk, szóval a *nívófelületet teljesen megismerjük*.

A számítás helyességének és megbízhatóságának többszörös ellenőrzéseül kínálkozik, hogy az észlelési hálózatban egy-egy zárt vonalon körülhaladva az adatoknak a

$$\sum \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)_b - \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)_a \right\} = 0$$

vagy

$$\sum \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right)_b - \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right)_a \right\} = 0$$

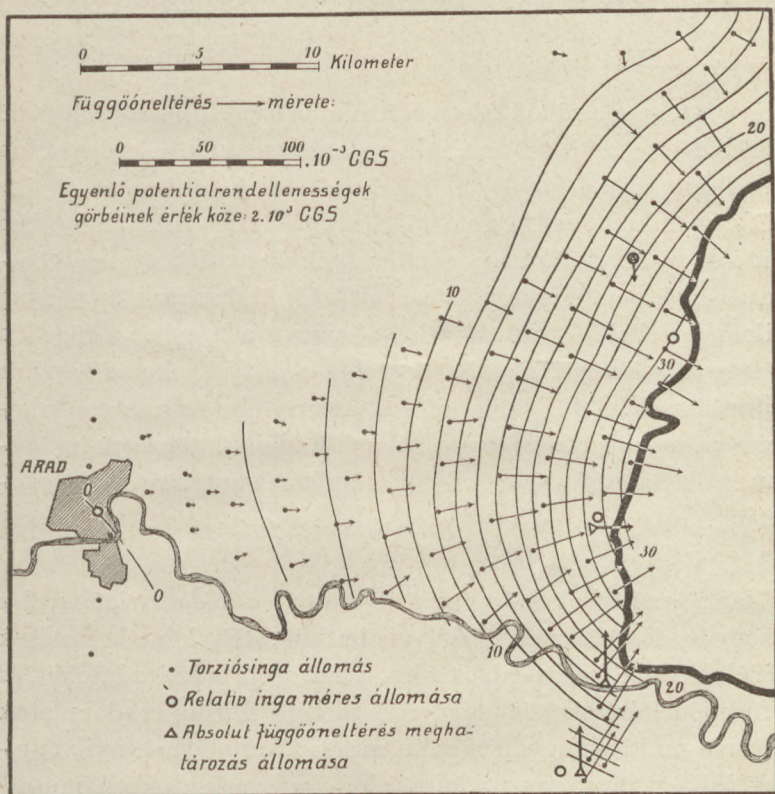
vagy

$$\int \frac{\partial U}{\partial s} ds = 0$$

feltételeknek eleget kell tenniök. Végzett méréseinkkor ez ismételtén beigazolódott.

Példaképpen röviden az *Arad vidékén* végzett mérések ez irányú feldolgozását ismertetem.⁷⁸ E területen 188 torziós inga

állomásunk van, ezenkívül asztronómiai-geodéziai mérésekkel a függőőn északi eltérése 7 állomáson, keleti eltérése pedig 2 állomáson van meghatározva. E meghatározások elsősorban a torziós mérleg adataiból levezetett értékek ellenőrzésére alkalmasak. Ugyanis az északi függőőneltérések közül kettőt arra



18. ábra. Függőőn-eltérések és egyenlő potenciálú görbék Arad vidékén.

használtunk fel, hogy segítségükkel a torziós mérleg adataiból a függőőneltéréseket kiszámíthassuk. Ily módon azután a többi közvetlenül meghatározott relatív függőőneltérést a torziós inga adataiból is kiszámíthattuk. Az értékek kitűnően megegyeznek, illetve az eltérések a szokásos függőőn meghatározások pontosságán alul maradnak.

Az adatok egy részét vázlatosan a 18. ábrán állítottuk egybe. A térképből az állomások közül többet kihagytunk, hogy azok a kicsinyített rajzban az áttekinthetőséget ne zavarják. A függő-
óneltéréseket az adatokkal arányos hosszúságú és az eltérítő-
erő irányába rajzolt nyilakkal ábrázoltuk. A görbék a-
potenciálgörbék, melyek egymástóli távolsága $2 \cdot 10^3$ CGS, ami

$h = \frac{\Delta U}{g}$ képlet alapján kis elhanyagolással 2 centiméterekben
adja a h -t, azaz a nivófelületnek azon normál ellipszoid fölé való
emelkedését, ami az aradi ingaállomáson, mint kezdőponton
halad keresztül.

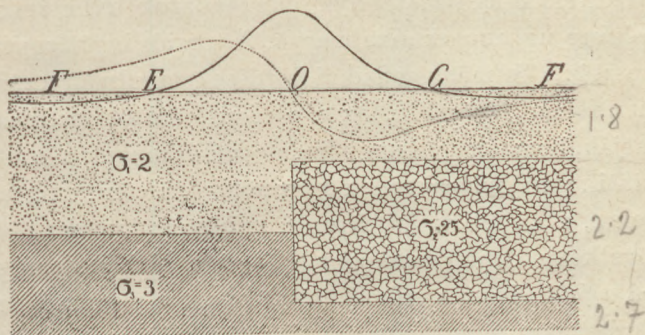
Nem akarom említés nélkül hagyni a függőóneltérésekben
mutatkozó azt az érdekes sajátosságot, hogy a hegy felé köze-
ledve, azok maximuma nem a hegy lábánál, hanem már néhány
Kilométerrel előbb van. Közelebb haladva a hegyhez a függőón-
eltérése kisebbedik, mintha látszólag a hegyek okozta taszítás
mutatkoznék. A függőóneltérések eme rejtélyesnek látszó tulaj-
donsága már régóta ismeretes. Oka a földalatti tömegek hatásá-
ban rejlik, amint azt méréseink alapján quantitativé ellenőriz-
hetjük.

*

Már a gradiensek és izogammák alapján a föld alatti tömegekre
bizonyos következtetéseket vonhatunk. E következtetések
bővülnek és tökéletesednek akkor, ha a görbületi adatokat és
a függőóneltéréseket is szem előtt tartjuk. Bizonyos alakulatok
ugyanis majd az egyik, majd a másik féle hatásban nyilvánul-
nak jobban. Így egy földalatti lejtő a gradiensekben mutat-
kozik, míg a görbületi adatokra hatástalan. Egy földalatti
kiemelkedés oldalai felett nagy gradienseket, teteje felett pedig
nagy görbületi adatokat kapunk. Következtetéseinket tehát
lényegesen elősegíti az, ha a gravitációs zavarnak a föld felületén
való lefolyását mindkét adatban figyelembe vesszük. Erre
vonatkozólag maga Eötvös báró sok számítást végzett, meg-
határozván a gradiens és a görbületi adat görbáját a különböző
földalatti alakulatok számára. Az e célra levezetett formulákat

és az eredményeket azonban nem közölte. Később többen, közöttük különösen K. JUNG foglalkozott rendszeresen e kérdéssel.³²⁶

Aránylag egyszerű számításokkal megállapíthatjuk, hogy bizonyos szabályos alakulatok hatása adatainkban miként nyilvánul. Így egy földalatti lépcső, egy vetődés fölött a középen nagy gradienst kapunk, innen jobbra vagy balra távolodva a gradiensek egyaránt csökkennek. A görbületi adatban pedig egy a végein ellaposodó hullámvonalat kapunk, amelynek középső 0 pontja a földalatti vetődés felett fekszik. A torziós mérleg



19. ábra. Izosztatikus alakulat gravitációs hatása.

tehát a lépcső kikeresésére kiválóan alkalmas. Maga az inga távolabb a lépcsőtől az egyik oldalon nagyobb, a másik oldalon kisebb értéket ad ugyan, de a különbség aránylag csekély. A határvonal kikeresésére az inga meg egyáltalában nem használható. A tokodi bányaterületen végzett ily irányú méréseinkkel e kérdést gyakorlatilag megvizsgáltuk.¹⁹⁰

Különös figyelmet érdemelnek az *izosztatikus alakulatok*, amelyekben a kisebb sűrűségű rétegek az alsó nagyobb sűrűségűben akként helyezkednek el, mintha folyadékban úsznának. Egy ilyen képzelt szabályos esetet tüntettünk fel a 19. ábrán. Alul a 3 sűrűségű réteg van, amely felett izosztatikusán helyezkedik el a 2.5 sűrűségű tömb és a 2 sűrűségű felületi réteg. A kihúzott görbe a gradiensek lefutását adja. Az O pont

feletti maximum miatt a torziós inga a határvonal kikeresésére kiválóan alkalmas. Magának a nehézségi erőnek a g -nek értéke nagyobb távolságra az O ponttól jobbra és balra egyenlő. Az O -tól nem nagy távolságban kis különbségek mutatkoznak ugyan és G pontban legnagyobb, E pontban pedig legkisebb az érték; az eltérés, Δg azonban a geológiaiilag valószínű méretek esetén nagyon csekély. A 2.5 sűrűségű tömb egy kilométer vastagsága esetén $\Delta g = 0.001$ CGS és 10 kilométer vastagság esetén még mindig csak $\Delta g = 0.010$ CGS. Ilyen alakulatot tehát ingával nem igen mutathatunk ki. A pontozott vonal a görbületi értékek lefutását adja, mely adatok a határvonal felkeresésére ugyancsak alkalmasak. A torziós ingát egyébként is az izosztázia és más geofizikai kérdések tanulmányozására célszerűen felhasználhatjuk. Az eddigi vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy az igen nagy hegységek és maguk a kontinensek izosztatikusan helyezkednek el a föld felületén, míg a kisebb hegyekre, a kisebb tömegekre ez az elv érvénytelen.

Következtetéseink szempontjából elsőrendű fontosságúak továbbá a *földmágneses erő adatai*, amelyek a mágneses tulajdonságú rétegekre nyújtanak felvilágosítást. Éppen ezért gravitációs állomásainkon a földmágneses elemeket is mindenkor meghatároztuk, sőt több esetben külön részletes mágneses felvételeket is végeztünk. E tekintetben utalok az ezt követő e tárgyú cikkekre.

Természetes, hogy a földalatti tömegekre való következtetéseinknél a *geológiai megállapításokat* is mindenkor szem előtt kell tartanunk. Általában véve mennél több esetünk lesz arra, hogy bizonyos gravitációs zavar geológiaiilag miként értelmezendő, annál biztosabbak lesznek későbbi következtetéseink. E geológiai jellegű következtetések nem egyszer gyakorlati jelentőségűek.

Éppen ezért a *gyakorlati bányakutatásokban* egyre nagyobb mértékben használják Eötvös eszközét, és hasznosítható ásványi kincseket igyekeznek vele a föld mélyében felkutatni. *Közvetlenül* kimutathatunk ugyanis olyan anyagokat, amelyek sűrű-

sége a környezettől eltér, amiért is a fellépő gravitációs zavar útján elárulják jelenlétüket. Így a nagyobb sűrűségű érevonulatokat, avagy a kisebb sűrűségű sótesteket, továbbá a szenet stb. kereshetjük fel ily módon. Erdélyben végzett méréseinkben a sótestek feltűnően mutatkoztak, Amerikában pedig már igen sok sótestet kutattak fel a torziós ingával.

Ezen kívül *közvetve* oly anyagokat is felfedezhetünk, amelyek ugyan gravitációs szempontból közvetlenül nem nyilvánulnak, de oly földalatti alakulattal kapcsolatban fordulnak elő, amelyet a torziós ingával kimutathatunk. Adott esetben vízre, olajra földgázra stb. következtethetünk.

Így *Budapest* környékén a melegvízforrások lejtése összeesik a dolomitréteg lejtésével, melyet eszközeinkkel lemérhetünk. Tehát báró Eötvös módszerével előre megmondhattuk volna, hogy a városligeti artézikútnál valószínűleg 900—1000 méter mélységben érik el a vizet. *Egbell* környékén, ahol olajok után kutattak, méréseinkkel teljesen olyan alakulatot állapítottunk meg, mint amelyet a geológusok is meghatároztak.^{154, 155} *Erdély*-ben végzett méréseinkkel a rétegvonulatok legmagasabb és legmélyebb helyeit az antiklinálisokat és szinklinálisokat határozhattuk meg, amelyek ismerete a földgázfúrások telepítése szempontjából elsőrendű fontosságú, miután tapasztalatszerűleg a bő földgázforrások az antiklinálisokon várhatók.

Az ilyfajta alkalmazások közül a legfontosabb a torziós ingával való *petróleum* kutatás, amely az egész világon el van terjedve. Az olaj és földgáz ugyanis tapasztalatszerűleg a következő alakulatokkal kapcsolatban fordul elő : Sótestek szélein, amint azt Texas kiterjedt síkságain és Németországban találták. Nagy sűrűségű magmatikus kőzetek feltörése mentén, amint azt Amerikában tapasztalták. Továbbá a földalatti vetődések közelében. Végül a földalatti kiemelkedéseken az antiklinálisokon és pedig különösen a földalatti dombszerű alakulatokon a dómonkon, amint azt úgy a külföldi, mint az itthoni kutatások igazolták. Minthogy mindezen alakulatokat a torziós ingával jól és

biztosan kimutathatjuk, ily módon közvetve a petróleum avagy földgáz előfordulására következtethetünk.

Különösen megbecsülhetetlen értékűek a torziós inga adatai sík területen, az Alföldön. A hegyes és dombos vidékeken ugyanis még a geológus magában is boldogul. Itt ugyanis a rétegek kibúvási helyein módjában van azok dőlését meghatározni s így azok menetét a föld alatt hozzávetőleg követni. Az Alföldön azonban csak költséges fúrások révén szerezhethetünk támpontokat. Itt már az is nagyjelentőségű, hogy a próbafúrásokat ne teljesen vaktában, hanem alkalmas helyeken eszközöljük. Erre pedig a torziós mérleg biztos feleletet ad. Így *Kecskemét vidékén* teljesen elegendő, ha a terepen biztosan megjelölhető gravitációs minimumot és azt körülvevő maximumok közül kettőt, melyek egyike egyszersmind mágneses tulajdonságú, megfúrunk, ezzel ugyanis a földalatti alakulatba teljes bepillantást nyerünk. Lehet, hogy e fúrásokból értékesíthető anyagok is kerülnek felszínre, de ha ez nem is következik be, akkor is még mindig nemcsak tudományos, hanem gyakorlati szempontból is hasznos a torziós inga útmutatása, mert ezzel felesleges fúrásokat takarítottunk meg.

A *Hortobágyon és környékén* földgázkutatói célzattal ismételten mértünk. Egy gravitációs maximumot és egy minimumot találtunk. A szerint, hogy a mélyben nagyobb, avagy kisebb sűrűségű anyagokat tételezünk fel, az egyik vagy a másik jelenti az antiklinálist. Ha tehát e két helyet megfúrjuk, az egyikben meg kell kapnunk a földgázt, ha az e környéken nagyobb mennyiségben egyáltalán előfordul. Negatív eredmény esetén e vidéken bővebb földgáz-forrást nem várhatunk, s így ezzel ismét felesleges fúrások költségeit takarítjuk meg. A gravitációs mérések híján ugyanis esetleg a fúrások egész sorát végezhetjük, anélkül, hogy az antiklinálist eltalálnók.

A Hortobágy déli részén a Tekeszarva halom környékén megállapított minimum képe azonban annyira szétterült, hogy az nem annyira a geológusoktól feltételezett kisebb sűrűségű sótest, mint inkább egy nagy lapos mélyedés mellett szól. Az itt telepí-

tett fúrás, amellyel 1113 méter mélységig haladtak, a geofizikusok ez utóbbi felfogásának helyességét igazolta. A gravitációs maximum pedig Hajdúszoboszló közelében a Vértölgy vasúti megálló környékén fekszik. E centrális alakulat képe annyira határozott, szabályos és szimmetrikus, hogy a mélyben lévő kiemelkedés, a dóm közepe feltétlenül e helyen fekszik és így nagyobb mennyiségű földgáz e környéken várható, ha egyáltalán helytálló az a geológiai felfogás, hogy az Alföldön a földgáz és esetleg petróleum, a dómokkal kapcsolatban fordul elő. Az itt lemélyített 344 méteres próbafúrás is a feltörő földgáz miatt e helyet nagyon biztatónak mutatta. A tényleges mélyfúrást azonban nem itt, hanem más, geológiai módszerrel meghatározott kbl. négy Km távolságban fekvő ponton, Hajdúszoboszló mellett fúrták le 1091 méterig és értékes meleg gyógyvizet tártak fel mérsékelt mennyiségű földgázzal. Újabb ez első fúrás közelében egy másodikat is telepítettek, ahol jelenleg már 1700 méternél nagyobb mélységben tartanak. Sajnos ily módon a nemcsak geofizikai, de gyakorlati szempontból is kiválóan érdekes és biztató vértölgyi fúrás egyelőre függőben maradt. Mindez ideig Magyarországon geofizikai méréseink alapján más fúrás sem történt. A Baján végzett eredménytelen fúrás kitűzésénél ugyanis a torziós ingamérések eredményeit nem vették figyelembe. A többi alföldi fúrópont pedig oly helyeken fekszik, ahol vagy egyáltalán nem végeztünk gravitációs méréseket, avagy csak akkor, amikor ott a fúrás már folyamatban volt. Ily módon arra a főkérdésre, hogy a Magyar Alföldön a geofizikailag előnyösnek mutatkozó pontokon feltárható-e földgáz avagy petróleum, egyelőre nem felelhetünk.

Ezzel kapcsolatban csupán felemlítem, hogy szerte a nagy világon és különösen Amerikában Texas kiterjedt síkságain, Mexikóban és legújabbban Venezuelában igen nagy mértékben használják báró Eötvös eszközét a petróleum kutatásokban. Volt tanítványunk, a Houstonban működő geofizikus DONALD C. BARTON cikke³¹⁵ alapján közölhetem, hogy a sík területeken már kizárólag geofizikai módszerekkel dolgoznak és ily módon

Texas és Luisiánában az utóbbi pár év alatt több olajat találtak, mint előzőleg évtizedeken keresztül.

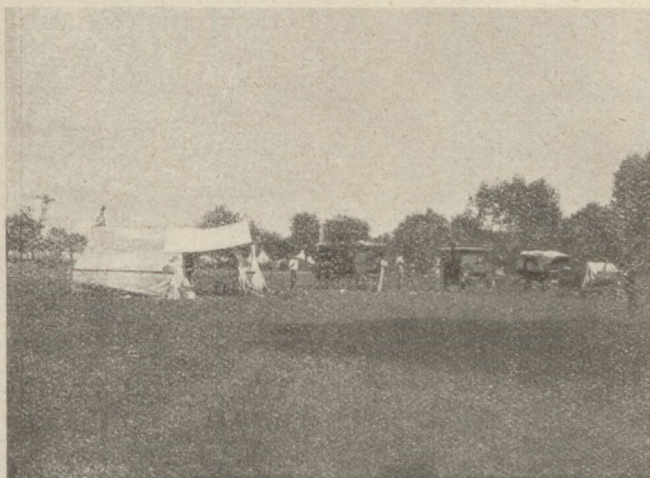
Végül sok esetben érdekesek és hasznosak azok a következtetések, amelyeket méréseinkből a földrengéses vidékeken vonhatunk. Legveszedelmesebbek ugyanis a földrengések ott, ahol a földnek ki nem egyensúlyozott vonalai, bizonyos törésvonalai, tektonikai vonalai vannak. Ha ily vidéken megrázkódik a föld, akkor igen nagy másodlagos elmozdulások, rétegesuszamlások 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 állának, minden valószínűség szerint ezekből a nagyobb földalatti tömegelmozdulásokra következtethetnénk. Továbbá ily módon a vulkánikus tömegeltolódásokat is észlelhetnők.⁷⁵ Mintegy hasonlatképpen felemlítem, hogy a *Duna* partjától 100 méter távolságban a M. Tud. Akadémia pincéjében elhelyezett megfelelő érzékenységu eszköz útján a víz szintváltozását annak gravitacionális hatása alapján jól észlelhattük.^{66, 67}

Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy Eötvös báró a gravitációs kutatásokat egy egészen új nagyjelentőségű módszerrel gazdagította. Az új eljárás a régieket nem teszi feleslegessé, hanem azokat kiegészítve, a nehézségi erő még részletesebb megismerését teszi lehetővé. E megismerés úgy *tudományos fizikai*, valamint *geodéziai* és *geofizikai* szempontból kiváló fontosságú, sőt amint azt az előzőkben láhattuk, belőle nem egyszer *szeizmologiai*, *geológiai* és *bányakutatói* szempontból érdekes és hasznos következtetéseket vonhatunk.

* * *

Talán nem lesz érdektelen, ha röviden azt is érintem, hogy miként végezzük szabadban való méréseinket. Mint azt már említettük Eötvös báró első gravitációs eszközei aránylag

nagyok voltak, úgyhogy kényelmes szállításukra különleges kocsikat használtunk. Az új kistípusú eszközök azonban két kis ládába csomagolva bármi módon könnyen szállíthatók. Az egyéb műszereket, sátrakat, felszerelési tárgyakat ugyancsak külön kocsikon szállítjuk (20. ábra.). A gravitációs észlelések és az egyéb munkálatok gyors menete szempontjából célszerű, hogy állandóan a mérési terepen tartózkodjunk. A megfigyeléseket a szükséges pontokon igen gyakran a lakott helyek-



20. ábra. Expedíciós telep az Alföldön.

től, községektől távol végezzük. Mind e körülmények szükségessé teszik, hogy már itt magyarországi méréseinkben is valószínű expedíciós felszereléssel lássuk el magunkat, hogy így a lakott helyektől függetlenül, tekintet nélkül az idő viszonyosságaira, teljesen szabadban tartózkodhassunk. Célszerű lakásról, lakósátrakról (21. ábra), azok megfelelő berendezéséről, világításáról, konyhafelszerelésről stb. kellett gondoskodnunk. Tekintve, hogy naponkint legalább egy-egy új állomásra hurcolkodunk, mindezen berendezkedések megszerkesztésénél a főszempont az volt, hogy azok gyorsan és könnyen egybeállíthatóak és lebonthatóak legyenek. Saját tapasztalatainkon

okulva e berendezéseket egyre jobban tökéletesítettük. Teljesen zárt zsákszerű lakósátraink egy külön e célra készült kocsi oldalára vannak szerelve és szállításkor a kocsi tetejére kerülnek, a berendezés pedig a kocsi belsejébe.

Sokszor kedvezőtlen terepeken, süppedékes, árvizes területeken végeztük méréseinket s így arról is kellett gondoskodnunk, hogy az elénkbe gördülő akadályokat leküzdhessük. Repülő híd, kocsiemelők és pallók segítségével nem egyszer sikerült ily



21. ábra. Lakósátor és műszerkocsi a futtaki vadaskertben.

kritikus helyeken átjutnunk. Természetesen felszerelési tárgyait szaporodásával együtt járt, hogy kocsi-parkunk is megnövekedett. A háború előtti években már két csoportban dolgozva, összesen 6 észlelő és 15 munkásember, illetve kocsi-vett részt a mérésekben. Összesen 13 kocsi állott rendelkezésünkre, köztük a külön szerkesztett műszerkocsik, lakáskocsik, teherkocsik és személyszállító utazókocsik. Ezeket takarékságból csupán 9 pár állandó lóval vontattuk. A háború alatt is folytattuk méréseinket, de lényegesen megszűkített mederben, csupán egy expedícióval. A háborút követő nehéz években annyival is inkább kénytelenek voltunk ezt tenni, mert az

1918 évi októberi forradalom alkalmával a csőcselék a mérésekből visszatérő és a ceglédi vasúti állomáson veszteglő kocsijainkat teljesen kirabolta és minden igyekezetem dacára a hiányzó felszerelést csak most 1929-ben pótolhattuk. Ily módon jelenleg ismét két csoportban dolgozunk. Minthogy pedig az egyik expedíció kis műszerekkel és megfelelő könnyű felszereléssel van ellátva, a vontatásra mindössze 6 pár ló elegendő. Egyes esetekben egész különleges körülmények között, arra alkalmas



22. ábra. Lakóházikó és műszersátor a Balaton jegén.

felszereléssel végeztük méréseinket. Így a Balaton jegén szántalpakra erősített faházikóban laktunk és a műszerházikókat is szétszedés nélkül szántalpakra helyezve vontattuk egyik állomásról a másikra. (22. ábra.) A Bega-csatornán a folyam-mérnökség egy tanyahajóján tartózkodtunk stb. Méréseink kapcsán természetesen nem egyszer balesetekben és különböző kalandokban is volt részünk. Így a Balaton jegén egy alkalommal fakutyával (kis szán, melyet a rajta ülő szeges bottal tol előre) igyekeztem a tó közepén lévő állomásunkra, amikor egy felületesen befagyott halászlékbe szakadtam bele ; máskor a szél által egy rianás mentén elszakított óriás jégtábla magával

vitte expedíciónk egy részét, úgyhogy az ott rekedteket egy hirtelenében előkerített csónakon kellett megmentenünk. Kocsijaink nem egyszer felborultak és ilyenkor a törött részeket a mérésekben való idővesztés nélkül hoztuk rendbe. Az Alföld futóhomok pusztáin, valamint a tartós őszi esőzések feláztatta területeken sokszor hat, néha nyole lóval kellett vontatni kocsijainkat. Erdélyi méréseink alkalmával az árvizes terüle-



23. ábra. Menekülés az árvízből Felvinc környékén.

teken kocsijaink többször elsüllyedtek, úgyhogy emelőkkal kellett kiemelniük és pallókra téve a veszedelmes területől kitolnunk. Felvinc körül az árvíz körülfárta expedíciónkat; kocsijainkat négy lóval és hat bivallyal vontattuk a vízen át a vasúti töltésre (23. ábra.) és onnan pályakocsikra helyezve toltuk be a vasúti állomásra. Más alkalommal az ingoványos területen lovaink elsüllyedtek, úgyhogy egyenkint hosszú kötélre kötve két-két lóval kellett azokat onnan kivontatnunk stb.

Külföldi méréseink alkalmával csupán a műszereket és az ahhoz tartozó felszerelést vittük innen hazulról magunkkal,

míg a szabadban való tartózkodás felszerelését az ottani viszonyoknak megfelelően a helyszínen kaptuk. Indiában a trópusokon használatos kettős tetejű vászonsátrakban laktunk. Tekintettel az ott divó munkafelosztásra, illetőleg naplopásra, több mint száz emberre, illetőleg kulira volt szükségünk az itthoni mérésekben alkalmazott összesen nyolc munkás és kocsis helyett. Ily módon egész nagy expedíciós felszerelésünk volt.



24. ábra. Az expedíciós felszerelés szállítása elefántokon Upper Assamban.

amelyet Khairpur dzsungeljeiben 20 kis kétkerekű «bullock car»-on szállítottunk. E primitív, minden vas alkatrész nélkül készült szekereket használja az ottani nép talán ezer év óta. Mi magunk ugyancsak az ott használatos kétkerekű és egylovas tongákon közlekedtünk. Upper Assam őserdeiben az úttalan mocsaras területeken 12 elefánton szállítottuk holmijainkat (24. ábra.) és mi magunk is elefánt hátán közlekedtünk. A kényesebb műszereket kulik vitték. A francia mérésekben cserkészszátrakban tartózkodtunk stb.

* * *

Végül röviden érinteni kívánom, hogy a külföld mily mértékben karolta fel e vizsgálatokat. Tulajdonképpen EÖTVÖS LORÁND bárónak, az Internationale Erdmessung 1906-évi budapesti értekezletén tartott előadása irányította e mérésekre a geodéták figyelmét.⁷⁶

Az elsők között a németek, a porosz Kir. Geodéziai Intézet rendezkedett be az Eötvös-féle mérésekre. Eszközüket HECKER utasításai alapján¹⁴⁰, de lényegében a mieink szerint saját intézeti mechanikusukkal készítették. A szükséges adatokat, valamint az első torziós drótokat mi bocsátottuk rendelkezésükre, s egy-szersmind megadtuk a szükséges utasításokat a torziós drótok készítésére és megvizsgálására vonatkozólag is. Ezen eszközzel jó ideig csak a geodéziai intézetben kísérleteztek, később a szabadban SCHWEYDAR mért vele.^{164, 165} HECKER a strassburgi szeizmológiai intézet részére ugyancsak Potsdamban egy második eszközt is készíttetett, s ezzel KOENIGSBERGER freiburgi egyetemi tanár társaságában, aki a méréseket nálunk hosszabb ideig tanulmányozta, Hamburg környékén végzett megfigyeléseket. E célra Eötvös báró még külön egy eszközét is rendelkezésükre bocsátotta.

A franciák közül BRILLOUIN végzett méréseket a Simplon alagútban az Eötvös-féle eszközzel, melyet bizonyos módosításokkal maga készíttetett.^{130, 132, 134}

Az olaszok közül a palermói egyetemen VENTURI professzor elméletileg,¹³⁸ a padovai egyetemen pedig SOLER gyakorlatilag foglalkozott a báró Eötvös-féle módszerrel.¹⁴⁶ SOLER professzor a mérések tanulmányozására nálunk is járt és Nagykőrös körül azokban részt is vett. Eszközüket SÜSS NÁNDOR budapesti precíziós mechanikusnál rendelték meg, amellyel a laboratóriumon kívül elsősorban Padova környékén végeztek¹⁵⁰ méréseket.

Az orosz katonai földrajzi intézettel ugyancsak tárgyalások folytak ily eszközök megrendelésére, amelyek azonban a világháború miatt teljesen megszakadtak.

Az angolok a londoni *The Science Museum* részére ugyan-csak Süssnél Eötvös-féle eszközt készíttettek, mely azonban a

háború miatt itt rekedt és csak 1920-ban kaphatták meg. Kérésükre legújabbán a torziós inga fejlődését feltüntető fényképsorozatot bocsátottam rendelkezésükre, amely a South Kensingtoni Museumban ugyancsak ki van állítva.³⁷⁶

Az elsők között a *japánok* szintén Süss mechanikusnál rendelték meg eszközüket, amellyel SINJO egyetemi tanár, aki a mérési módszert nálunk gyakorlatilag is tanulmányozta, első-sorban Tokyo körül végzett megfigyeléseket.

Nálunk, kívülünk GORJANOVICH KRAMBERGER *horvát* geológus irányítása mellett GAVAZZI tanár végzett Horvátországban és Szlavóniában méréseket.^{145, 153} 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 állandóit is. Később FASCHING professzor a zágrábi műegyetem geodéziai tanszéke részére egy újabb kistípusú «Original Eötvös» ingát rendelt.

Ausztriából SCHUMANN bécsi] műegyetemi tanár hosszabb ideig tanulmányozta itt nálunk úgy a laboratóriumban, mint a szabadban e méréseket. Később egy eszközünket rendelkezésére bocsátottuk, amellyel első-sorban a laboratóriumban, majd pedig a bécsi medencében végzett megfigyeléseket.^{177, 182}

SMOLENSKI krakói egyetemi tanár ugyancsak felkereste expedíciónkat. Később a *varsói Geológiai Intézet* két Eötvös-ingát rendelt Budapesten és JANCZEWSZKI geológusuk hosszabb időt töltött intézetünkben a mérések tanulmányozása céljából.

Eleintén csak a tudós világ, főleg a geodéták érdeklődtek a torziós inga iránt, később inkább a geológusok és a gyakorlat emberei. A háború után ugyanis a világ minden részében egyre fokozottabb mértékben használják Eötvös eszközét és pedig főleg a petróleum kutatásokban. Egyre többen keresték fel az Eötvös-Intézetet és mérő expedíciónkat, sőt némelyikük hónapokon át nálunk tartózkodott, hogy e módszert úgy elméletileg mint gyakorlatilag elsajátítsa. Többek között MACDONALD

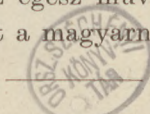
geológus Londonból, illetve Perzsiából, SCHUMACHER holland geológus, ROMBERG honolului tanár, BARTON főgeológus Észak-Amerikából, STEINER geológus Texasból, GORNICK, az «Exploration» német kutatótársaság igazgatója, BOSE az indiai Punjab Irrigation Research Laboratory geofizikusa Lahoreból, ROSE és D. LA TOUCHE geofizikusok az afrikai portugál gyarmatról Angólából, TEMPLETON geofizikus Venezuelából, KLOTZ az ottawai Dominion Observatory volt igazgatója Kanadából, valamint MILLER ugyanezen intézet főgeofizikusa stb. Ily módon több mint huszonöt szakember közvetlenül itt az Eötvös-Intézetben tanulta meg a torziós inga használatát és általuk közvetve terjedt el azután ez az új kutató módszer az egész világon. A külföldön már igen kiterjedt szakirodalom foglalkozik az Eötvös-ingával és annak különböző alkalmazásaival.

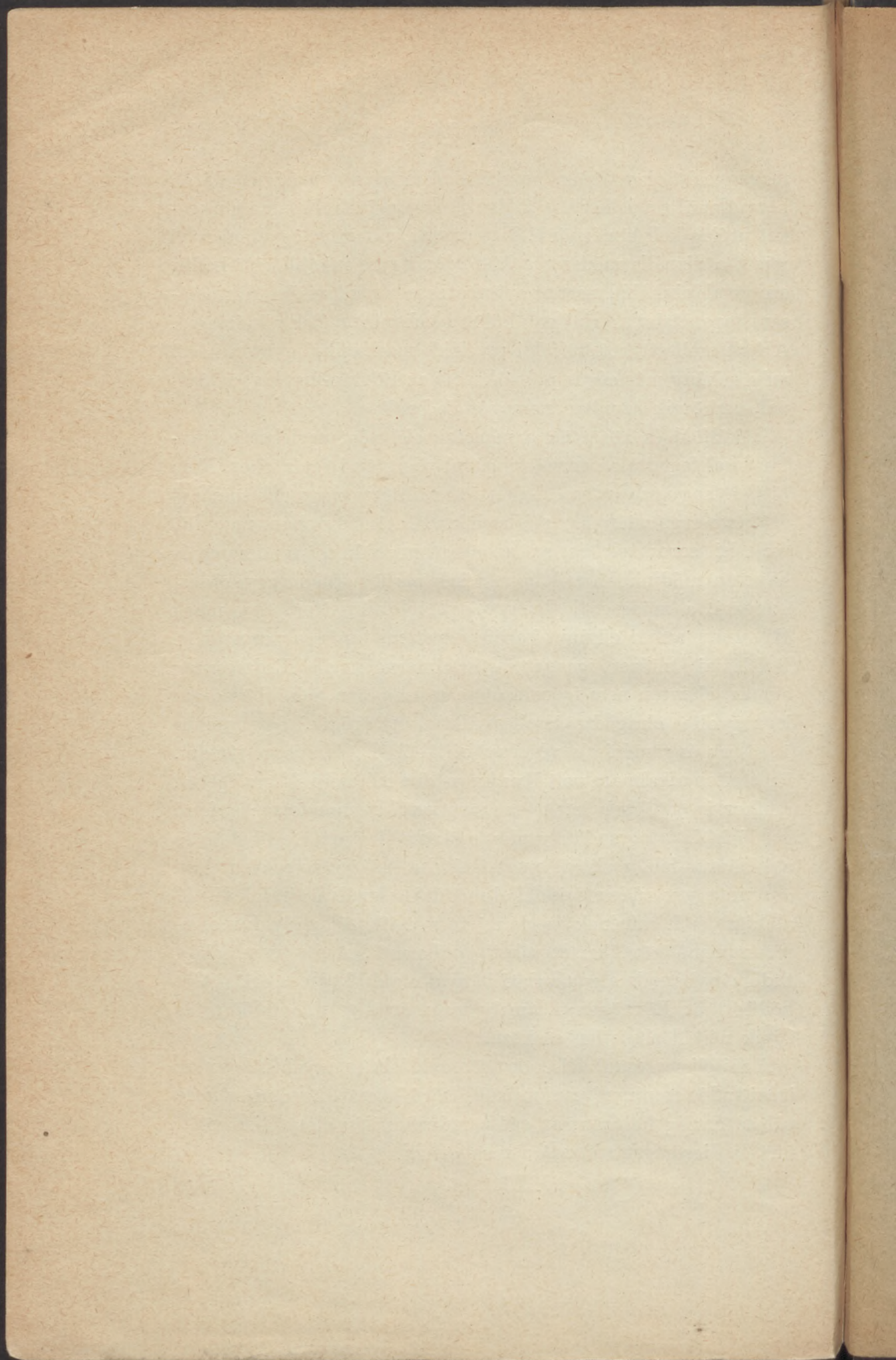
A Budapesten készült eredeti Eötvös eszközöket szerte a nagyvilágon és pedig legnagyobb mértékben Amerikában használják. Kivülük még a német, a berlini *Askania Werke* műszerei vannak elterjedve. Az angol, a londoni OERTLING cég eszközeit azonban alig használják. E külföldi torziós ingák tulajdonképpen a mi eszközeink alapján készültek, lényegükben báró Eötvös eredeti műszeréhez hasonlóak és csupán a külső észlelési berendezésben térnek el attól. Ugyanis az eszközökön a távcsővel való közvetlen vizuális észlelés helyett a fotografikus regisztrálást és az automatikus forgatást vezették be, ami azonban a szabadban való mérésénél sok hátránnyal jár.^{191, 204, 255} Báró Eötvös maga sokat foglalkozott a regisztrálással, de azt a mezői mérésekben előnytelennek tartotta. Felfogásának helyességét a későbbi tapasztalatok is igazolták. Az automatikus szerkezetek rendben tartása ugyanis, különösen elhagyott, rossz vidékeken nagyon nehézkes, működésükben nem egyszer zavarok léphetnek fel. Vizuális észlelés esetén, az esetleges zavarokat, amelyek bármely torziós ingánál előfordulhatnak, azonnal észre vesszük és a hibás leolvasásokat megismételve, az észlelési sorozatot mindenkor megmenthetjük. Regisztrálás esetén azonban csak utólag a lemez előhívásakor vesszük észre a bajt és a hasznavehetetlen

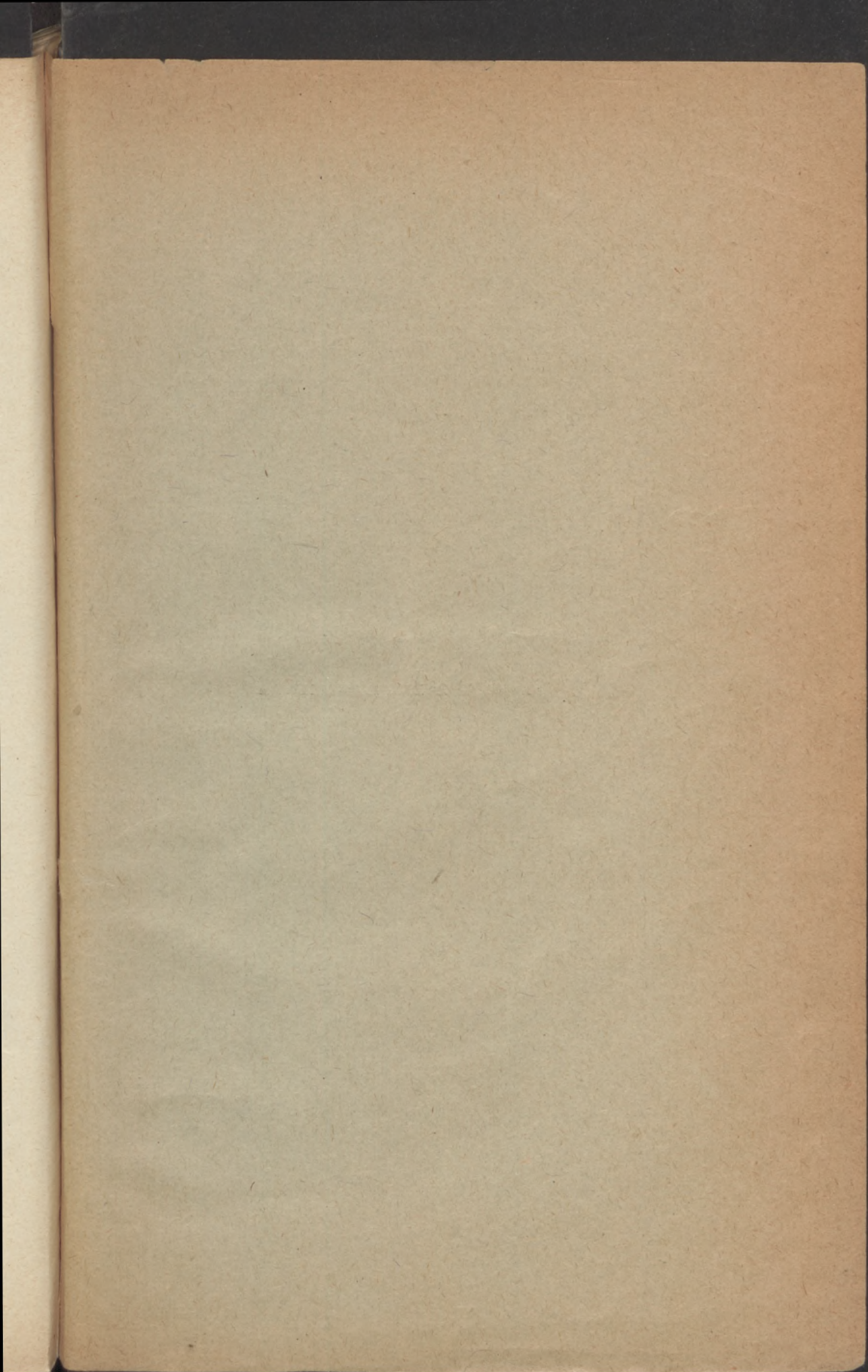
megfigyelést elveszítjük. Vizuálisan észlelve a numerikus adatok közvetlenül rendelkezésre állanak, míg regisztráláskor a lemezeket utólag kell kimérnünk. Úgy a fenti, valamint egyéb előnyei miatt a vizuális módszer a külföldön egyre inkább tért hódít, annyival is inkább, mert az automatikus berendezés karbantartására tapasztalat szerint egy külön mechanikust kell alkalmazni. A fent említett két külföldi precíziós mechanikai gyáron kívül még néhány más cég is próbálkozott az Eötvös-ingák gyártásával, eszközeik azonban nem váltak be.

A külföld és közöttük a németek eleintén meglehetősen fenntartással fogadták a torziós ingával végzett vizsgálatokat. Nem hitték, hogy szabadban észlelve a szükséges nagy pontosságot és biztosságot tényleg 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, a már elhunyt berlini egyetemi tanár, a porosz Kir. 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, ismételten alkalmam volt 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 olyan egyszerű és mégis okkal-móddal használva, általuk a Föld alakjára és felszínének szerkezetére vonatkozólag oly fontos és messzemenő következtetéseket vonhatunk. Azóta nemcsak a tudományban, de a gyakorlati bányakutatásokban is óriási tért hódított az Eötvös inga, amely ma már a petróleum kutatás egyik nélkülözhetetlen eszköze.

A mi elismerésünknel csak örömünk lehet nagyobb, hogy az igazi tudós szerénységével működő báró EÖTVÖS LORÁND messze túl az ország határán, az egész művelt világ előtt elismerést, hírt és dicsőséget szerzett a magyarnak.







FRANKLIN-TÁRSULAT NYOMDÁJA

