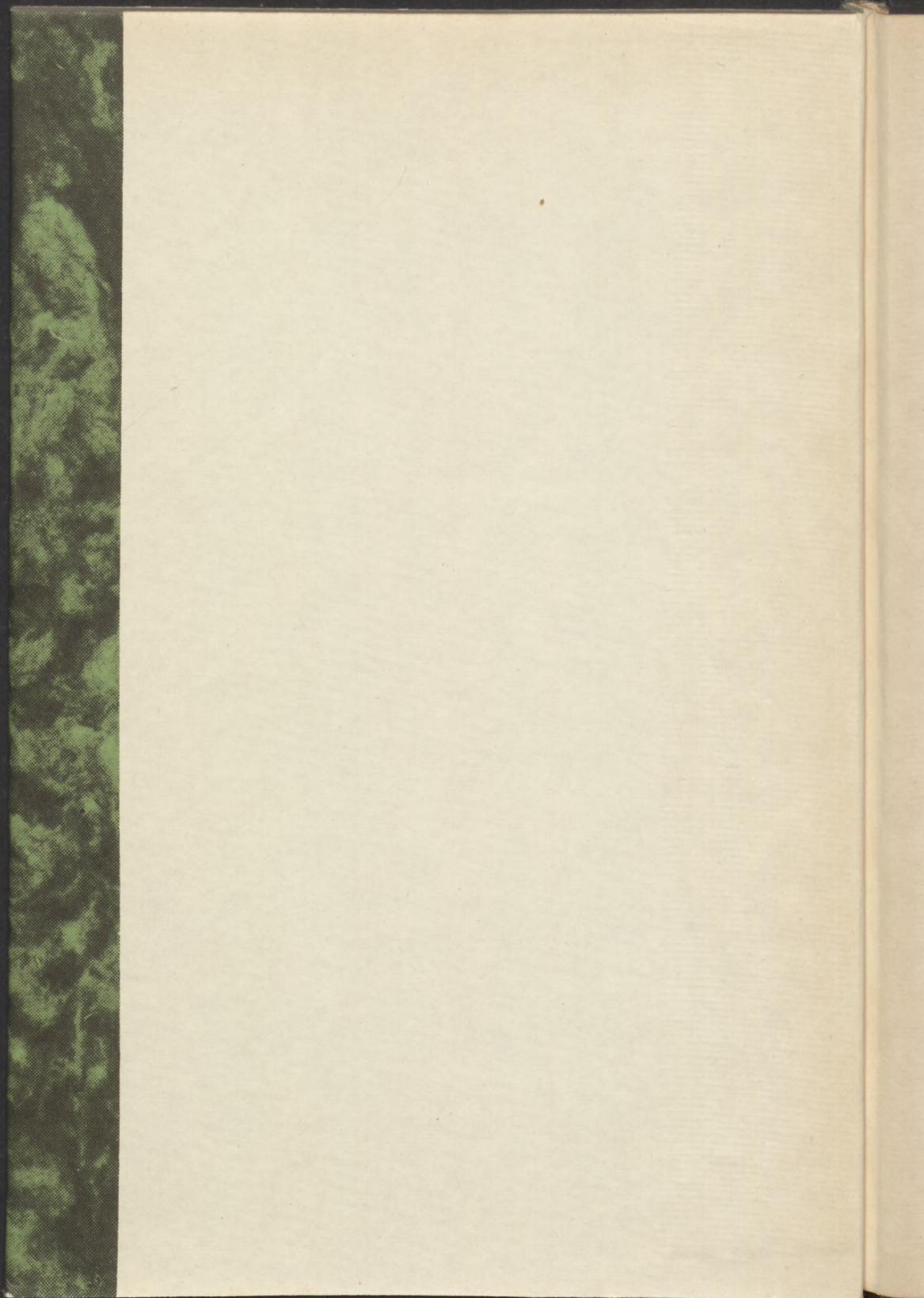
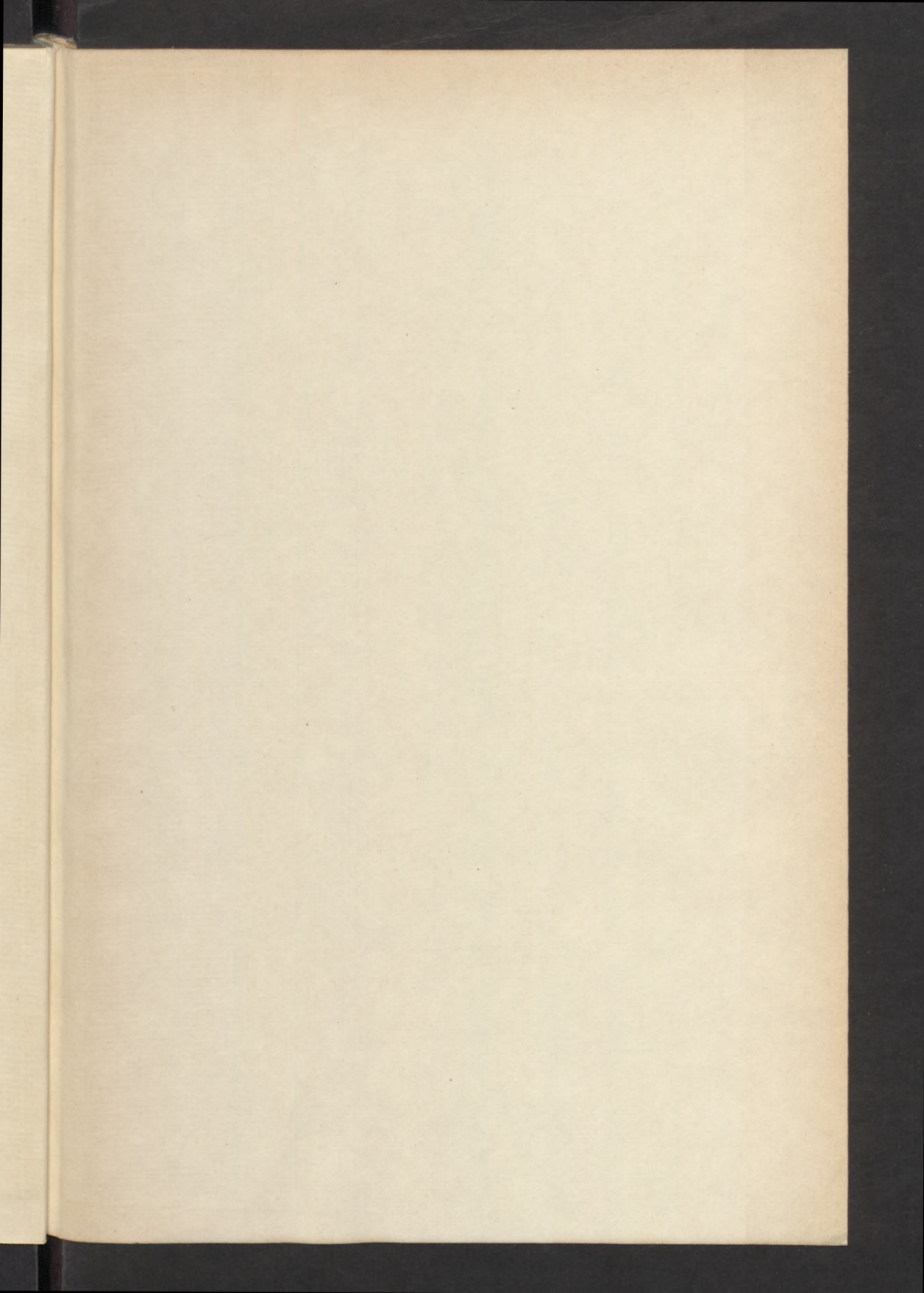


617.694





KÜLÖNLENYOMAT
A
‘MATEMATIKAI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉRTESÍTŐ’
L. kötetéből.

Felelős kiadó : PEKÁR DEZSŐ.



617-694

M. H. MUZEUM KÖNYVTÁRA
1. Nyomt. Növedéknapló
1346. 246 22

AZ EÖTVÖS INGÁK MEGBÍZHATÓSÁGA.

PEKÁR DEZSŐ 1. tagtól.

Eötvös torziós ingájával tudvalevőleg a nehézség térbeli változásait tanulmányozhatjuk, és pedig közvetlenül a nehézség potenciáljának, az U -nak következő differenciálhányadosait határozhatjuk meg:

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

Ez adatok közül az első kettő a horizontális síkban a nehézségi erő legnagyobb növekedését, a *gradienst*, a másik kettő pedig a nívófelület görbületére jellemző *horizontális irányítóképességet* adja meg. Kellő sűrűségű észlelési hálózat esetén a gradiensek segítségével kiszámíthatjuk a nehézség értékét az egyes észlelési állomásokon és így megszerkeszthetjük, illetve felrajzolhatjuk az egyenlő nehézségi görbéket, az *izogammákat*. Ily módon a nehézségi erőternek, ha nem is egészen teljes, de oly részletes ismeretéhez jutunk, amit az egyébként szokásos gravitációs mérési eljárásokkal egyáltalán el nem érhetünk. Ezen adatok nemcsak geofizikai és geodéziai szempontból értékesek, hanem belőlük a földfelület felső rétegeinek geológiai szerkezetére, egyes hasznosítható ásványi kincsek előfordulására következtethetünk. Éppen ez utóbbi céllal az Eötvös ingákat különösen a most lefolyt évtizedben és jelenleg is nagy mértékben használják, még pedig főleg petróleum után kutatnak velük az egész világon. E gyakorlati alkalmazás kettőzötten megköveteli, hogy eszközeink nappali észlelésekkor és a legrosszabb viszonyok között is kifogástalan és megbízható adatokat nyújtsanak.

Éppen ezért, amint azt már más alkalommal is hangsúlyoz-

tam,^{1, 2} a *torziós ingák megbízhatósága* a legfontosabb, de egyúttal a legnehezebb feladat, amelyet azok szerkesztésénél szem előtt kell tartanunk. A nehézségi erő észlelt változásai ugyanis nagyon kicsinyek, amiért is méréseinket $1 \cdot 10^{-9}$ CGS vagyis 1 *Eötvös egységnyi* pontossággal kell végeznünk. Sok mindenféle tapasztalatot és körütekintést igényel annak elérése, hogy az eszközök a szabad ég alatt e nagy érzékenység mellett megbízható adatokat nyújtsanak. Ebben találjuk annak magyarázatát, hogy bár újabban a torziós ingák egész sorát konstruálták, de ezen különböző német, angol, amerikai, orosz és japán eszközök közül a mieinken kívül csupán a berlini Askania Werke műszerei vannak a világon tényleg elterjedve.

Magam már két évtizeddel ezelőtt kezdtem el a torziós ingák megbízhatóságának kérdésével foglalkozni. Több éven át végzett kísérleti tanulmányaim eredményét 1915-ben professzorom, Eötvös LORÁND báró mutatta be Akadémiánkban. Ebben az értekezésemben³ már kiemeltam e kérdésnek fentiekben körvonalazott fontosságát, amit a jövő tényleg igazolt is. E vizsgálataimra tulajdonképpen az a meglepő tapasztalat indított, amelyet mérési expedícióink alkalmával ismételten megfigyelhettünk, hogy a mechanikustól egyforma gonddal és pontossággal készített és a laboratóriumban egyformán jónak mutakozó torziós ingáink a szabadban nagyon eltérően viselkedtek, és pedig a külső zavaró hatásokkal szemben igen különböző mértékben érzékenyek. Az észlelések megismétlésekor ugyanis némelyik ingánál a leolvasások oly nagy

¹ A Bárá Eötvös Loránd Geofizikai Intézet tízéves tudományos működése. (Kivonatban: Akadémiai Értesítő. 40. kötet, 163—172. oldal, Budapest, 1929.) Matematikai és Természettudományi Értesítő. 48. kötet 27—50. oldal, Budapest, 1932.

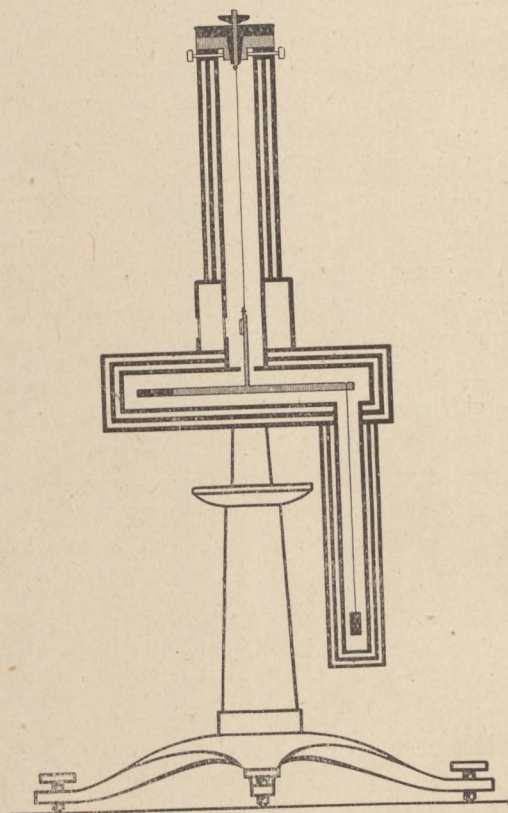
² *Travaux de l'Institut Géophysique Baron Roland Eötvös*, Rapport présenté à la quatrième assemblée générale de L'Union Géodésique et Géophysique Internationale à Stockholm en août 1930. Budapest. Különkiadvány. 34 oldal. Hálás köszönettel tartozom Akadémiánknak, hogy indítványomra magára vállalta az Unio tagsági kötelezettségeit s ezzel lehetővé tette e jelentésem megtételét.

³ *Kísérleti tanulmányok az Eötvös-jéle gravitációs csavarási mérleg zavarairól*. Matematikai és Természettudományi Értesítő. 33. kötet 407—455. oldal, Budapest, 1915.

eltéréseket mutattak, hogy az eszköz teljesen megbízhatatlannak, szinte használhatatlannak bizonyult. A megfigyelések körülményeinek kritikai egybevetése csakhamar reávezetett arra, hogy ez eltérő leolvasásokat, vagy amint elneveztük, *«az eszköz járását»* főleg a hőmérséklet hirtelen változása okozza és különösen a hőmérséklet fordulásakor tapasztalhatunk tetemes eltéréseket. Hosszas kísérleteimmel elsősorban azt igyekeztem kimutatni, hogy az eszközöknek micsoda szerkezeti különbségei okozzák a megbízhatóságban mutatkozó nagy különbségeket. További feladatomban pedig természetesen az volt, hogy eszközeinken oly módosításokat végezzek, amelyek folytán azok a hőmérsékleti hatásokra érzéketlenek legyenek.

Az e cikkemben közölt kísérleti megállapításaim, amelyek helyességét későbbi és legújabb vizsgálataim is kétségbevonhatatlanul igazolták, alapvető jelentőségűek. Éppen ezért szükséges,

hogy azok közül a fontosabbakat e helyen is kiemeljem. Kizárva minden más, a torziós inga egyensúlyi helyzetét esetleg befolyásoló körülményt, mindenekelőtt kimutattam, hogy e nagy járásokat nem a torziós drót, hanem a lengő szerkezetre gyakorolt hatások okozzák. Az eszköz egyes részeinek, így a lelógó csőnek külső



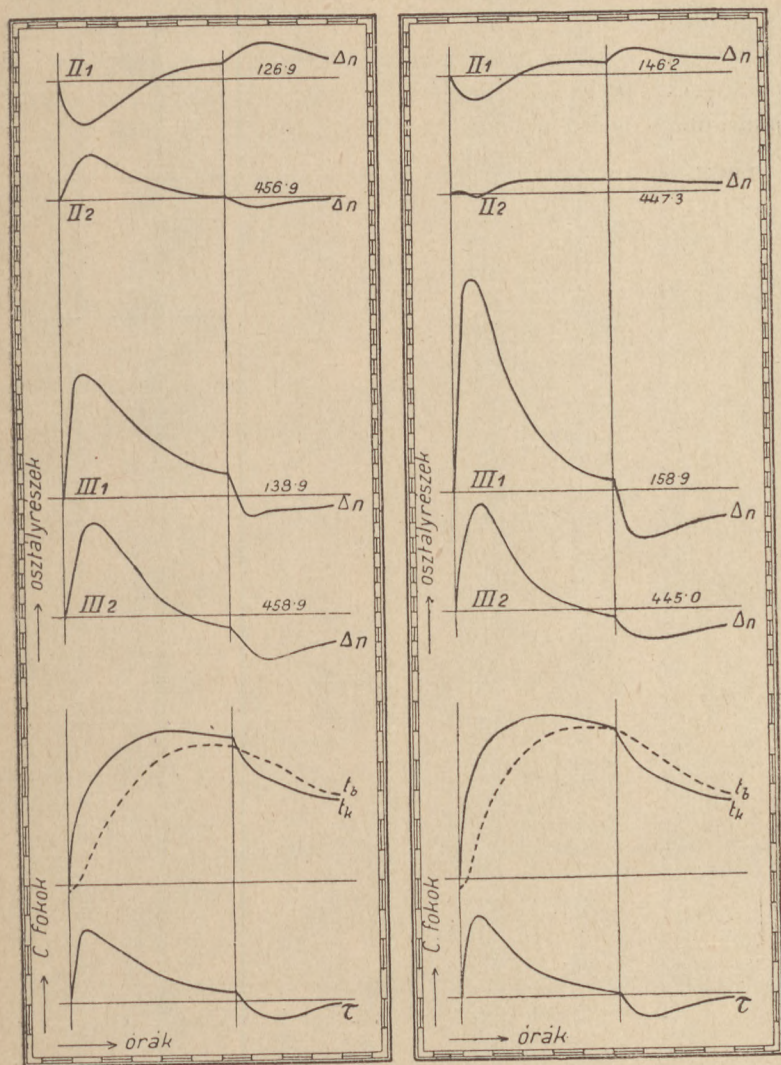
1. ábra.

Az Eötvös inga vázlatos keresztmetszete.

melegítése, függetlenül attól, hogy e melegítés melyik oldalon történik, a torziós rúd egyazon kezdeti állásában az egyensúlyi helyzetnek mindig ugyanazon irányú eltolódását okozza. Szóval az egyoldalú külső melegítés az eszköz belsejében már nem a melegített oldalnak megfelelő, hanem attól független hatást vált ki. Az eszköz egészében való melegekedésekor, illetve lehűlésekor mindig oly irányú járások lépnek fel, amelyek a lelógó cső melegítésének, illetve lehűlésének felelnek meg. Szóval a lelógó cső gyorsabban változtatja hőmérsékletét, mint az eszköz többi része. A torziós inga főbb részeit az 1. ábrán láthatjuk, amely Eötvös eszközének vázlatos keresztmetszetét mutatja be.

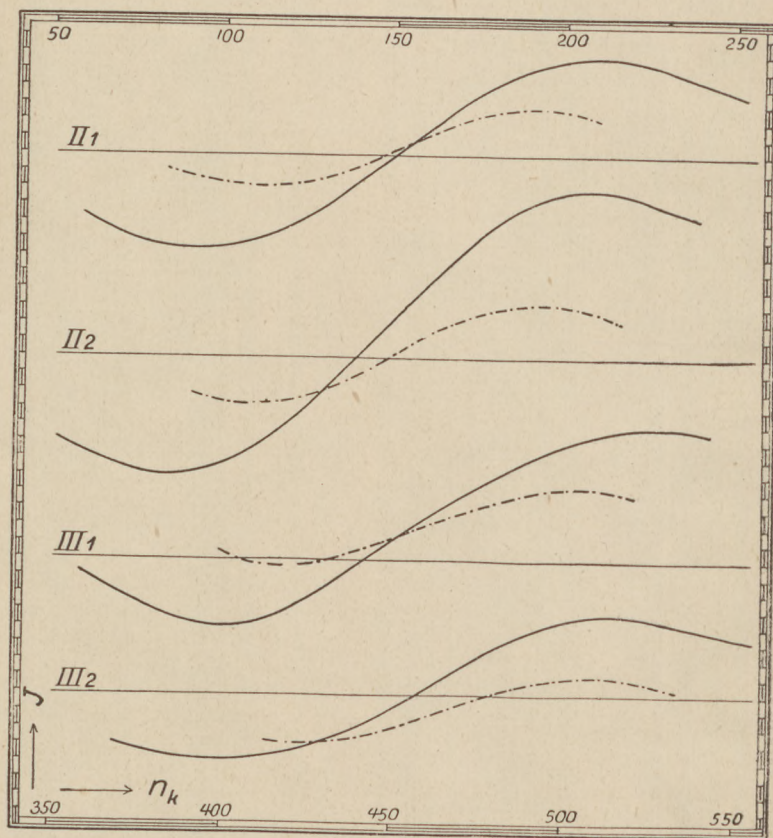
Ezek után az eszközök melegítésekor, illetve lehűtésekör számos kísérlettel meghatároztam az egyensúlyi helyzet változásának, a Δn -nek típusos görbéjét. A 2. ábrán régi cikkemből egy ilyen eredeti képet mutatok be. A négy felső görbe a megvizsgált II és III jelzésű kettős eszközök ingáira a Δn értékeket tünteti elő, az abszcisszatengelyek mellé írt kezdeti egyensúlyi helyzetektől számítva. A görbéknek a két függélyes párhuzamos vonal közé eső része a melegítés időtartamába esik, a kívül eső rész a melegítés megszűnte utáni lehűlésnek felel meg. A kép alsó részén a t_k görbe az eszközök külső felületén elhelyezett hőmérők, a szaggatott vonalú t_b görbe pedig az eszközökbe benyúló belső hőmérők megfelelő adatainak középértékét tünteti elő. Az utolsó τ görbe pedig a $\tau = t_k - t_b$, a két hőmérséklet különbségére vonatkozik. Ez utóbbi görbékre azért volt szükség, hogy megfelelő felhasználásukkal a különböző kísérletekben nyert eredményeket egymással összehasonlíthassuk. Az eszközök melegítése ugyanis ez időben akként történt, hogy az észlelőhelyiség melletti nagy termet előre erősen felfűtöttem, majd az összekötő ajtót kitárva, a 10—15 fokkal melegebb levegőt az eszközökre reabocsátottam. A lehűtési kísérleteket is hasonló módon végeztem. Minthogy e kísérleti eljárással az egyes megfigyelési sorozatok különböző hőmérsékleti határok között történtek, azokat közvetlenül nem hasonlíthattuk össze. Éppen ezért bevezettem a «járási állandó» fogalmát, amelyet mint a Δn görbe és τ görbe megfelelő szélső értékeinek viszonyát definiáltam.

A járási állandók kísérleti meghatározásával egy oly módszert


 2. ábra. Δn görbék 1915. évi cikkemből.

állapítottam meg, amellyel a laboratóriumban rövidesen eldönthetjük, hogy eszközeink a szabadban gyors temperatúraváltozás esetén mily fokban nyújtanak megbízható adatokat és elkerülhetjük azt a régebben többször előfordult meglepetést, hogy a

laboratóriumban kitűnőnek ígérkező eszköz a szabadban nem váltotta be a hozzáfűzött reményeket. E célból a torziós fej elforgatásával a rudat különböző állásokba hozzuk és azokban a járási állandók értékét, a J -t meghatározzuk. Ezután a J értékeket



3. ábra. Régi járási görbék 1915. évi cikkemből.

a kezdeti és a szélső értékű leolvasások középértékéhez az n_k abszcisszáihoz tartozó ordinátaként felrajzoljuk, amikor is megkapjuk «az eszköz járási görbéjét», amelyekből néhányat a régi cikkemből átvett 3. ábrán bemutatok. E görbék közvetlenül megmutatják, hogy a szabadban gyors hőmérsékletváltozásokor az egyes leolvasásokban milyen rendű eltéréseket várhatunk. Mennél

laposabbak e görbék, eszközünk annál megbízhatóbb. Azt ugyan már Eötvös báró megállapította, hogy a rúd egy bizonyos közép-helyzetében a járás 0, és ettől jobbra avagy balra a járásek nagyobbodnak, de a járási görbék pontos meghatározásával nem foglalkozott.

Torziós ingáinkban a rúd egyik végére lapos súly van erősítve, másik végén pedig vékony drótra függesztett fémhenger lóg alá. Részletes kísérleteket végeztem annak eldöntésére, hogy a lengő szerkezet melyik részére való hatások szerepelnek főleg a járás előidézésében. Természetesen a zavaró befolyások a lengő szerkezet végei körül lesznek leghatásosabbak, mert itt a leghosszabb karon a legnagyobb forgatónyomatékokat fejtik ki. E kérdés eldöntésére egyrészt a torziós fej eltolásával, másrészt az eszköz megfelelő dűtésével a torziós rudat irányára merőlegesen, önmagával párhuzamosan eltoltam, s e különböző esetekben a járási görbéket meghatároztam. Az így nyert görbék egybevetéséből kétséget kizárólag megállapíthattam, hogy az *eszköz járását* úgyszólván kizárólag *a lelógó cső torkolata felett lebegő szabad rúdvégre gyakorolt hatások* okozták, amelyek mellett a rúd egyéb részeire, a lapos súlyra és a lelógó fémhengerre való hatások teljesen lényegtelenek.

Eszközeinkben éppen a lelógó cső torkolatában bizonyos fémnyelveket, úgynevezett ütközőket alkalmaztunk. Ezekkel azt értük el, hogy az inga lengése közben a lelógó súly felfüggesztő drótja e fémnyelvek végére erősített papírlapocskákba ütközött, s így megakadályozta, hogy a lógó súly a cső falához odasimulva oda-tapadjon. Szóval az ütközőket a tapadás jelenségének megakadályozására használtuk, ami méréseinkben igen sok kellemetlenséget okozott. Azt azonban, hogy az ütköző felületeinek, illetve e felületek alakjának lényeges befolyása van az eszköz járására, se Eötvös, se senki más nem is sejtette. Minthogy a fentiek szerint az eszköz járásában főleg a csőtorkolat körüli hatások szerepelnek, részletes vizsgálat tárgyává tettem az itt elhelyezett ütközőket. Végeredményben sikerült kimutatnom, hogy megfelelő alakú ütközőket helyezve az eszközbe, a járást lényegesen csökkenthettem, vagyis az eszközt megjavíthattam, előnytelen felületekkel pedig elronthattam. A 3. ábrán eredő vonallal feltüntettem a megfelelő alakú ütközőkkel nyert járási görbéket, amelyek már is sokkal

laposabbak, illetve kevésbé meredek, mint a folytonos vonalú, ütköző nélküli görbék.

Lépésről lépésre haladva rendszeres kísérleteimmel sikerült tehát torziós ingáink megbízhatóságát jelentékenyen fokoznom, az *eszközök megjavításának kérdését megoldanom*, amivel évek hosszú során át hiába próbálkoztunk. Kimutattam ugyanis, hogy *gyors hőmérsékletváltozáskor eszközeinkben légáramlások jönnek létre, hogy ezeket az eszköz belsejében elhelyezett kellő alakú felületekkel előnyösen irányíthatjuk s ezzel az eszközt megjavíthatjuk*. Az elmondottakból láthatjuk, hogy az 1915. évi értekezésemben közölt kísérleti megállapítások a járási jelenség lényegét és az eszköz megjavításának elvét teljesen tisztázták és kijelölték azt az utat, amelyen továbbhaladva még jobb eredményeket várhatunk. Amint azt annak idején is jeleztem, természetesen tovább folytattam ez irányú vizsgálataimat.

Elsősorban a lelógó cső torkolatában elhelyezett különböző alakú nyílások és felületek hatását részletesen tanulmányoztuk. Az itt elhelyezett kellő alakú felületek ugyanis, amelyek egyúttal ütközőül is szolgáltak, máris nagyon jól beváltak. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint az, hogy szerte a nagyvilágban használt és előnyösen ismert eszközeink kiválóságát csakis ez úton biztosíthattuk. Amint azt az előzőkben részleteztük, a járást főleg a lelógó cső torkolata felett lebegő rúdvégre gyakorolt hatások okozzák, amiért is az igazán hatékony felületeket itten körül kell elhelyeznünk. Ezt kétféleképpen oldhatjuk meg: vagy a már tárgyalt módon a csőtorkolatban, a szabad rúdvég alatt alkalmazzuk a felületeket, vagy pedig a középső torziós szekrényben a lelógó cső nyílása előtt, a szabad vég mellett, illetve közelében helyezük el azokat. Ez utóbbi megoldás lényegében megegyezik az előzővel, s így természetes, hogy az eszköz járását ez esetben is lényegesen befolyásolhatjuk, amint azt a végzett kísérletek igazolták is. E célból a torziós inga középső szekrényében, a csőnyílás közelében a torziós rúd két oldalán helyeztük el az újabb, úgynevezett *«szabályozó felületek»*-et, amelyeket a célnak megfelelőleg egyes egyenes és görbe felületelemekből szerkesztettünk. Régi felületeimről a kettős cél, illetve az ütközői rendeltetés a figyelmet elterelte. Ez újabb felületek azonban feltűnőek, amiért is forgalomba hozott

eszközeinkben ezeket csak újabban alkalmaztam, amikor már azok szabadalmi védelméről gondoskodtam.

Megfelelő szabályozó felületek kellő alkalmazásával az eszköz járását tetszés szerint befolyásolhatjuk. Az erre vonatkozó részleteket annyira kitanulmányoztuk, hogy előre megmondhatjuk, hogy egy bizonyos hatás elérésére mit kell tennünk. A torziós rúd ugyanazon állásában például a +10-osztályrésnyi járást —10-re változtathatjuk, szóval a járásgörbét tetszés szerint módosíthatjuk. Ily módon el tudjuk érni, hogy az eszköz járási görbéje kellően lapos legyen, vagyis hogy torziós ingánk a gyors hőmérsékletváltozásokkal szemben gyakorlatilag érzéketlenné váljék. Mind-ezen részletekkel e helyen nem foglalkozhatom. Csupán felemlítem még, hogy ha a szabályozó felületeket a torziós rúd mentén eltoljuk, akkor azok annál hatásosabbak, mennél közelebb vannak a lelógó cső torkolatához. E körülmény ugyancsak a már régebben megállapított tény mellett bizonyít, hogy a járás előidézésében főleg a torziós rúd szabad végére gyakorolt hatások szerepelnek. A kísérletileg megvizsgált különböző felületeink közül néhányat 1929. március hó 18-án tartott előadásomban volt szerencsém a tekintetes Akadémiának bemutatni.

Amint azt az előzőkben említettem, az 1910-es évek elején kísérleteimet akként végeztem, hogy a szomszédos, előre jól fel-fűtött teremből a meleg levegőt az eszközre hirtelen reábocsátottam. Ez az eljárás azonban nagyon nehézkes, lassú és a mellett költséges is. Éppen ezért csakhamar az elektromos fűtőtestekkel való melegítésre tértem át, amit kétféle módon végeztünk. Az egyik esetben a lelógó cső közepe táján megfelelően méretezett elektromos fűtőtekercset helyeztünk el, a másik esetben pedig nagy elektromos fűtőtesteket tettünk az eszköz alá, amelyekkel egész brutális melegítő hatásokat érhattünk el. Ez újabb eljárások célszerű alkalmazhatóságát már előző kísérleteimmal kimutattam, amelyek szerint az ilyfajta melegítésekkor a járásek ugyanolyanok, mint amilyenek az eszköz egészében való melegekedésekor jönnek létre. Minthogy pedig ez esetben a melegítést mindenkor pontosan ugyanazon áramintenzitással végezhattuk, vagyis a létrejövő melegekedést pontosan egyformán adagolhattuk, a járási állandók meghatározásánál feleslegessé vált az eszköz külső és belső hőmérsék-

letének és a τ görbének figyelembevétele. Egyszerűen a leolvasásokban mutatkozó eltérés, a Δn maximumát használhatjuk közvetlenül a járás jellemzésére. Ily módon a járási görbék meghatározását sokkal kényelmesebben és gyorsabban végezhetjük. Különösen fontossá vált ez reánk nézve azért, mert forgalomba hozott eszközök egyéni megvizsgálása és a megbízhatóvá tételük céljából alkalmazott különböző felületek hatásának megállapítása a járási görbék egész sorozatának meghatározását tette szükségessé.

Természetesen már az eszközök megszerkesztésénél különös gondot kell fordítanunk arra, hogy azok szabályozó felületek nélkül is a lehetőségig érzéketlenek legyenek a gyors hőmérsékletváltozásokkal szemben. Sajnos azonban, pusztán ez úton a külső mérésekben szükséges megbízhatóságot nem érhetjük el. A torziós ingák tökéletesítésére irányuló munkásságunkat az Eötvös Intézet tízéves működéséről szóló, már idézett értekezésemben részleteztem. Előbb a nagyobb méretű 40 cm-es torziós rúdú Eötvös ingákból szerkesztettünk célszerűbb és megbízhatóbb modelleket. Ezután a 20 cm-es rúdú kisebb eszközökből kiindulva szerkesztettük meg *új kis torziós ingánkat*, amelyet az egész világon «Small Original Eötvös made in Hungary» néven előnyösen ismernek. Már az elméleti megfontolások arra vezetnek, hogy a külső zavaró hatások befolyása az eszköz méreteinek csökkentésekor aránytalanul megnagyobbodik. Ezt igazolja az a kísérleti tény, hogy Eötvösnek 10 cm-es rúdú eszköze teljesen hasznavehetetlennek bizonyult. Éppen ezért fenti kis típusú eszközünknél egy még kisebbet nem konstruáltam. Nem tartottam ugyanis észszerűnek, hogy még nagyobbá tegyük az eszközben eredetileg benne rejlő azt a hibát, amit a megfelelő felületek alkalmazásával kell utólag kiküszöbölnünk. Annnyival is inkább indokolt e felfogás, mert a szükséges nagymérvű javítással együtt jár az a veszély, hogy ha az eredeti kellő beszabályozás bármi okból megváltozik, ezzel együtt az eszköz megbízhatatlanná válik.

Az 1915-ös értekezésemben leszögezett kísérleti tények közül egyesek nemcsak az eszköz megbízhatóvá tétele szempontjából fontosak, hanem egyúttal bepillantást nyújtanak a hőmérsékletváltozáskor az eszköz belsejében lejátszódó folyamatokra és így lehetővé teszik a *járási jelenség helyes elméletének felállítását*. Éppen

ezért szükségesnek tartottam, hogy ezen megállapítások helyességét újabb és pedig elektromos fűtőtestekkel végzett kísérletekkel ellenőrizzem.

Egyik ilyen nagyon fontos kísérleti megállapítás az, hogy a *járást főleg a torziós rúdnak a lelógó cső torkolata fölött lebegő, szabad végére gyakorolt hatások okozzák.* Más szóval ez azt jelenti, hogy a szabad rúdvégnek egy bizonyos meghatározott helyzetében a cső-torkolat felett, mindig ugyanazt a járást kapjuk, függetlenül attól, hogy maga a torziós rúd és az egész lengő szerkezet milyen állásban van a belső szekrényhez, illetve a lelógó csőhöz képest, vagyis függetlenül attól, hogy a rúd másik végén lévő lapos súly, valamint a lelógó fémhenger hol van. Ennek igazolására a következő kísérleteket végeztük, amelyek világosabb leírása céljából a 4. ábra baloldalán, az 1., 2., 3. jelzésű rajzon felülről nézve az eszköz középső hármassfalú szekrényét tüntettük fel, ahol a berajzolt kör a lelógó cső torkolatát jelzi.

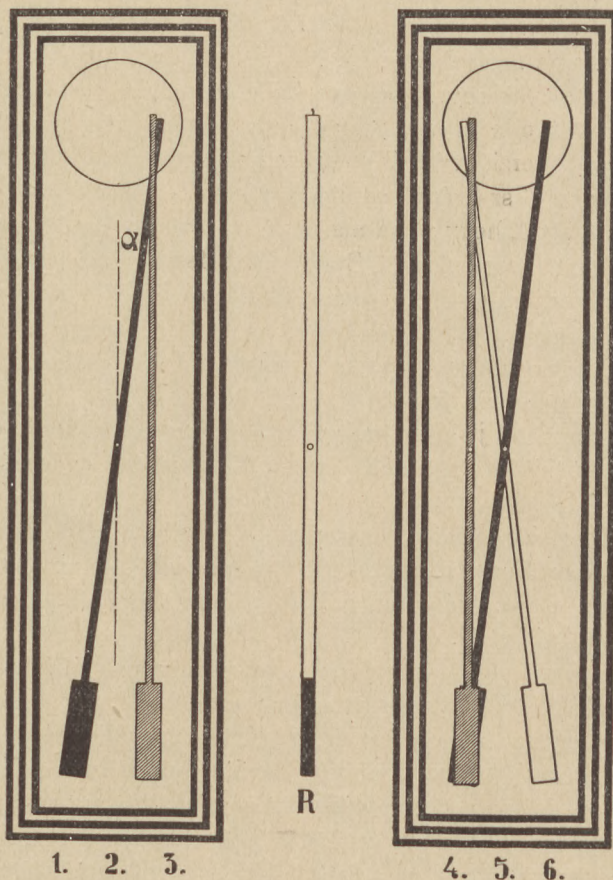
1. A torziós fej elforgatásával a rudat a baloldali ábrán feketén előtüntetett kitérített állásba hoztuk és a járás nagyságát meghatároztuk.

2. A torziós fejet visszaforgattuk, azután eltoltuk a rúd irányára merőlegesen, a szekrény oldala felé annyira, hogy a torziós rúd a vonalkázottan rajzolt állásba kerüljön és a járást újból meghatároztuk.

3. A torziós fejet és rudat az eredeti középső állásba hozva a megfelelő állító csavar forgatásával megdűtöttük az eszközt, és pedig oly fokban, hogy a torziós rúd ismét a vonalkázottan rajzolt helyzetbe kerüljön és a járás nagyságát megint meghatároztuk.

Mind a három esetben, amint azt a rajzból közvetlenül látjuk, a szabad rúdvég állása a csőtorkolat felett kb. ugyanaz. A második esetben azonban a rúd és a lapos súly az első esettől lényegesen eltérő helyzetben van. A harmadik esetben a rúd állása ugyanaz, mint a másodikban, de az eszköz dűtése miatt a lelógó fémhenger jóval közelebb került a csőfalhoz, mint ahogy az első avagy második esetben volt. Mindezek dacára a végzett kísérletek tanúsága szerint *mind a három esetben a járás nagysága kb. ugyanaz,* természetesen a beállítások bizonytalanságából és az egyes meghatározások nem teljesen egyenlő körülményeiből származó, megengedett eltérések-

kel; mert pl. a szabad rúdvég tulajdonképpen egymástól kissé eltérő helyzetben van a kitérített és az eltolt torziós rúd esetén stb. Az 1915. évi értekezésemben közölt adatok ezt a kísérleti tényt már



4. ábra. Torziós rúd eltolási és eszköz dűtési kísérletek.

igazolták, a következőkben pedig a legújabbán végzett kísérleteim eredményéről számolok be, amelyekben mindenkor az alábbi egy-egy sorozatban foglalt három adat hasonlítandó össze egymással. A különböző eszközökkel, avagy a különböző melegítési eljárással nyert adatok természetesen egymással nem vethetők össze.

A *III* jelzésű nagytípusú Eötvös-féle eszközt a lelógó cső közelében elhelyezett elektromos fűtőtekercssel melegítve, a fent részletezett kísérletekben a meghatározott járás értéke az 1. esetben $+13.8$, a 2. esetben $+11.0$ és a 3. esetben $+12.7$.

A *III* jelzésű nagytípusú Eötvös-féle eszközt az alatta elhelyezett nagy elektromos fűtőtestekkel melegítve, a járások az 1. esetben $+48.6$, a 2. esetben $+40.7$ és a 3. esetben $+39.1$.

A 38 899 számú új kistípusú eszközt a lelógó cső közelében elhelyezett elektromos fűtőtekercssel melegítve, a járások az 1. esetben $+10.7$, a 2. esetben $+9.1$ és a 3. esetben $+11.1$.

A 38 899 számú új kistípusú eszközt az alatta elhelyezett nagy elektromos fűtőtestekkel melegítve, a járások az 1. esetben $+14.6$, a 2. esetben $+13.2$ és a 3. esetben $+12.6$.

Fenti adatokkal együtt régi kísérleteimet is tekintetbe véve megállapíthatjuk tehát, hogy három különböző melegítési módszerrel, két különböző típusú, illetve méretű Eötvös ingánál a megvizsgált három esetben közel ugyanazt a járást kaptuk. E megállapítás további bizonyítékaul hasonló módon eljárva a következő kísérleteket végeztük, de azzal a különbséggel, hogy most a torziós rúd végére erősített lapos súly helyzetét hagytuk változatlanul. Amint azt a 4. ábra jobboldalán a 4., 5., 6. jelzésű rajzon feltüntettük, a végzett kísérletek a következők voltak.

4. A rudat a torziós fej elforgatásával a jobboldali ábrán feketén előtüntetett kitérített állásba hoztuk.

5. A torziós fejet visszaforgattuk és eltoltuk annyira, hogy a torziós rúd a vonalkázottan rajzolt állásba kerüljön.

6. A torziós fejet és rudat az eredeti középső állásba hozva, az eszközt megdűtöttük oly fokban, hogy a torziós rúd ismét a vonalkázottan rajzolt helyzetbe kerüljön.

Mind a három esetben meghatároztuk a járás nagyságát, és pedig ismét különböző eszközökön, különböző melegítési eljárással végzett kísérletekkel.

A *III* jelzésű nagytípusú Eötvös eszközt elektromos fűtőtekercssel melegítve a meghatározott járások értéke a 4. esetben $+13.8$, az 5. esetben -11.4 és a 6. esetben -10.4 .

A *III* jelzésű eszközt nagy elektromos fűtőtestekkel melegítve, a járások a 4. esetben $+48.6$, az 5. esetben -49.0 és a 6. esetben -40.2 .

A 38 899 számú új kistípusú eszközt elektromos fűtőtekercsel melegítve, a járások a 4. esetben $+10\cdot7$, az 5. esetben $-14\cdot8$ és a 6. esetben $-14\cdot5$.

A 38 899 számú új kis eszközt nagy elektromos fűtőtestekkel melegítve, a járások a 4. esetben $+14\cdot6$, az 5. esetben $-17\cdot9$ és a 6. esetben $-15\cdot7$.

A nyert adatokat természetesen ismét csak egy-egy sorozaton belül egymással összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a különböző melegítési eljárással, különböző torziós ingákon végzett kísérletek azonos eredményre vezettek. A járás az 5. esetben lényegesen más, mint a 4.-ben, az egymásra következő sorozatokban az eltérés $25\cdot2$, $97\cdot6$, $25\cdot5$, $32\cdot5$ egységre rúg. A járások abszolút értéke azonban e két esetben kb. egyenlő, de ellentett előjelű. Az 5. esetben ugyanis a járás annak felel meg, amit az ábrán a körvonalakkal előtüntetett és ellentetten kitérített rúdállásban kapnánk, amikor tehát a szabad rúdvég helye nem változik meg. Végül a 6. esetben a járás kb. ugyanaz, mint az 5.-ben, jeléül annak, hogy a járáson semmit sem változtat az a körülmény, hogy a lelógó fémhenger a cső falához jóval közelebb került. Mindezek a kísérletek egyértelműen és kétségbenvonhatatlanul igazolják azt a már 16 év előtt megállapított tény, hogy a járást főleg a torziós rúdnak a lelógó cső torkolata felett lebegő szabad végére gyakorolt hatások okozzák.

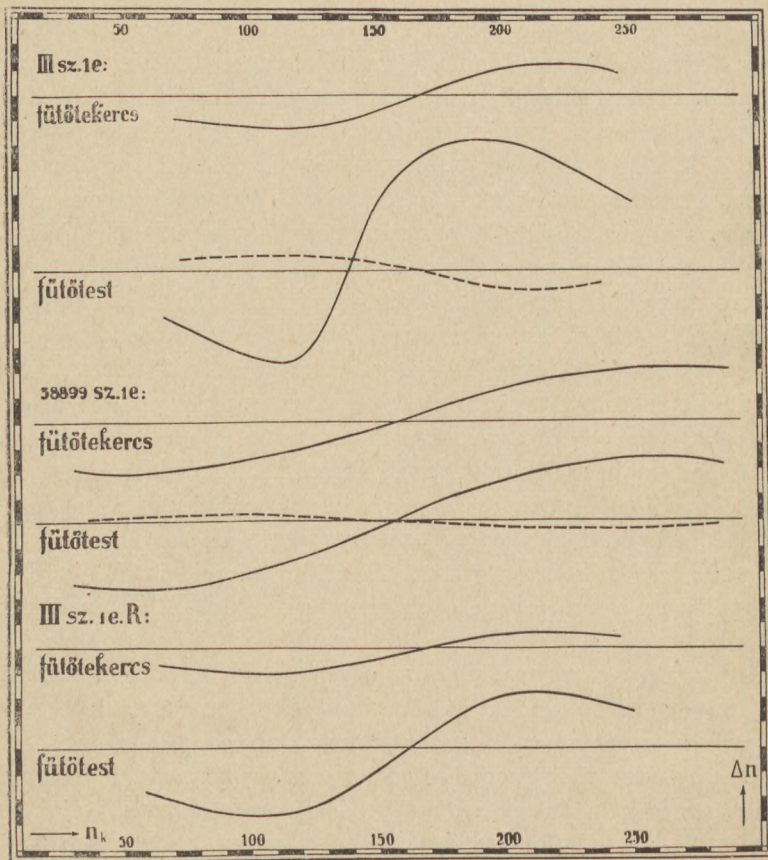
E kísérleti megállapításból egyúttal egy másik érdekes következtetést vonhatunk. Minthogy a járás nagysága egyáltalán nem függ attól, hogy a torziós rúd végére erősített lapos súly az eszköz belső szekrényében milyen helyzetet foglal el, természetes, hogy *a lapos súly alakja, illetve méretei a járást nem befolyásolják*. Ugyanaz a járás, akár széles, akár keskeny lapos súlyt alkalmazunk. Ennek közvetlen igazolására a III jelzésű eszközben a lapos súlyú rudat felcseréltük egy régifajta torziós rúddal, mely hengeres rézesőből készült s egyik végébe platinahenger van beletolva. Keresztmetszetét a 4. ábra közepén *R* jelzéssel feltüntettem. Szóval ennek a rúdnek külső átmérője mindenütt végig egyforma. Az így egybeállított eszközzel elvégeztük a fenti 1., 2. és 3. kísérletet, amikor is elektromos fűtőtekercsel melegítve, a meghatározott járások az 1. esetben $+8\cdot9$, a 2. esetben $+8\cdot6$ és a 3. esetben $+8\cdot5$. Az eszköz alatt elhelyezett nagy elektromos fűtőtestekkel melegítve

pedig a járások az 1. esetben $+33.3$, a 2. esetben $+34.5$ és a 3. esetben $+32.1$. Tehát egy-egy sorozaton belül a három adat közel egyenlő, ami ugyancsak fenti megállapításunk helyességét igazolja.

A járási jelenség lényegének megállapítása szempontjából fontos továbbá, hogy magát a *járási görbét teljesen és pontosan ismerjük*. Különösen pedig az, hogy e görbének típusos, mondjuk normális alakját megállapítsuk, amelyet a rendes Eötvös ingák adnak, mindenféle felületekkel és ütközőkkel való mesterkedés, illetve a belső szekrényben létesített zavaró egyenetlenségek nélkül. A 3. ábrán már bemutattam a régebbi kísérleti eljárással nyert eredményeket, ahol is a *II* és *III* eszközre vonatkozólag e normális járási görbék folytonos vonallal vannak feltüntetve. Újabb kísérleteimben az eszközöket elektromos fűtőtekercsrel, illetve nagy fűtőtestekkel melegítettem. Az 5. ábrán a két felső rajz a *III* jelzésű nagy eszközre újabb meghatározásaim eredményeit tünteti fel, és pedig felül az elektromos fűtőtekercsrel, alul a fűtőtestekkel nyert járási görbéket. A folytonos vonalú a melegítéskor, a szaggatott vonalú pedig a melegítés megszűnte után, a lehűléskor meghatározott járási görbe. Az 5. ábra két középső görbéje a 38 899 számú kis eszközzel végzett kísérleteim eredményét tünteti fel teljesen hasonló módon. Közvetlenül látjuk, hogy az új görbék lényegükben hasonlóak a régiekhez. A középtől kiindulva a görbe eleintén meredeken emelkedik, majd az emelkedés csökken, végül a széleken a görbe megfordul. A kis eszköznél e fordulás megvan ugyan, de nem olyan feltűnő, mert ez esetben a torziós rudat nem lehet kellő mértékben kitéríteni. A lógó súly ugyanis alacsony, nagy keresztmetszetű aranyhenger, amely a cső falába ütközve a nagyobb kitérítést megakadályozza. Ezenkívül még annak igazolására, hogy a lapos súlynak e típusos görbére nincsen lényeges befolyása, a *III* jelzésű nagy eszközbe helyezett régi, végig egyforma keresztmetszetű *R* jelű torziós rúddal hasonló kísérleteket végeztünk. A meghatározott járási görbék, amelyeket az előzőkkel megegyező módon feltüntetve az 5. ábra két alsó rajzán láthatunk, e felfogásunk helyességét közvetlenül bizonyítják.

Minthogy forgalomba hozott eszközeinket a gyors hőmérsékletváltozásokkal szemben érzéktelenné kellett tennünk, az e célból szükséges műveletek kellő elvégzésére a járási görbéket mindenkor

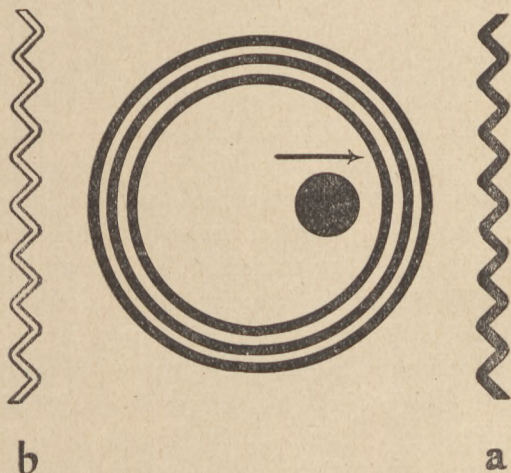
és ismételten meg kellett határoznunk. Ily módon a torziós ingák egész sorozatának járási görbéje áll rendelkezésünkre, amelyek kivétel nélkül mind a fenti ábrákon feltüntetett típusos alakot mutatják. Különösen ki kell emelnem, hogy összes eszközeink



5. ábra. Újabb meghatározott járási görbék.

eredeti járási görbéje, vagyis ütközők és szabályozófelületek nélkül, közvetlenül úgy, ahogy a nyers műszert a mechanikus elkészítette, szimmetrikus és az abszcisszák tengelyét a középső osztályzat közelében metszi. Természetes következménye ez annak, hogy Eötvös nyomdokain haladva kiváló gondot fordítottunk arra, hogy

eszközeink minden tekintetben lehetőleg szimmetrikusan legyenek felépítve. Talán nem érdektelen felemlítenem, hogy, amint azt a torziós ingák zavarait tárgyaló 1915. évi alap értekezésemben a 10. ábrán feltüntettem, teljesen aszimmetrikus, az abszcissza-tengelyt nem metsző járási görbéket csakis az ütközőkkel felszerelt, nagyjárású *III* eszköznél találtunk, amely éppen ezért a szabadban való mérésekben majdnem hasznavehetetlennek bizonyult. Ennek a rossz eszköznek megbízhatatlansága indította az 1910-es évek elején végzett vizsgálataimra, amelyekkel többek között kimutattam, hogy e *III* műszerben alkalmazott helytelen alakú ütközők idézték elő az aszimmetrikus járási görbét. A rossz ütközőket eltávolítva ugyanis ennek az eszköznek görbéje is ugyancsak szimmetrikussá vált. Mindezek alapján megállapíthatjuk tehát, hogy a megvizsgált kb. 250 torziós inga közül egyetlenegy



6. ábra. A lelógó cső egyoldalú melegítése.

sem volt olyan, amelynek járási görbéje nem a típusos alakú, hanem aszimmetrikus, avagy ellentétes irányú lett volna.

Végül a járási jelenség helyes megismerése szempontjából ugyancsak fontosak azon régi kísérleteim, amelyek szerint az eszköznek egyoldalú melegítése annak belsejében már nem a melegített oldalnak megfelelő, hanem attól független hatást vált ki. A járás tehát ugyanaz, függetlenül attól, hogy a melegítés melyik oldalon történik. Éppen ezért a *III* eszközzel a következő új kísérleteket végeztem. A lelógó cső mellett a torziós rúddal párhuzamosan nagy lapos elektromos fűtőtestet helyeztünk el akként, hogy annak közepe a lógó fémhengerrel egy magasságban legyen. A torziós rudat kitérített helyzetbe hozva, az egész brutális melegítéskor előálló

nagy járást meghatároztuk. Ezután a fűtőtestet a lelógó cső másik oldalán, attól ugyanazon 5 cm-es távolságban helyeztük el s a járást újból megállapítottuk. A 6. ábrán a hármass falú lelógó cső és benne a lógó hengeres súly keresztmetszetét látjuk, az *a* és *b*-vel megjelölt zezzugosvonalak pedig a fűtőtest két helyzetét jelzik. Két-két kísérletet végezve, az első esetben nagyobb áramintenzitással melegítve, a fűtőtest *a* helyzetében $+55.2$, *b* helyzetében pedig $+64.3$ volt a járás ; a második esetben kisebb intenzitású árammal az *a* helyzetben $+36.9$, a *b* helyzetben pedig $+44.9$. A *b* helyzetben a járás valamivel nagyobb, mint az *a*-ban. Ez esetben ugyanis a melegítő hatás is valamivel nagyobb, mert a fűtőtest a kettős gravitációs eszköz szélesebb középső szekrénye alá kerül, ami a felmelegített levegő szabad, felfelé való áramlását akadályozza. E körülmény figyelembevételével megállapíthatjuk tehát, hogy a két esetben a járás nemcsak ugyanolyan irányú, de kb. egyenlő nagyságú is, ami fenti állításunkat igazolja. Továbbá a járás a cső közepétől kifelé, a kitérített lógósúlyhoz közelebb fekvő csőfal felé irányul, amint azt a rajzban kis nyíllal feltüntettem.

Általában véve különösen hangsúlyozva ki kell emelnem, hogy a torziós rúd kitérített helyzetében *melegedés esetén a rúd mindenkor még jobban kifelé, a szekrény fala felé tér ki*. Ezt a fontos alapjelenséget ezret meghaladó észlelési eredményünk igazolja. Forgalomba hozott eszközeink megbízhatóvá tételekor ugyanis a járási görbéket kellett ismételtlen meghatároznunk s így nagyon sok járás megfigyelést kellett végeznünk. Lehűléskor a járás ellentett azzal, amelyet melegedéskor kapunk.

Az előzőkben részletezett tapasztalati tények, amelyeket különböző melegítési módszerekkel, különböző típusú torziós ingákon és különböző torziós rudakkal végzett kísérleteim egybehangzóan igazoltak, alkalmasak arra, hogy megismerjük azokat az eszköz belsejében lejátszódó folyamatokat, amelyek a járást előidézik, s hogy ez alapon e jelenségnek helyes magyarázatát megadhassuk. E kísérleti tények ugyanis közvetlenül igazolják régi felfogásom helyességét, amely szerint a gyors hőmérsékletváltozáskor az eszköz belsejében légáramlások jönnek létre és a nagy járást ezek okozzák. Mielőtt azonban ezt az elméletet részletezném, röviden foglalkoznom kell egy másik, ugyanezen jelenségre vonatkozó teóriával.

Mult év november 17-én ugyanis RYBÁR ISTVÁN tagtárs úr Akadémiánkban «Az Eötvös-féle torziós inga zavarairól» előadást tartott,¹ s e jelenséget egy új, szerinte általános érvényű elmélettel magyarázta, amely a következő feltevésből indult ki. Az igen vékony torziós drót hőszigetelőnek tekinthető, s így az eszköz melegekedéskor az azon függő torziós rúd és lelógó súly alacsonyabb hőmérsékletű marad, mint az eszköz teljesen fémből készült háza. E hőmérsékletkülönbségnek megfelelően, amint azt a kinetikus gázelmélet alapján szépen és rendszeresen kifejtette, a levegő molekulái a rúdra nyomást gyakorolnak, amely a hőmérsékleti gradienssel arányos, de ellentett irányú. A torziós rúd középső, a szekrénnyel párhuzamos állásában e nyomások hatásukban egymást lerontják; ha azonban a rúd kitér, akkor arra megfelelő forgató nyomatékot gyakorolnak, amely annál nagyobb, mennél nagyobb maga a rúd kitérési szöglete, az α . A lelógó súlyra hasonló jellegű hatások jönnek létre. Lehűléskor pedig az ellentett irányú hőmérsékleti gradiensnek megfelelően maga a jelenség is ellentett. Szóval ezen elmélet szerint a járást a lengő szerkezet és az eszköz házának belső fala közötti hőmérsékleti különbség okozza, és pedig horizontális síkok mentén fellépő hatásaival.

Az e teóriából vonható következtetések azonban homlok-egyenest ellenkeznek mindazon alapvető kísérleti tényekkel, amelyek helyességét az előzőkben ismertetett eredmények kétséghatározatlanul igazolták. Így az 1., 2. és 3. kísérletben mind a három esetben a járás kb. ugyanaz. Ezzel szemben az új elmélet szerint az 1. esetben, vagyis a torziós rúd lényegesen kitérített állásában nagy járást kell kapnunk. A 2. esetben azonban, amikor az eltolt torziós rúd az eszköz szekrényének oldalfalaival párhuzamosan áll, amikor tehát $\alpha=0$, a rúdra gyakorolt nyomások hatásukban egymást lerontják, s így az elmélet szerint a járásnak is kb. zérusnak kellene lennie. Végül a 3. esetben az eszköz dűtése folytán a lelógó súly jóval közelebb kerül a csőfalhoz, s így a reá gyakorolt nagyobb nyomásnak megfelelően jóval nagyobb járást kellene kapnunk.

¹ Időközben megjelent: Matematikai és Természettudományi Értesítő. 48. kötet 147—184. oldal. Budapest, 1932.

Ugyancsak homlokegyenest ellenkezik az új elmélettel a 4., 5. és 6. kísérlet eredménye, ami tulajdonképpen közvetve az 1., 2. és 3. kísérlet helyességét igazolja. Éppen ezért felesleges, hogy az ellentmondásokat újból részletezzem, csupán egy körülményt akarok mégis kiemelni. Az 5. esetben, amikor a torziós rúd középső helyzetéből párhuzamosan el van tolva, ugyanakkora, de ellentett előjelű, illetve irányú a járás, mint a 4. esetben, vagyis a rúd kitérített helyzetében. Az új elmélet szerint pedig a járásnak ismét kb. zérusnak kellene lennie. Mindezek alapján megállapíthatjuk tehát, hogy *a rúd eltolási és eszköz dűtési kísérletek eredményei az új teóriával ellenkeznek.*

Félreértések elkerülése végett szükségesnek tartom külön kiemelni, hogy az eszközszekevény oldalfalaival párhuzamosan álló, eltolt torziós rúd esetén a járás az új elmélet szerint csak akkor volna pontosan zérus, ha a rúd végig egyforma keresztmetszetű. Ugyanis az eltoláskor a széles lapos súlynál az oldalfalaktól való távolságok viszonya más, mint a rúd másik keskeny végén. Az előálló különböző hőmérsékleti gradienseknek megfelelően tehát egymástól eltérő nyomások hatnak a két rúdvégre, amelyek nem rontják le teljesen egymást. Éppen ezért *az új elmélettel ugyancsak nem egyeztethető össze az a tapasztalati tény, hogy a rúd eltolási kísérlet eredménye a végig egyforma és a lapos súlyú torziós rúdnál ugyanaz.*

Az új elmélettel ugyancsak ellentétben van továbbá a járási görbe típusos alakja is. A különböző kísérletek eredményeit feltüntető 3. és 5. ábra szerint e görbe a középtől kiindulva eleintén meredeken emelkedik, majd az emelkedés csökken és végül a széleken a görbe megfordul. A torziós rúd kitérítését fokozva, annak végei és a lelógó súly egyre közelebb jut az eszköz falához, s így az új elmélet szerint a hőmérsékleti gradiens, illetve az előálló nyomás s ezzel együtt a járás egyre nagyobb lesz. A járási görbének tehát a széleken egyre meredekebbnek kellene lennie és elméletileg ez emelkedésnek majdnem asszimptotikusan kellene az eszköz belső falát jelző ordinátába átmennie. A valóság teljesen ellenkező, hiszen a széleken az emelkedés csökken, sőt a görbe leesik.

A lelógó cső egyoldalú melegítésekor nyert kísérleti eredmény ugyancsak ellentmond az új elméletnek. Amint azt a 6. ábrával kap-

esolatban részleteztem, a csövet a lelógó súly magasságában nagy elektromos fűtőtesttel melegítve a járás ugyanazon irányú és nagyságú, függetlenül attól, hogy a melegítés melyik oldalon történik. Ezen brutális és gyors melegítéskor feltétlenül bizonyos, hogy az eszköz belsejében is a csőfal a fűtőtest oldalán melegebb, mint szemközt. A fűtőtest áthelyezésekor tehát tulajdonképpen az előzővel ellentett irányú és mindenesetre lényegesen eltérő járást kellene kapnunk. A valóságban pedig a járás közel ugyanaz, sőt a közvetlen kísérleti adatok alapján még valamivel kisebb abban az esetben, amikor a kitérített lógó súly közelebb van a fűtőtesthez, illetve a melegebb csőfalhoz! Különösen ki kell emelnem még, hogy ez utóbbi esetben, amikor a kisebb távolság miatt a melegítés hatásának mindenesetre nagyobbak kellene lennie, a kitérített lógó súly még jobban kifelé, a melegebb csőfal felé mozdul el, a torziós rúd ebben az irányban tér ki a kísérletek szerint 55·2 illetve 36·9 osztályrésszel. Szóval a valóságban a melegebb csőfal látszólag magához vonja a lógó súlyt, míg az új elmélet szerint taszítania kellene. Szóval *a lógó súly tényleges elmozdulásának iránya ellentett az elmélet szerintivel.*

Végül különösen ki kell emelnem azt az általános érvényű tényt, azt az alapjelenséget, amely szerint *a járás iránya a valóságban ellentett azzal, mint amilyen irányúnak az új elmélet szerint lennie kellene.* Amint ugyanis azt az előzőkben részleteztem, ezret meghaladó észlelési eredményünk tanúsága szerint, melegedés esetén a kitérített torziós rúd mindenkor még jobban kifelé, a szekrény fala felé tér ki. Szóval hasonlóan, mint azt már a lógó súly esetében előbb említettem, az eszköz melegebb fala látszólag magához vonja a kitérített torziós rudat. Az új elmélet szerint pedig a kitérítés oldalán kisebb lévén a szekrényfaltól való távolság, nagyobb a hőmérsékleti gradiens s ezzel együtt nagyobb a rúdra gyakorolt nyomás, mint az ellenkező oldalon, tehát melegedéskor a torziós rúdnak *befelé* kellene elmozdulnia. Ezzel szemben a tényleges elmozdulás mindig *kifelé* történik. Természetesen az elmondottak csak olyan torziós ingákra vonatkoznak, amelyek belsejében még semmiféle ütközők avagy más felületek, illetve zavaró egyenetlenségek nincsenek, amelyek az eredeti jelenséget meg-

változtatják.¹ Kellően alkalmazott felületekkel ugyanis, amint azt már említettem, a járást teljesen megfordíthatjuk s elérhetjük, hogy a torziós rúd ugyanazon állásban az eredeti pozitív járás helyett negatívot kapunk.

A fentiekből közvetlenül láthatjuk tehát, hogy az az elmélet, amelyet RYBÁR ISTVÁN tagtárs úr a járás jelenségére vonatkozólag felállított, a kísérleti eredmények egész sorozatával homlokegyenest ellenkezik. Az ellenmondást ugyanis nyolc ilyen lényeges jelenségről mutattuk ki. Sőt maga az alapjelenség is teljesen ellentett azzal, mint aminek elméletileg lennie kellene. Szigorú tárgyilagos-sággal megállapíthatjuk tehát, hogy ez az *új elmélet nem alkalmas a kísérleti jelenségek magyarázására*. Helytelenek az abból vonható

¹ A 37 367 számú Eötvös-RYBÁR automatikus torziós inga, amelyet időközben megismerhettem, lényegében ugyancsak igazolja az előzőekben részletesen ismertetett kísérleti tényeket. Ezen ingánál azonban bizonyos módosító körülmények lépnek fel. Így az eszköz legbelső szekrényének fenekén lépcsőszerű kiemelkedés és a torziós rúdon is több beszögellő egyenetlenség van, ami a légáramlások szabályos lefutását módosítja. Ezenkívül a regisztráló berendezés szerkezeti megoldása miatt, úgy a külső valamint a középső vastagfalú fémszekrény alul kb. 7 cm átmérőjű kör területen át van törve és e nyílások csupán üveglapokkal vannak elzárva. Éppen ezért ez az eszköz a hőmérséklet emelkedésekor egész sajátzerűen, belülről és a közepén melegszik. Ezt az egyoldalú melegedést kell elsősorban ellensúlyozniok a légkorlátoknak, amelyek ennél az eszköznél éppen ezért nem szimmetrikusan a torziós rudak mindkét oldalán, hanem csakis a kevésbé védett belső oldalon vannak elhelyezve. Ezen aszimmetrikus védelemnek közvetlen következménye, hogy az eszköz eredeti, vagyis légkorlátok nélküli mindkét járási görbéje teljesen aszimmetrikus: a görbék nem metszik az abszcisszák tengelyét, a normális görbének csupán az egyik oldalon lévő szélső, illetve külső része van meg. Ebből, egybehangzóan a fentiekben részletezett kísérleti eredményekkel, természetesen az következik, hogy a kitérített torziós rúd melegedésekor az egyik oldalon kifelé, a másikon pedig befelé tér ki. Azonban alkalmas kísérleti berendezéssel ezen eszköznek a közepén és belülről kifelé való melegedését megakadályozva, járási görbéje hasonló a mi típusos görbéinkhez, a görbe nem aszimmetrikus, az abszcisszák tengelyét metszi s ennek megfelelően melegedésekor a kitérített torziós rúd, a légáramlásos elméletnek megfelelően mind a két oldalon kifelé megy.

következtetések, mert nem helytálló és a valósággal ellenkezik az az alapfeltevés, amiből az egész teória kiindult. Bár első pillanatra lehetségesnek látszik az új elmélet szerint feltételezett hatás, de még ha ezt elfogadnók, akkor is az a valóságban mindenesetre annyira elenyészően csekély, hogy a járást tulajdonképpen előidéző légáramlások hatása mellett észrevehetetlen és teljesen elhanyagolható. A rendszeresen és kifogástalanul levezetett formuláknak tehát csupán matematikai és elméleti értékük lehet, de a járás fizikai jelenségében tényleges szerepük nincsen. Közvetlenül világos tehát, hogy a járást csökkentő felületek, az úgynevezett «légkorlátok», ha azok valóban ezen helytelen elmélet alapján készültek, ugyancsak hasznavehetetlenek. Minthogy ugyanis a kitérített torziós rúd az elmélet szerint melegedéskor befelé megy, oly légkorlátokat kell alkalmaznunk, amelyek e hatást lerontják és a rudat kifelé terelik. A valóságban azonban a rúd már eredetileg is kifelé megy, s így e légkorlát csak megnöveli a járást s az eszközt még jobban elrontja.¹ E légkorlátok tehát csakis akkor használhatnak tényleg, ha empirikusan megszerkesztve, a járást okozó légáramlásokat kellően irányítják.

Amint azt régi, 1915. évi értekezésemben már kimutattam, *a járást a gyors hőmérsékletváltozáskor az eszköz belsejében létrejövő légáramlások okozzák.* E megállapítással az előzőekben tárgyalt összes kísérleti tények mind összhangban vannak, sőt ezekből már a légáramlás lefutására és térbeli eloszlására hasznos következtetéseket vonhatunk. A torziós rúdnek a lelógó cső torkolata felett lebegő vége leginkább ki van téve a légáramlás hatásának, amiért is közvetlenül világos, hogy a járás irányát és nagyságát főleg és majdnem kizárólag e szabad rúdvég helyzete határozza meg.

¹ Időközben a nagytípusú II. 1. eszközünkbe a lapos súly oldalán egy 5×7 mm keresztmetszetű és 80 mm hosszú, szóval tekintélyes RYBÁR-féle légkorlátot helyeztünk el egész közel a torziós rúdhoz. Ennek dacára a végzett melegítési kísérletek szerint a hatás nagyon csekély, illetve gyakorlatilag lényegtelen, amint az az előzőekben részletezett kísérleteim és légáramlásos elméletem alapján előre várható is volt. Ki kell azonban emelnem, hogy a mutatkozó kis hatás is ellentett irányú azzal, mint amilyenek a RYBÁR-féle elmélet szerint lennie kellene. A légkorlát az eszköz járását megnöveli.

A légáramlás irányára merőleges keresztmetszetben az áramlás sebessége pontról pontra változik, s így a szabad rúd vég két oldalát általában különböző sebességű légáramlás éri, s így azt megfelelően kitéríti. Csupán a rúd középső helyzetében egyenlő az áramlás sebessége a rúd két oldalán, amiért is a járás ez esetben zérus.

Melegedéskor a lelógó csőben melegszik fel a levegő leghamarább s ezzel megindul a légáramlás. Szóval *a járást az eszköz belsejében a különböző magasságokban, tehát vertikális irányokban fellépő hőmérsékletkülönbségek okozzák.* Hogy erre egész közvetlen bizonyítékot nyerjek, elektromos hőmérsékletméréseket végeztem az eszköz belsejében. E célra vörösréz és lágyvasdrótot használva, az egyik forrasztást a lelógó cső aljában helyeztük el, míg a másik forrasztást állandó hőmérsékletű vízfürdőbe mártottuk. A bekapcsolt galvanometer segítségével ily módon a belső hőmérsékleteket közvetlenül lemérhettük. Természetesen előzőleg a galvanometer 1 osztályrésznyi kitérésének megfelelő hőmérsékletváltozást kísérletileg meg kellett határoznunk. Ezenkívül egy másik ilyen áramkört is állítottunk össze, amelynek mérőforrasztása a torziós cső felső végébe nyúlt bele. Ily módon a hőmérsékletváltozást a lelógó cső aljában és a torziós cső tetejében egyidejűleg, de külön-külön megmérhettük. Ezután a mérő forrasztásokat az eszköz belsejében különböző más pontokon helyezve el, a melegítéskor előálló hőmérsékletváltozásokat ugyancsak megmérhettük. Végül az eszközön, annak külső felületével fémes összeköttetésbe hozott rendes hőmérőket helyeztünk el, hogy ily módon a fémes vezetés folytán előálló melegedést tanulmányozhassuk. A kísérleteket a 37 379 számú kis és a B jelzésű nagy típusú eszközön végeztük. A melegítés az eszköz alatt elhelyezett nagy fűtőtestekkel történt, s így a meleg elsősorban a lelógó csöveket érte. Készakarva lehetőleg nagy áramintenzitással egész brutális melegítést végeztünk, úgyhogy a lelógó cső aljában a belső hőmérséklet egy óra alatt 6—10 C fokkal emelkedett. A végzett kísérletek szerint a torziós cső felső végében a belső hőmérséklet légáramlás útján emelkedik fel, természetesen lassabban és kisebb mértékben. Ebben a melegedésben azonban az eszközház fémes vezetésének úgyszólván semmi szerepe sincsen. Úgy ezen, valamint egyéb más kísérleteinkkel a légáramlások

eloszlását az eszköz belsejében teljes részletességgel kitanulmányoztuk.

Ezek az ismeretek képesítettek arra, hogy ütközőinkkel és szabályzófelületeinkkel a légáramlásokat kellően irányíthattuk, a járást lényegesen csökkenthettük, s eszközeinket megjavítva a szabadban való mérések legkedvezőtlenebb viszonyai között is teljesen megbízhatóvá tehattük. Hiszen az egyes felületek hatását pontosan kiismerve, tudatosan elérhetjük azt, hogy a torziós rúd ugyanazon állásában az eredeti nagy pozitív járást negatívra változtathatjuk. Ez alapon felületeinket mindenkor kellő módon alkalmazhattuk s ezzel szerte a nagyvilágban használt eszközeink kifogástalan jó hírnevét biztosíthattuk, amit a jövőben még fokozottabb mértékben fenn kell tartanunk. Éppen ezért a tekintetes Akadémia kegyes elnézését kell kérnem, hogy az erre vonatkozó részleteket és általában a járást előidéző légáramlások elméletét nem közölhetem. A magyar érdekek külföldön való érvényesülését szem előtt tartva ezt nem lehet, sőt egyenesen nem szabad megtennem. *Mindezeket az itt megőrzés végett átnyújtott zárt levélbe foglaltam. Ezzel egyúttal prioritásomat kívánom biztosítani az Eötvös íngák járásának légáramlások elméletére és az ez alapon a járás megszüntetése céljából alkalmazott különböző felületeimre vonatkozólag.*

RYBÁR ISTVÁN tagtárs úr a légáramlások elméletét alapijában helytelennek tartja, szerinte, amint azt előadásában kiemelte, a fizika elementáris ismereteivel ellenkezik, hogy a légáramlás irányára merőlegesen a torziós rudat kitéríti. Szóval és írásban leszögezte továbbá, hogy az ő légkorlátjai lényegükben teljesen mások, mint az én szabályozófelületeim. Elmélete szerint a járást a horizontális irányokban fellépő hőmérsékletkülönbségek okozzák, szerintem pedig a vertikális hőmérsékletkülönbségek idézik elő. A két elmélet, bár ugyanazon tárgyra, a járás jelenségére vonatkozik, egymástól teljesen különbözik és éppen úgy lényegükben különböznek az ezek alapján szerkesztett javító felületek is. Külön külön végzett vizsgálataink eredményei tehát teljesen szétágaztak, helyességüket azonban a kísérleti tényekkel való megegyezés dönti el. *Magát azt a kísérleti eredményt pedig, hogy az eszköz belsejében elhelyezett megfelelő alakú felületekkel torziós íngáinkat megjavíthatjuk,*

már közel két évtizeddel ezelőtti nyomtatásban megjelent értekezésemben közöltem.

Hálás köszönettel tartozom az Eötvös Intézetben buzgólkodó munkatársaimnak és közöttük elsősorban RENNER JÁNOS és SZECSŐDY MIKLÓS geofizikusaimnak, akik kiváló hozzáértéssel, lan-
kadatlan odaadással és gondos körütekintéssel végezték hossza-
dalmas és fáradságos kísérleteinket.

(A M. T. Akadémia III. osztályának 1931. április 20-án tartott üléséből.)

DIE VERLÄSSLICHKEIT DER EÖTVÖSSCHEN DREHWAGEN.

Von DESIDER PEKÁR, k. Mitglied der Akademie.

Die Verlässlichkeit der Drehwagen ist die wichtigste, gleichzeitig aber auch die schwerste Aufgabe, welche wir bei der Konstruktion derselben vor Augen halten müssen. Da die zu beobachtenden Veränderungen der Schwerkraft sehr klein sind, müssen wir unsere Messungen mit einer Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-9}$ CGS d. h. von 1 *Eötvös Einheit* durchführen. Grosse Umsicht und Erfahrungen aller Art sind erforderlich dazu, dass die Instrumente bei dieser grossen Empfindlichkeit auch unter freiem Himmel verlässliche Daten liefern.

Ich selbst beschäftige mich schon seit zwei Jahrzehnten mit der Frage der Verlässlichkeit der Drehwagen. Die Ergebnisse meiner, mehrere Jahre dauernden experimentellen Studien wurden der Ungarischen Akademie der Wissenschaften von meinem Professor, Baron ROLAND EÖTVÖS in 1915 vorgelegt. Zu meinen diesbezüglichen Untersuchungen gab mir eigentlich folgende, überraschende Erfahrung Anlass. Bei unseren Feldmessungen konnten wir es wiederholt wahrnehmen, dass solche Drehwagen, welche vom Mechaniker mit der gleichen Sorgfalt und Genauigkeit hergestellt wurden und die sich im Laboratorium als gleich gut erwiesen, im Freien sich voneinander sehr abweichend verhalten haben und zwar bekundeten sie gegen die äusseren störenden Wirkungen eine verschiedene Empfindlichkeit. Die Werte der Ablesungen zeigten nämlich bei der Wiederholung der Beobachtungen bei einigen Drehwagen derart grosse Unterschiede, dass sich jene Instrumente als vollkommen unverlässlich, als sozusagen

unbrauchbar erwiesen hatten. Der kritische Vergleich der Beobachtungsbedingungen hat uns bald zu dem Resultat geführt, dass diese abweichenden Ablesungswerte, oder wie wir es nannten: «der Gang des Instrumentes» hauptsächlich von der raschen Änderung der Temperatur verursacht werden und dass wir besonders bei der Umkehr des Temperaturganges bedeutende Abweichungen beobachten können.

Um die Frage eingehend studieren zu können, habe ich vor allem *ein geeignetes Beobachtungsverfahren zur vergleichenden Bestimmung des Ganges der Drehwagen und damit zur Ermittlung der Gangkurve des Instrumentes* ausgearbeitet. Mit meinen langdauernden Versuchen im Laboratorium habe ich zunächst erwiesen, dass der grosse Gang nicht auf den Torsionsdraht zurückzuführen sei, er ist vielmehr Einflüssen auf das Gehänge und zwar fast ausschliesslich auf das über der Einmündung des unteren Rohres schwebende freie Balkenende zuzuschreiben. Die Einwirkungen auf die anderen Teile des Balkens, auf das flache Gewicht und auf das herunterhängende Metallzylinder sind neben dem vorher Erwähnten vollkommen belanglos. Durch die Anwendung von entsprechend geformten Flächen, welche in der Einmündung des Rohres als Puffer gleichzeitig auch zur Verhinderung des Anklebens dienten, konnte ich den Gang wesentlich vermindern und dadurch die Verlässlichkeit unserer Drehwagen beträchtlich steigern. Ich habe es nämlich bewiesen, dass in unseren Instrumenten bei raschen Veränderungen der Temperatur Luftströmungen entstehen, welche wir durch Einsetzen von zweckmässig geformten Flächen in das Innere des Instrumentes entsprechend lenken und damit die Drehwage verbessern können. Die aus meinen Versuchen folgenden Feststellungen, welche ich in meiner Abhandlung von 1915 mitteilte, haben *das Wesen der Erscheinung des Ganges und das Prinzip der Verbesserung des Instrumentes vollständig geklärt* und den Weg gezeigt, auf dem wir weiterschreitend noch bessere Ergebnisse erzielen können.

Bei der Fortsetzung meiner Versuche haben wir später in dem innersten Gehäuse der Drehwage in der Nähe der Rohrmündung auf beiden Seiten des Drehbalkens sogenannte «Richtflächen» eingesetzt, welche wir zweckentsprechend aus ebenen und gekrümmten

Flächenelementen zusammensetzten. Durch entsprechende Anwendung von geeigneten Richtflächen können wir den Gang des Instrumentes und die Gangkurve nach Belieben beeinflussen. Auf diese Weise können wir es erreichen, dass die Kurve des Instrumentes entsprechend flach und damit unsere Drehwage raschen Temperaturänderungen gegenüber praktisch unempfindlich werden soll.

Um die richtige Theorie des Ganges geben zu können, habe ich neuerdings mit einer vollkommeneren Versuchseinrichtung und auch bei Verwendung unserer neueren Instrumente verschiedene neue Versuchsreihen gemacht, welche die Richtigkeit meiner früheren Feststellungen bestätigten.

Inzwischen hat Herr STEFAN RYBÁR, Mitglied der Akademie, zur Erklärung der Gangerscheinung eine neue, seiner Auffassung nach allgemeingültige Theorie mathematisch ausführlich entwickelt. Danach werden die Verschiebungen des Drehbalkens bei der Erwärmung des Instrumentes durch jenen Druck erklärt, welcher infolge der Temperaturdifferenz zwischen dem Balken und dem Gehäuse entsteht. Sämtliche, von mir festgestellte experimentelle Tatsachen widersprechen durchwegs den Folgerungen, welche man aus der neuen Theorie ziehen kann. Ich habe den Widerspruch in acht verschiedenen Fällen festgestellt. Es lässt sich besonders die typische Form der Gangkurve mit der Theorie nicht erklären und selbst die allgemeine Grunderscheinung, die Richtung des Ganges ist in jedem Falle der nach der RYBÁRSCHEN Hypothese folgenden entgegengesetzt. Mit strengster Sachlichkeit müssen wir also feststellen, dass *diese neue Theorie zur Erklärung der experimentellen Erscheinungen ungeeignet ist*. Nachdem die der ganzen Theorie zu Grunde gelegte Annahme nicht stichhaltig ist und der Wirklichkeit widerspricht, sind auch die Schlüsse, welche man daraus ziehen kann, unrichtig. Die systematisch und tadellos abgeleiteten Formeln können also bloss einen mathematischen und theoretischen Wert besitzen, in der Erklärung der physikalischen Erscheinung des Ganges haben sie aber tatsächlich keine Bedeutung. Es ist also klar, dass die sogenannten «Luftschranken», welche zur Verminderung des Ganges nach dieser unrichtigen Theorie gefertigt wurden, ebenfalls unbrauchbar sind. Sie können nur in dem

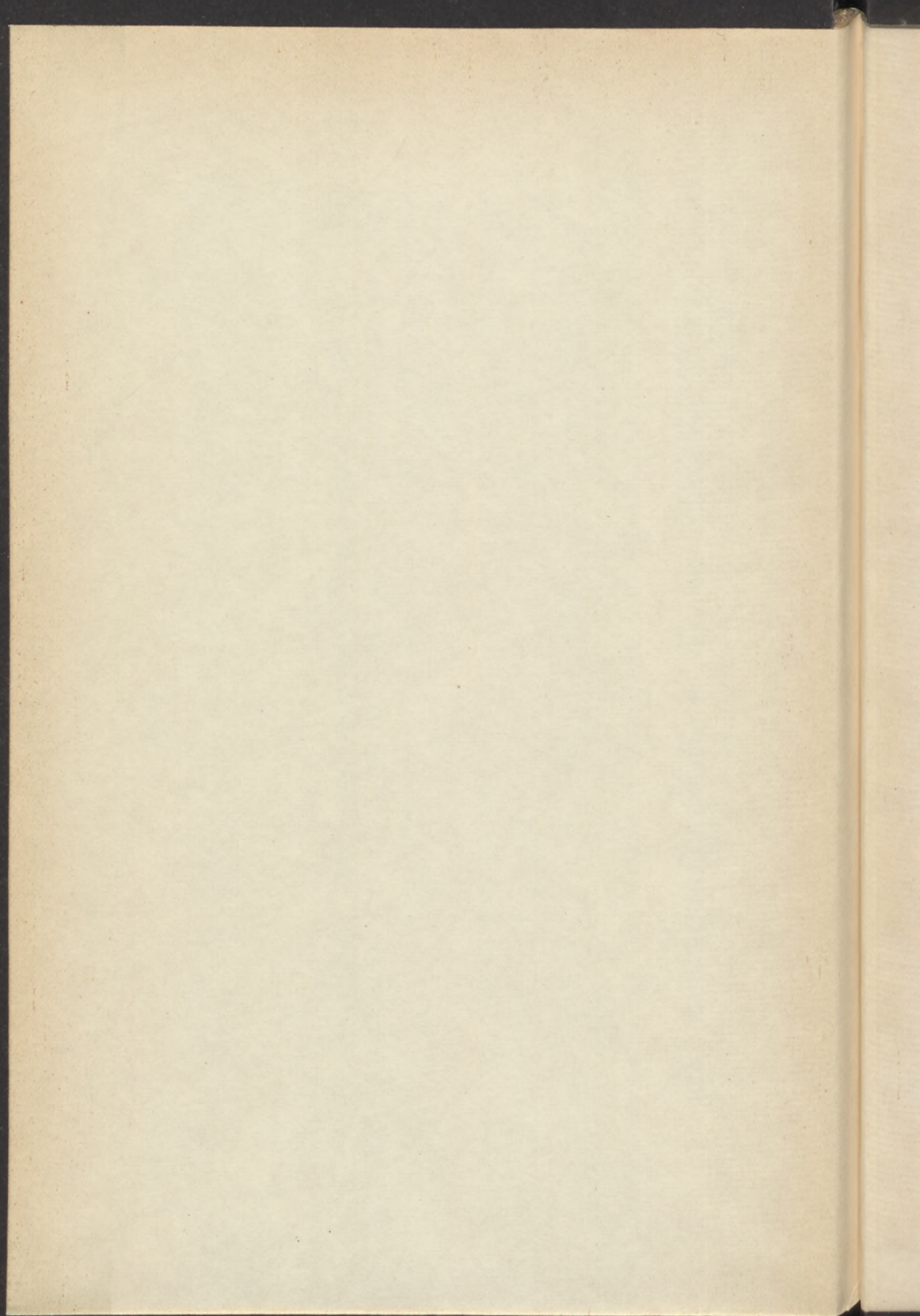
Fälle von Nutzen sein, wenn sie empirisch ausgebildet, die den Gang verursachenden Luftströmungen günstig zu leiten imstande sind.

Wie ich es in meiner grundlegenden Abhandlung schon vor beinahe zwei Jahrzehnten hervorgehoben habe, wird der Gang von den in dem Inneren des Instrumentes sich mit grosser Regelmässigkeit abspielenden Luftströmungen verursacht. Ebenfalls habe ich schon damals erwiesen, dass im Falle wir diese Luftströmungen mit entsprechenden Flächen günstig beeinflussen, können wir bei unseren Drehwagen vollkommene Verlässlichkeit erreichen. Zur Feststellung der Gesetzmässigkeiten der Luftströmungen haben wir neuerdings mehrere Versuchsreihen gemacht. Im Laufe dieser Versuche haben wir unter anderem auch die Verteilung der Temperatur in dem Inneren des sich erwärmenden oder abkühlenden Instrumentes auf elektrischem Wege bestimmt. Auf Grund all dieser Erfahrungen habe ich die Luftströmungstheorie des Instrumentganges ausarbeiten können.

(Aus der Sitzung der III. Klasse der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, vom 20. April 1931.)

r
e
-
t
t
-
n
-
r
s
n
n
s
n
i-

er



1973 JAN 22

