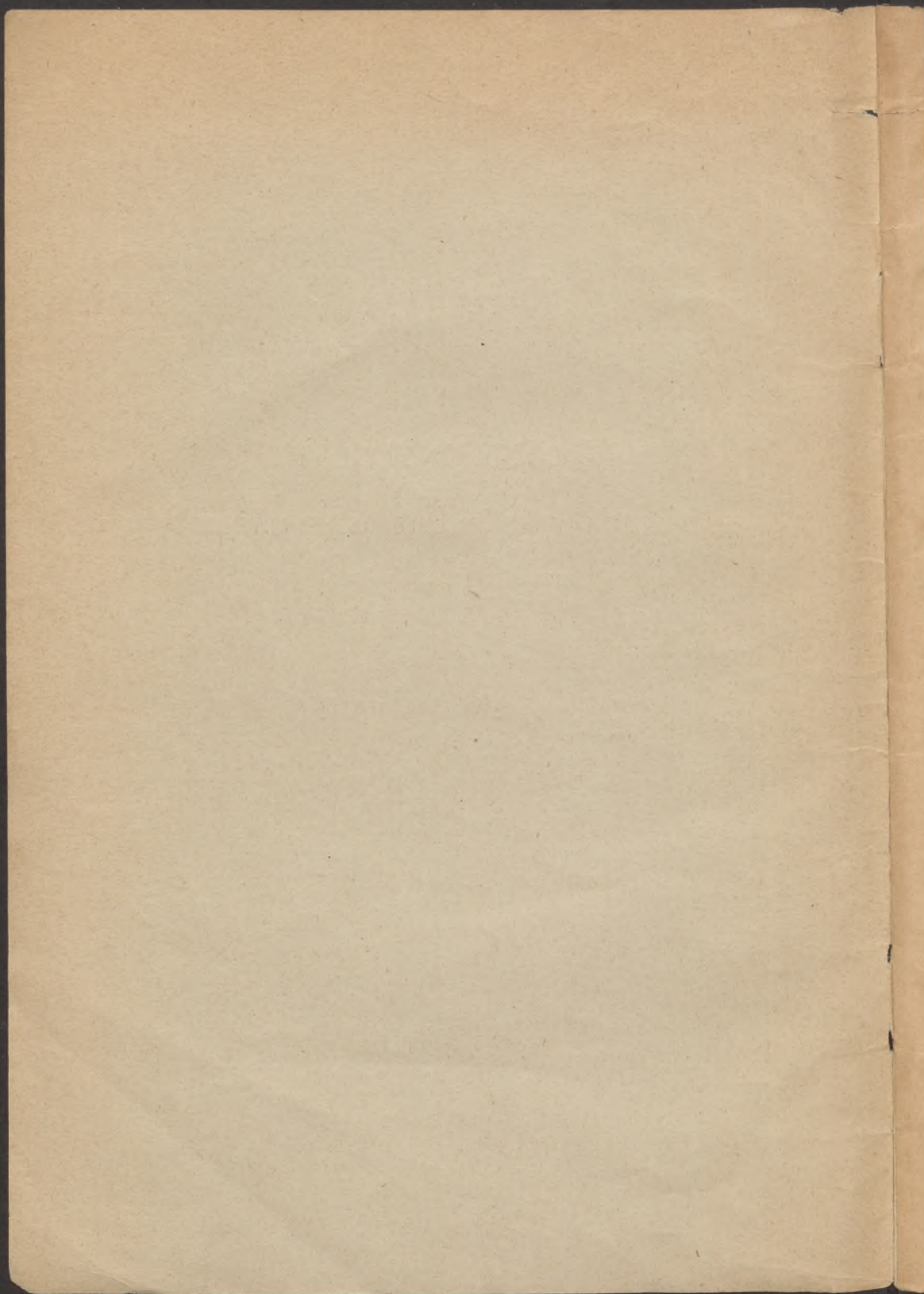


14019/5

KÜLÖNLENYOMAT
A
•MATEMATIKAI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉRTESÍTŐ•

1940. évi LIX. kötetéből



KÜLÖNLENYOMAT

a «Magyar Tudományos Akadémia
Matematikai és Természettudományi
Értesítője»

LIX. kötetéből. Budapest, 1940.

SONDERABDRUCK

aus «Mathematischer und Naturwissen-
schaftlicher Anzeiger der Ungarischen
Akademie der Wissenschaften»

Band LIX. Budapest, 1940.

A RÖNTGEN-SUGÁRZÁS ENERGIAJÁNAK MÉRÉSE.

CSÁSZÁR ELEMÉR I. tagtól.

V. RÉSZ.

E dolgozat célja annak a megállapítása, hogy mi módon lehetne a Röntgen-ergométer *érzékenységét fokozni*. Az erre vonatkozó alapelveket megállapíthatjuk, ha áttekintjük az ergométer működését. A készülék lényeges része egy hőelem, melynek sugárfelfogója a Röntgen-sugárzás hatására felmelegszik. Az előálló hőfokkülönbség miatt a hőelemben elektromos áram keletkezik. Minél nagyobb a hőmérsékletkülönbség, annál nagyobb az elektromos indítóerő és egyébként azonos körülmények között annál nagyobb az áram erőssége. Tehát az érzékenység fokozása végett arra kell törekedni, hogy egy bizonyos sugárzás beesésekor minél nagyobb legyen a hőfokkülönbség a sugárfelfogó és a nagytömegű (ú. n. hideg) fémrészek között. Ez úgy érhető el, hogy a *sugárfelfogó kúp hőkiadását a lehető legkisebbre csökkentjük*. A kúp saját hőjét először a környező *levegő hővezetése* és *hőszállítása* (konvekció) útján, másodszor a *hozzáforrasztott fémek hővezetése*, végül harmadszor *hősugárzás* útján veszíti. Az érzékenység fokozódik, ha e három hővesztési lehetőséget csökkentjük.

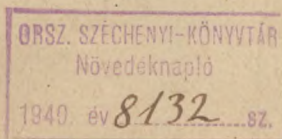
1. Légüres térben szobahőmérsékleten végzett mérések.

Az érzékenység fokozásának egyik módja az, hogy a sugárzás-mérő készüléket *légüres térbe tesszük*. Ezt az eljárást már többen követték. Így LEBEDEV,¹ JOHANSEN,² MOLL és BURGER³ s még

¹ LEBEDEV: Ann. d. Phys. 9, 209, 1907.

² JOHANSEN: U. o. 33, 517, 1910.

³ MOLL u. BURGER: Phil. Mag. 1, 618, 1925.



14.019 /



mások is. A szükséges légritkítást a következő megfontolások alapján állapítjuk meg.

Ismeretes, hogy a gázok hővezetőképessége széles határok között független a nyomástól.¹ Mégpedig a függetlenség mindaddig fennáll, míg az átlagos szabad úthossz elhanyagolható a gázt tartalmazó edény méreteihez képest. Ez azt jelenti, hogy a közönséges méretek között a légköri nyomástól kezdve néhány mm Hg-oszlop nyomásáig változatlan a hővezetési együttható.

Tehát a hővezetés csökkenése csak akkor következik be, ha a ritkítás elég magasfokú, vagyis, ha a nyomás elég kicsiny. Mégpedig a feltétel a következő: ha az átlagos szabad úthossz nagy az edény méreteihez képest, tehát a molekulák keresztülpülhetnek az edényen a nélkül, hogy egymással összeütköznenek, akkor a hővezetés a nyomással arányosan csökken, s vele együtt zérussá válik.

Pontosabban két nagy vízszintes lemez között, melyek közül a felsőnek hőmérséklete T_1 , az alsóé $T_2 < T_1$, a lemezekkel párhuzamos területegységen az időegység alatt keresztüljutó energiamennyiség²

$$E = \frac{3}{8} p \sqrt{\frac{3R}{MT}} (T_1 - T_2);$$

ebben az egyenletben p jelenti a gáz nyomását, R az egyetemes gázállandót, M egy mol gáz tömegét, T pedig egy átlagos hőmérsékletet T_1 és T_2 között. Látható a képletből, hogy az időegység alatt a területegységen keresztüljutó energia (a hővezetőképesség) egyenesen arányos a gáz nyomásával; tehát ha ez a ritkítás fokozásával zérus felé közeledik, akkor a hővezetőképesség is zérus felé tart.

A normális állapotú levegőben a szabad úthossz átlagos értéke

$$l = 96 \cdot 10^{-7} \text{ cm.}$$

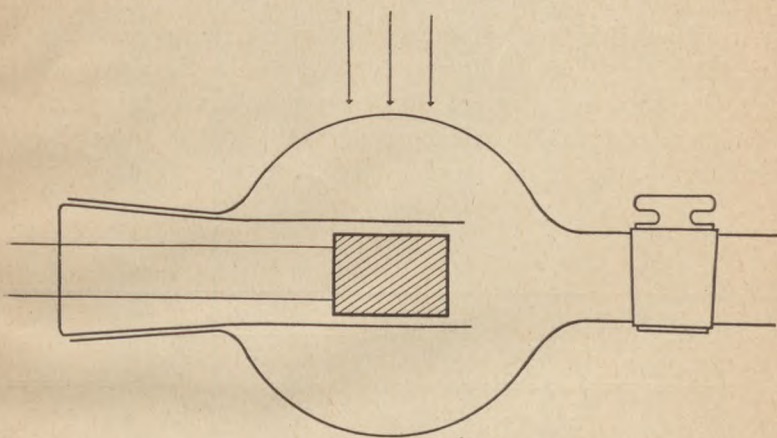
De ez fordítva arányos a sűrűséggel, tehát nagy ritkítás esetében cm, sőt méterrendű is lehet a szabad úthossz. Ilyen nagy ritkítást és kis nyomást elő lehet állítani a higanygőzös diffúziós légszi-

¹ GEIGER u. SCHEEL: HB. d. Phys. IX. 430.

² GEIGER u. SCHEEL: U. o. 440.

vattyúval, ha a higanygőzt pl. folyékony levegővel megfagyasztjuk. A kívánt feltételek teljesültek a kísérleti berendezésben.

Tájékozódásul megemlítjük, hogy LEBEDEW kísérleteiben a használt hőelemek érzékenysége egy légköri nyomástól kezdve kb. 5 mm-es nyomásig változatlan maradt. Majd hirtelen fokozódni kezdett, s kb. 0.01 mm-es nyomásnál olyan nagy lett, hogy további ritkítás alatt már alig növekedett. (Megjegyzendő, hogy ő sokkal kisebb tömegű hőelemeket használt, mint amilyen a Röntgen-



1. kép.

ergométerben van; ugyanis a hőelemek 0.025 mm átmérőjű platina- és konstantán-drótból készültek.)

Hogy a Röntgen-ergométer viselkedését légüres térben megfigyeljem, mindenekelőtt kis mérőeszközt készítettem. Az egész elfért kb. 3 cm átmérőjű és 5 cm hosszú fémhengerben. Szerkezete egyébként hasonló volt a régebbi készülékéhez.¹ A légritkítás végett a készüléket megfelelő üvegedénybe tettem. Mégpedig a szoba-hőmérsékleten végzett mérésekhez kétféle kísérleti berendezést használtam.

Az első edény keresztmetszete az 1. képen látható. Nagyobb, gömbölyded üvegedénybe balról széles csiszolat nyúlik be, mely

¹ CSÁSZÁR: Mat. és Termt. Ért. 52, 1, 1934.

bő üvegsőben folytatódik. Ebben helyeztem el a sugárfelfogót. A csiszolat fején keresztül kivezetett platinadrótokat a galvanométerhez kapcsoltam. A jobbról látható csappal elzárható üvegső egy Gaede-féle, acélból készült diffúziós szivattyúval állt összeköttetésben, de a szivattyú csiszolatán még a gázkifagyasztó edény is rajta volt, tehát a kiszívandó térbe higanygőz nem juthatott. A légritkítás fokát elektromos kisüléssel vizsgáltam meg; e végett külön fémelektrodok nyúltak az edény belsejébe. A légritkítás olyan nagyfokú volt, hogy elektromos kisülés egyáltalában nem lépett fel az edény belsejében (kisebb szikrainduktor használatakor), tehát a nyomás kisebb volt 10^{-4} Hg mm-nél.¹ Az üvegedény nagyobb fadobozban nyugodott, melyet vattával béleltem ki. A fadobozt pedig földelt fémburkolat vette körül a sugárfelfogókészülék elektrosztatikai védelme végett. A mérések eredményét az 1. táblázat tartalmazza.

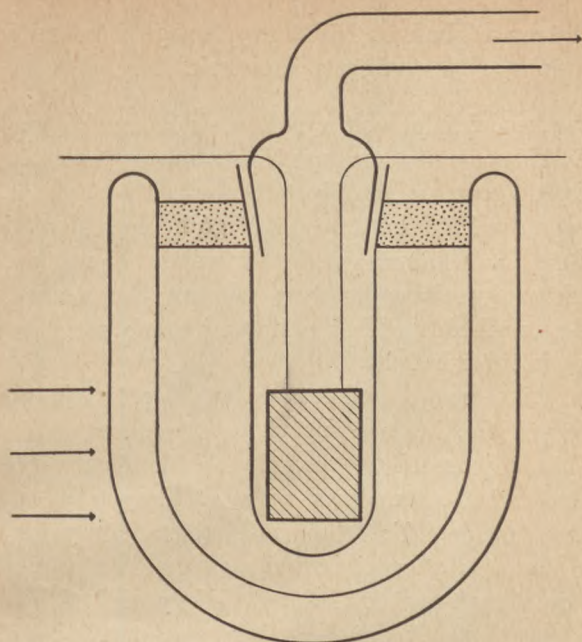
1. táblázat.

Kv	Ma	Szűrő mm-ben	Távolság cm-ben	Kitérés		Hányados
				levegőben	űrben	
80	4	1 Al	38	35	93	2·7
124	4	1 CuI + 0·5 Al	48	28	76	2·7

Amint látható, a levegő eltávolítása az üvegedényből nem növelte feltűnően az érzékenységet, hiszen a kitérés az eredetinek csak 2·7-szeresére növekedett.

A hőszigetelés javítása végett még DEWAR-féle edényt is használtam. A kísérleti berendezés a 2. képen látható. A sugárfelfogót nagyobb kémcső fenekére tettem, melynek csiszolatos dugójából üvegső vezetett a légszivattyúhoz. A kémcső parafalemezzel elzárt DEWAR-edényben foglalt helyet. A beeső Röntgensugárzás keresztüljárta a DEWAR-féle edény falát is. Ez azonban nem okozott semmiféle zavart, mert viszonylagos mérésről volt szó. Ennek

¹ STINZING: Zs. f. phys. Chem., 58, 70, 1923. (Geiger u. Scheel-HB. d. Phys. II. 402.)



2. kép.

a hőszigetelésnek nagy előnye volt az, hogy a galvanométer egyensúlyi helyzete feltűnően állandóan maradt. A mérések eredményét a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat.

Kv	Ma	Szűrő mm-ben	Távolság cm-ben	Kitérés		Hányados
				levegőben	űrben	
106	4	1 Al + Dew.	40	30	86	2.9

A két kitérés hányadosa valamivel nagyobb, mint az előbb. De az érzékenység nem növekedett feltűnően.

Ez a körülmény arra enged következtetni, hogy a sugárfelfogó kúp hőveszteségét első sorban nem a levegő hővezetése, hanem a hozzá csatlakozó tellurrúd és ezüstdrót hővezetése és esetleg a hősugárzás okozza.

2. Légüres térben a folyékony levegő hőmérsékletén végzett mérések.

A következő feladat volt annak az eldöntése, hogy a *sugárzási veszteség* csökkentése mekkora mértékben fokozza az érzékenységet. Már az első dolgozatomban felvetettem azt a gondolatot, hogy az érzékenység növelhető, ha a sugárfelfogó hőmérsékletét jelentősen csökkentjük, pl. alkalmas módon folyékony levegővel vesszük körül. Ekkor ugyanis ugyanolyan sugárzás beesésekor nagyobb hőmérséklet-emelkedésre lehet számítani, amely meg nagyobb hőelektromos indítóerőt kelt.

Matematikai megfontolással is megalapozhatjuk ezt az eljárást. Tegyük fel, hogy a sugárfelfogó minden ráeső sugárzást elnyel, tehát teljesen fekete testnek tekinthető; továbbá másféle hőveszteség, mint a sugárzás nincsen. Legyen a sugárfelfogó abszolút hőmérséklete T ; e hőmérsékleten a környezettel legyen hőegyensúlyban. Ha most az időegység alatt ráeső sugárzás energiája q -val megnövekszik, akkor a hőegyensúly beállása végett a hőmérsékletnek emelkednie kell; legyen az emelkedés dT . Ekkor fennáll ¹

$$q = s(T + dT)^4 - sT^4 = s \cdot 4T^3 \cdot dT.$$

E képletből látható, hogy ugyanaz a q hőmennyiség nagyobb dT hőmérsékletemelkedést okoz, ha T alacsony. Ugyanis legyen $T_0 < T$, ekkor

$$T^3 dT = T_0^3 dT_0,$$

tehát

$$\frac{dT_0}{dT} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^3.$$

Ha T a szobahőmérséklet, kb. 300 absz. fok és $T=100$ absz. fok, akkor

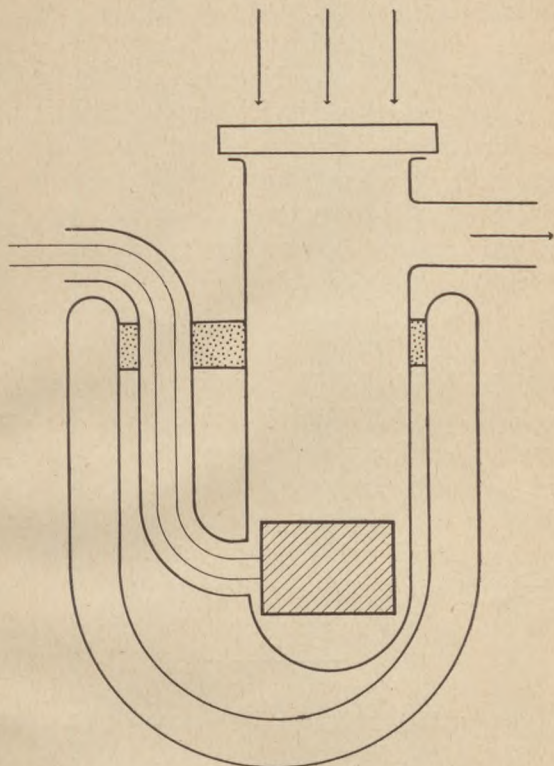
$$\left(\frac{T}{T_0}\right)^3 = \left(\frac{300}{100}\right)^3 \sim 27,$$

tehát

$$dT_0 \sim 27 \cdot dT.$$

¹ CSÁSZÁR: 1. c.

Amint látható, elméletileg óriási érzékenység-növekedés várható. Hogy ez a valóságban nem következik be, annak oka, hogy nemcsak sugárzási veszteség van. Ezt megerősítik MÜLLER¹ vizsgálatai is. Ő azt tapasztalta, hogy az általa használt hőelemek érzékenysége folyékony levegőben csak 2—4-szeresére emelkedett.



3. kép.

A kellő alacsony hőmérsékletet folyékony levegővel állítottam elő. A kísérleti berendezés hasonló volt az előbbihez, de annyiban eltért tőle, hogy a Röntgen-sugárzás nem járta át a folyékony levegőt, hanem felülről esett a sugárfelfogóra (3. kép). A sugárfelfogót tartalmazó üvegedény folyékony levegőbe merült; jobboldalon a

¹ MÜLLER: Die Naturwissenschaften, 19, 416, 1931.

légszivattyúval állt összeköttetésben, baloldali nyúlványában pedig a galvanométerhez vezető drótok foglaltak helyet.

A mérések úgy folytak le, hogy először a légszivattyúval előállítottam a nagyfokú légritkított teret, azután bocsátottam be a folyékony levegőt a DEWAR-féle edénybe. Mérés közben a légszivattyú állandóan működött, mert a légritkítás biztosítása végett nem zártam el csappal a kiszívandó teret. Valószínűleg ez is hozzájárult ahhoz, hogy a galvanométer állandó lassú járást mutatott, melyet azonban javításképpen figyelembe vettem. A 2. táblázatban közölt lámpaterheléssel, de 59 cm távolságból és 1·2 mm Al szűrővel a levegő kiszívása előtt szobahőmérsékleten 23, légüres térben, a folyékony levegő hőmérsékletén pedig 79 osztályrész kitérést kaptam (középértékben); a két kitérés hányadosa 3·5, tehát nem feltűnően nagyobb az előbbieknél. Ebből az következik, hogy a sugárzási veszteség nem igen jön számba a vezetési veszteségek mellett.

Úgy látszik, legjelentősebb a sugárfelfogó fémkúphoz csatlakozó *tellurid* és *ezüstdrót hővezetése miatt fellépő hőveszteség*. Tehát az érzékenység jelentékeny növelése végett ezt a hővezetést kell csökkenteni. Ez pedig csak úgy lehetséges, hogy ezeknek a fémalkatrészeknek egyes méreteit lényegesen kisebbsítjük. Ez különösen a tellur esetében ütközik nehézségekbe, melyeket azonban a további vizsgálatok során törekszünk legyőzni.

(A M. T. Akadémia III. osztályának 1938. január 16-án tartott üléséből.)

DIE ENERGIEMESSUNG DER RÖNTGENSTRAHLEN.

Von E. CSÁSZÁR, korr. Mitglied der Akademie.

V. TEIL.

Der Verfasser untersucht den Einfluss der Wärmeleitfähigkeit der Luft, der Wärmestrahlung und Wärmeleitfähigkeit der Metallbestandteile auf die Empfindlichkeit des von ihm konstruierten Röntgenenergometers.

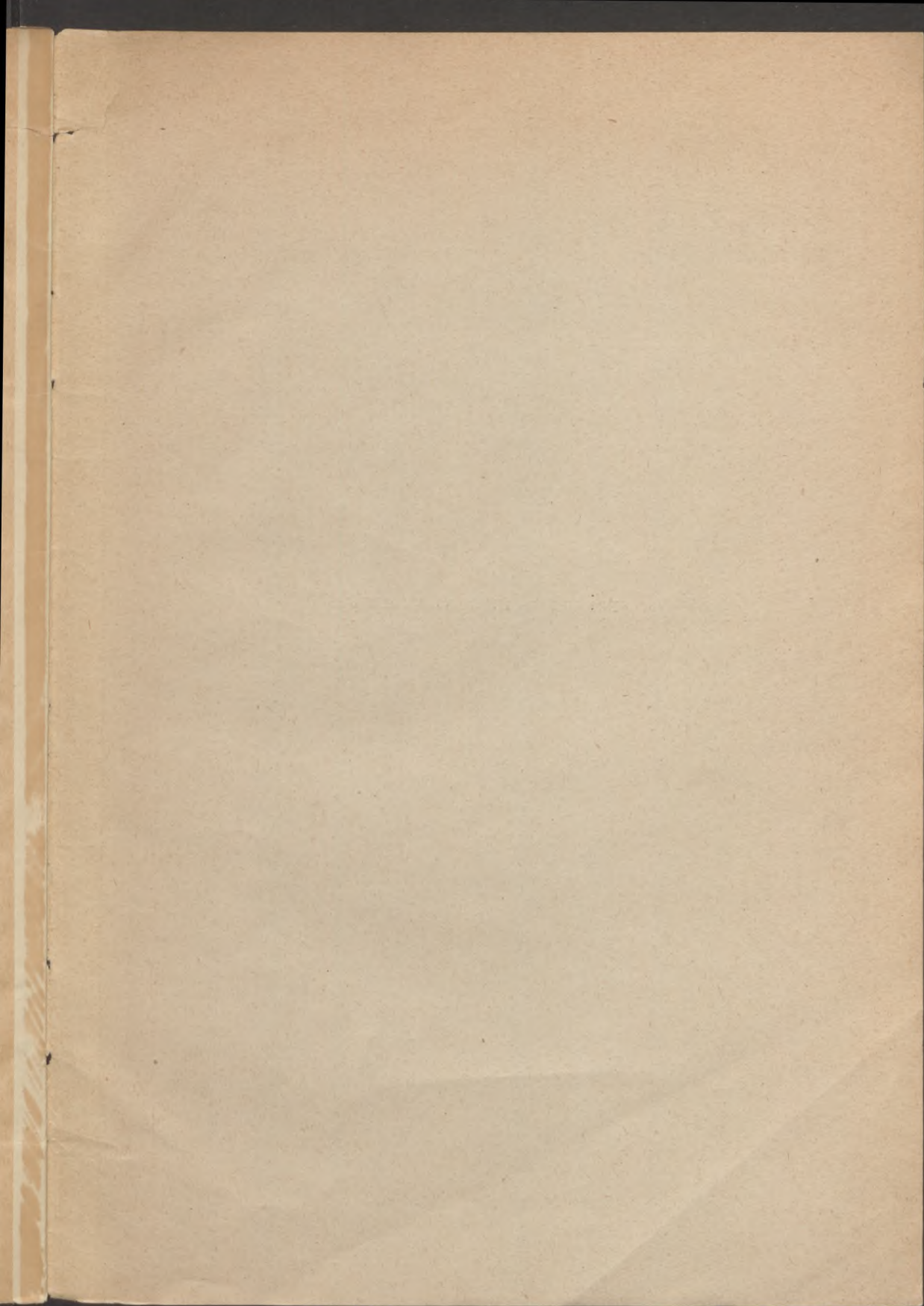
Die ersten Untersuchungen wurden auf Zimmertemperatur ausgeführt. Ein Kleinmodell des Ergometers wurde in ein Glasgefäß hineingelegt, aus welchem die Luft durch eine Quecksilber-Diffusionspumpe und der Gasrest mittels flüssiger Luft durch Gefrieren entfernt wurde. Das Glasgefäß stand anfangs in einer gegen Wärmeübergang gut isolierten Holzschachtel, später in einer DEWAR-Flasche. Infolge des Ausfallens der Wärmeleitfähigkeit der Luft hat sich die Empfindlichkeit auf das 2·7-fache erhöht.

Die späteren Untersuchungen wurden auf der Temperatur der flüssigen Luft ausgeführt. Das Glasgefäß, welches das Ergometer enthielt und auf obige Weise ausgepumpt wurde, war jetzt in eine mit flüssiger Luft gefüllte DEWAR-Flasche versenkt worden. Die Strahlung fiel von oben ein. Infolge der Verringerung der Wärmestrahlung hat sich die Empfindlichkeit auf das 3·5-fache erhöht.

Auf Grund der experimentellen Ergebnisse stellt der Verfasser fest, dass der grösste Wärmeverlust durch die Wärmeleitfähigkeit der *Te*-Stange und des *Ag*-Drahtes, welche sich dem die Strahlung absorbierenden Metallmantel anschliessen, verursacht wurde. So ist also im Interesse der Erhöhung der Empfindlichkeit in erster Reihe die Stärke der *Te*-Stange zu verkleinern oder ein anderes Verfahren zu suchen, um die Wärmeleitfähigkeit dieses Bestandteiles zu vermindern; der *Ag*-Draht muss auch dünn genug sein.

(Aus der Sitzung der III. Klasse der Ungarischen Akademie der Wissenschaften vom 16. Jänner 1938.)





FRANKLIN-TÁRSULAT NYOMDÁJA.