

14019

14.019

1-2

Kötet az példány
Fizikai Társulat

A RÖNTGEN-SUGÁRZÁS ENERGIÁJÁNAK MÉRÉSE I. ÉS II.

(KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZ ORVOSI DÓZIS-MÉRÉSRE)

ÍRTA

CSÁSZÁR ELEMÉR

*Különlenyomat a Matematikai és Természettudományi Értesítő
1934. évi LII. kötetéből*

BUDAPEST

1934

Mat. med

A RÖNTGEN-SUGÁRZÁS ENERGIÁJÁNAK MÉRÉSE

I. ÉS II.

(Különös tekintettel az orvosi dózis-mérésre.)

CSÁSZÁR ELEMÉR 1. tagtól.

A Röntgen-sugárzás felfedezése után hamarosan kezdtek foglalkozni a sugárzás által szállított energia megmérésével. De hosszú idő telt el, míg a mérési módszerek elég jó eredményekre vezettek. Ennek oka éppen a Röntgen-sugárzásnak egyik legkiválóbb saját-sága: nagy áthatóló ereje. E miatt nem lehet a hősugárzás mérése terén jól kidolgozott és jól bevált módszereket minden további nélkül alkalmazni a Röntgen-sugárzás mérésére is. Hosszas kísérletezés után sikerült egy olyan mérőeszközt szerkeszteni, amely megfelel a helyes sugázmérés fizikai feltételeinek és kényelmesen használható, úgyhogy az orvosi gyakorlatban is alkalmazni lehet.

1. A sugárzás erősségének meghatározása.

A Röntgen-sugárzás által szállított energia felől a sugárzás erőssége tájékoztat. Ezt a következőképpen határozzuk meg. Tegyük föl, hogy a Röntgen-lámpa gyújtófoltjától olyan nagy távolságban vagyunk, hogy a néhány négyzetcm-nyi területre eső sugarak egymással párhuzamosnak tekinthetők. Ekkor a sugárzás erőssége alatt értjük azt az energiamennyiséget, amely a terjedési irányra merőlegesen állított 1 négyzetcm-nyi síkfelületre 1 másodperc alatt esik. A sugárzás erősségét I -vel jelöljük

Ez a meghatározás a gyakorlati céloknak jól megfelel, de szigorúan véve csak teljesen párhuzamos sugarakból álló nyaláb esetében használható. A valóságban a gyújtófoltból kiinduló suga-

66947



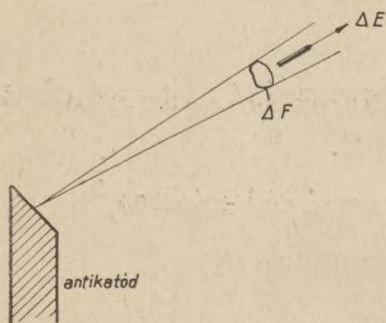
39024

14.819

1-2



rák mindig szét tartók és a sugárzás erőssége minden irányban és helyen más és más. Egy irányban és helyen úgy értelmezzük a sugárzás erősségét, hogy erre az irányra merőlegesen állított igen



1. kép. A sugárzás erősségének értelmezése.

kicsiny felületelemre (ΔF) 1 másodperc alatt eső sugárzó-energiát (ΔE) elosztjuk a kis felületelem területével (1. kép) és e hányados határértékét vesszük. (Föltesszük, hogy a sugárzás az időben állandó.) Jelöljük most is a sugárzás erősségét I -vel, ekkor

$$I = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta F}.$$

(Ez a mennyiség fénysugarak esetében a megvilágítás erőssége.) Ha az előbb említett 1 négyzetcm-es felületdarab elég nagy távolságban van a gyújtófolttól (25—30 cm-nél távolabb), akkor már alig van különbség a sugárzás erősségének kétféle meghatározása között. A következőkben az első meghatározást tartjuk szem előtt.

2. A sugárzásmérés alapelvei.

A sugárzás energiájának megmérése abban áll, hogy megállapítjuk energiaegységben egy másodpercre és egy négyzetcm-re vonatkoztatva (erg/sec. cm^2 , vatt/cm^2 vagy $\text{grammkaloria/sec. cm}^2$) a sugárzás erősségét. E célból a sugárzást egy testtel tökéletesen elnyeletjük. Ez azt jelenti, hogy a Röntgensugárzás sem keresztül nem hatol a testen, sem pedig szétszóródva vagy visszaverődve nem jut vissza a környezetbe; sőt a testből kiváló fotoelektronok sem hagyhatják el a testet, hanem az egész beeső Röntgen-sugárzás a test hőenergiájává alakul át és hőmérsékletét igen csekély mértékben (rendszerint $1/100$ — $1/1000$ $^\circ\text{C}$ -kal) emeli. Ennek következtében természetesen csekély mértékben megváltozik a test térfogata, esetleg elektromos ellenállása vagy más fizikai tulajdonsága, ellenben kikötjük, hogy a sugárzás kémiai változást, ionozást stb. nem okoz az elnyelő testben. A hőmérséklet-

emelkedés közben igen kis mértékben növekszik az elnyelő test hőkiadása, vagyis környezetének hővezetés és sugárzás útján több hőt ad át, mint a sugárbeesés előtt. Ez a csekély hőmérséklet-emelkedés addig tart, míg a Röntgen-sugárzásból kapott energia éppen akkora lesz, mint a hőkiadás révén elvesztett, szóval amíg *a sugárelnyelő test környezetével hőegyensúlyba jut*. Ekkor egyúttal megszűnik a térfogat további növekedése, az elektromos ellenállás változása is stb., vagyis egy változatlan állapot következik be. Az elnyelt sugárzás által okozott eme változásokról valamilyen műszer vagy esetleg a térfogatváltozás ad hírt.¹

A további lépés az, hogy az elnyelő testtel a Röntgen-sugárzás helyett ismert energia-mennyiséget közlünk mindaddig, míg az elnyelő testben ugyanaz a hőmérséklet-emelkedés és egyúttal ugyanazok a változások lépnek föl, mint előbb. (Ismét hőegyensúlyt föltételezve.) Ismert energiaforrásnak jó az elektromos áram, melynek hőtermelését a Joule-féle törvény alapján ki tudjuk számítani; vagy pl. az állandó hőmérsékletű fallal zárt ürből egy kis lyukon át kilépő hősugárzás (fekete sugárzás), továbbá a Hefner-féle lámpa sugárzása. Ilyen módon a Röntgen-sugárzás energiáját helyettesíthetjük más, ismert energiamennyiséggel és minthogy a kétféle energiaközlés ugyanolyan változásokat okoz, jogosan mondhatjuk, hogy a közölt energiamennyiség mindkét esetben ugyanakkora. Megjegyzendő, hogy sokszor nem szükséges az ismert energiamennyiséget éppen akkorának választani, hogy ugyanakkora hőmérséklet-emelkedést okozzon, mint a Röntgen-sugárzás, hanem általában elég azt megállapítani, hogy egy bizonyos ismert energiamennyiség mekkora hőmérséklet-emelkedést okoz, mekkora kitérést idéz elő a műszeren. Ugyanis tapasztalatilag és elméletileg is kimutatható, hogy a hőmérséklet-emelkedés vagy a műszer kitérése egyenesen arányos az elnyelt energiával.

Sajnos, hogy a Röntgen-sugárzás többi hatása (ionozás, fénycépező, fluoreszcencia-hatás), amelyek sokkal feltűnőbbek, mint a melegítő hatás, az erősségméréskor nem jöhetnek szóba, mert a sugárzás hullámhosszától függenek, a hőhatás ellenben nem függ.

¹ Megjegyzendő, hogy vannak olyan mérési módszerek is, melyekben nem várják be a hőegyensúly bekövetkezését, csak a sugárzásnak valamilyen hatását figyelik meg bizonyos idő alatt.

3. A sugárzásmérés módszerei.

A fontosabb módszereket négy csoportba sorozhatjuk, bár rajtuk kívül még más eljárások is vannak.

a) A léghőmérős módszer. Alap gondolata az, hogy egy levegővel telt edényben jól elzárt fémdarab a Röntgen-sugarak hatására fölmelegszik és a kapott meleget folyton átadja a környező levegőnek, amely kiterjed és az elzáró edénnyel összeforrasztott hajszálcsőben lévő folyadékceppet odébb tolja. (Ez esetben tulajdonképpen nem is következik be a hőegyensúly.) Azt kellene ismerni, hogy bizonyos eltolódásnak mekkora energiamennyiség felel meg. Ennek ismeretét kiküszöbölik a kettős léghőmérővel. Ez abban különbözik az előbbtől, hogy két egyforma edénye van, melyeket vékony hajszálcső köt össze, benne folyadékcepp van. Az egyik edény tartalmazza a sugárelnyelő fémdarabot, a másik egy ugyanakkora tömegű fémszalagot, amelyen elektromos áramot lehet átvezetni. Miközben az elnyelő fémre a Röntgen-sugárzás ráesik, a másikba elektromos áramot vezetnek és erősségét úgy szabják meg, hogy a folyadékcepp lehetőleg mozdulatlan maradjon. Ekkor a sugárzás által bevitt hőt egyenlőnek tekintik az áram által termelt hővel, amely kiszámítható. Ilyenféle módszerrel dolgozott DORN,¹ GREBE és KRIEGESMANN,² GREBE,³ KRIEGESMANN,⁴ KIRCHER és SCHMITZ.⁵

Módszereikkel szemben mindenekelőtt azt az ellenvetést tehetjük, hogy a teljes sugárelnyelés föltétele nem teljesült, hiszen az elnyelő ólomlemezről szétszórt sugárzás, a fluorescencia-sugárzás, a fotoelektronok energiája legfeljebb csak részben járult hozzá az ólomlemez melegítéséhez.

b) Kaloriméteres módszer. Kettősfalú üvegedény falközét folyadék tölti ki, melyben ólomgömbök vannak; a folyadék

¹ DORN: Ann. d. Phys. **63**, 160, 1897.

² GREBE und. KRIEGESMANN: Zsch. f. Phys. **28**, 91, 1924.

³ GREBE: Phys. Zsch. **25**, 599, 1924.

⁴ KRIEGESMANN: Zsch. f. Phys. **32**, 542, 1925.

⁵ KIRCHER und SCHMITZ: U. o. **36**, 484, 1926.

az edényhez forrasztott hajszálcsőbe is felhúzódik. A Röntgen-sugárzás az edény belsejébe esik, az ólomgömbök fölmelegszenek, melegüket átadják a folyadéknak s ez a hajszálcsőben kiterjed (tulajdonképpen most sem következik be a hőegyensúly). Hitelesítés végett az edény belsejében elektromos árammal melegített dróttekeresztet lehet elhelyezni. Ilyen módszerrel dolgozott RUMP.¹ Az ő Röntgen-kaloriméterének nagy előnye, hogy a teljes sugár-elnyelést igen nagy mértékben megközelíti vele, hiszen az elnyelő ólomréteg több cm vastag lehet, ezenfelül az elnyelő test *üreges*, tehát a másodlagos jelenségek sem vonnak el energiát. Azonban az eszköz meglehetősen kényelmetlen, mert a folyadékszál a hajszálcsőben állandóan mászik és hosszabb ideig (10—15 percig) kell erős sugárzásnak beesni, hogy a folyadékszál vége elég nagy elmozdulást tegyen.

c) A bolométeres módszer. Alapgondolata az, hogy a sugárzás melegítő hatásával elektromos ellenállás-változás jár együtt, melyet ismert sugárzással vagy elektromos árammal való melegítés útján is elő tudunk állítani. A bolométert Wheatstone-féle híd egyik ágába kapcsolják, míg a másik háromba kb. ugyanakkora és a hőmérséklettől független ellenállást iktatnak be. Sugár-mérés alkalmával a készüléket mindenképp úgy állítják be, hogy az árammutató semmiféle áramot ne jelezzen. Majd a bolométerre ráejtik a sugárzást és az áramot addig gyengítik, míg az árammutató most is nyugalomban marad. Ekkor az áram kevesebb meleget termel a bolométerágban, mint előbb. A hőtermelés csökkenése egyenlő az elnyelt sugárzás energiájával (másodpercenként). A léghőmérős módszer kapcsán említett ellenvetések a bolométeressel szemben is fennállnak, sőt vékonyabb bolométerszalagon a kemény sugarak még keresztül is hatolnak. Ezenfelül az árammutató mérés közben rendszerint mászik, ami bizonytalanságot okoz. Ilyen módszerrel dolgozott Schöps,² RUTHERFORD és MC CLUNG,³ LEININGER,⁴

¹ RUMP: Zsch. f. Phys. 43, 254, 1927.

² Schöps: Halle-i disszert. 1899.

³ RUTHERFORD a. MC CLUNG: Proc. Roy. Soc. 67, 245, 1900.

⁴ LEININGER: Phys. Zsch. 2, 691, 1901.

WIEN,¹ ANGERER és CARTER,² WEEKS,³ BOOS,⁴ TERRIL⁵ és KEGERREIS.⁶

d) A hőelektromos oszlop módszere. Ez abban áll, hogy a Röntgen-sugárzást magát használjuk fel elektromos áram termelésére: ugyanis hőelektromos oszlopra ejtjük. Előbb a keletkező gyenge áram erősségét mérjük meg, amely arányos a hőelektromos oszlopra eső sugárzás erősségével. Majd másféle ismert sugárzást ejtünk a hőelektromos oszlopra és ismét megfigyeljük az áram erősségét. Ilyen módszerrel mérte a sugárzás erősségét WIEN,⁷ HOEPNER,⁸ AURÉN⁹ és KULENKAMPPF.¹⁰ Az ő hőoszlopa nyolc darab vas-bizmut elemből állott. A hideg helyek nagyobb vörösrézlemezekkel érintkeztek. A sugárzásnak kitett fccrasztási helyeket 0.1 mm vastag és 4.5 négyzetmm területű ezüstlemezek fedték, melyek zsindelyszerűen következtek egymásra. Ezek a vékony ezüstlemezek természetesen nem nagyon nyelik el a kemény sugárzást, ezért KULENKAMPPF a 0.56—2 Å-ig terjedő színeképi tartományban volt kénytelen maradni. Ha a hőoszlopra másodpercenként 7.5×10^{-9} grammkalóriát szállító sugárzás esett, a galvanométer 1 osztállyalattal tért ki 3 m-es osztályzat-távolság esetén. Az érzékenységet Hefner-lámpával határozta meg.

KULENKAMPPF e hőelektromos oszloppal megállapította, hogy a 0.56—2 Å-ig terjedő színeképi tartományban a levegőben egy iónpár képzéséhez szükséges energiamennyiség középértéke független a hullámhosszúságtól s értéke 35 ± 5 volt iónpáronként (kb. 0.1 erg). Tehát e színeképi tartományban egyenlő mennyiségű elnyelt Röntgen-sugárzás egyenlő elektromos töltést tesz szabaddá. Ez az eredmény

¹ WIEN: Ann. d. Phys. **18**, 991, 1905.

² ANGERER und CARTER: U. o. **21**, 87 és 955, 1906.

³ WEEKS: Phys. Rev. (2), **10**, 564, 1917.

⁴ BOOS: Zsch. f. Phys. **10**, 1, 1922.

⁵ TERRIL: Phys. Rev. (2), **28**, 438, 1926.

⁶ KEGERREIS: Phys. Rev. (2), **29**, 775, 1927. Ő üres ólomhengert használt sugárelnyelőnek és reá vékony drótot tekercselt, melynek ellenállása melegedés közben megváltozott.

⁷ WIEN: Ann. d. Phys. **18**, 991, 1905.

⁸ HOEPNER: U. o. **46**, 577, 1915.

⁹ AURÉN: Acta Rad. **6**, 105, 1926.

¹⁰ KULENKAMPPF: Ann. d. Phys. **79**, 97, 1926.

a Röntgen-sugárzás erősségének ionos kamrával való mérése szempontjából nagyon jelentős.

A hőelektromos módszernek még egy másik alakja is van. Ez abban különbözik az előbbtől, hogy a sugárzás nem közvetlenül a hőelektromos oszlop forrasztási helyeire esik, hanem egy nagyobb tömegű fémszalagra, melyet hátulról majdnem érint egy igen érzékeny hőelektromos oszlop. Erre most nem esik Röntgen-sugár, hanem csak az előtte álló fémszalagtól kap hőt, részint vezetés, részint sugárzás útján. A szalagot elektromos áramkörbe kapcsoljuk és bevárjuk a hőegyensúly bekövetkezését. Majd ráejtjük a Röntgen-sugárzást és az áramot annyira gyengítjük, hogy a hőelektromos oszlophoz kapcsolt galvanométer kitérése változatlan maradjon. Ekkor az áram hőtermelésének csökkenése éppen egyenlő a sugárzás által a szalagra szállított energiával (1 mp-re vonatkoztatva). Ilyen módon mért GAERTNER.¹ Sugárfelfogónak 10 cm hosszú, 3 mm széles és $\frac{1}{4}$ mm vastag platina-iridium-szalagot használt, amely mögött 35 elemből álló hőoszlopot helyezett el. Ő a levegőn kívül oxigénben, nitrogénben és argonban is megmérte az ionképzési munka középértékét egy ionpárra vonatkozólag.

A hőelektromos módszerrel való méréskor a galvanométer mászása elmarad, ha a hőegyensúly bekövetkezett. Azonban az eddigi alakjában ez sem alkalmas a teljes sugárzás megmérésére, mert a sugárbeesést kísérő másodlagos energiavesztéseget az eddigi kutatók elhanyagolták. Igaz, hogy ez néha kicsiny is volt.

e) Ezenkívül közvetett úton (a Röntgen-sugárzás ionozó, fényképező és fluoreszcencia-hatásából) is igyekeztek a sugárzás erősségére következtetni. A radiométert használták méréseikben BUMSTEAD² és ADAMS.³

4. Méréseim irányelvei.

Szemlét tartva a Röntgen-sugárzás mérési módszerei fölött és a bolométeres és hőelektromos módszerrel hosszantartó előzetes

¹ GAERTNER: Zsch. f. techn. Phys. **9**, 363, 1930. és **15**, 59, 1934; Ann. d. Phys. **2**, 94, 1929. (0.05 mm vastag platinaszalag és egy hőelem);

² BUMSTEAD: Phil. Mag. **11**, 292, 1906.

³ ADAMS: Proc. Amer. Acad. **42**, 671, 1907.

vizsgálatokat végezve, arra az eredményre jutottam, hogy a *hő-elektromos módszer* érzékeny, biztos és kényelmes, tehát ilyen mérő-eszköz szerkesztését tűztem ki célul.

Az első feladat volt *olyan sugárfelfogó készítése, amely a beeső Röntgen-sugárzást nem bocsátja magán keresztül, a másodlagos sugárzásokat szintén fölfogja és tömege a lehető legkisebb.*

Az első kívánságnak eleget tesz bármely nagyobb rendszámú fém (ólom, platina, arany, wolfram stb.), ha elegendő vastag lemezt veszünk belőle. A vastagság az elnyelendő sugárzás keménységétől függ. Mégpedig a vastagságnak olyannak kell lenni, hogy a sugárgyengítési együttható (μ) és a vastagság (d) szorzata (μd) legalább 4.7 vagy ennél nagyobb legyen. Ekkor ugyanis az át-bocsátott sugárzás erőssége:

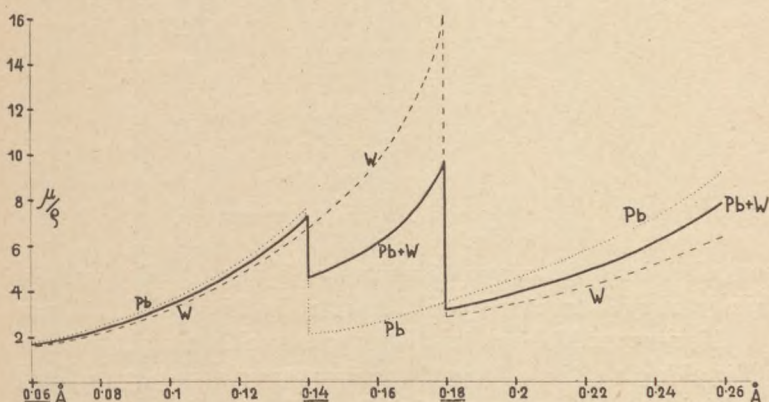
$$I_{\text{átb.}} = I_0 e^{-\mu d} = I_0 e^{-4.7}.$$

A szorzó értéke $1/100$ -nál kisebb, tehát az áthatoló sugárzás erőssége a beesőnek (I_0) 100-ad részénél kisebb. Pl. 180 kilovolt esetén a színekép rövidhullámú határa 0.07 \AA körül van; az ilyen sugárzásból gyakorlatilag semmi sem hatol keresztül a 2 mm-nél (0.2 cm -nél) vastagabb ólomlemezen, mert ekkor $\mu d = 23.9 \times 0.2 = 4.78$. Az ilyen ólomlemez egyúttal az összes lágyabb sugarakat sem bocsátja át, mert az ólom gyengítési együtthatója a 0.07 \AA Angströmmél lágyabb tartományban nem igen süllyed 23.9 alá.

Minthogy azonban mindegyik fém elnyelési görbéjében ugrás van, általában nem mondhatjuk azt, hogyha egy fémlemez bizonyos keménységű sugárzást nem bocsát keresztül, a lágyabbat még kevésbé engedi át. Az ólomnak a 2. képen látható elnyelési görbéjéből megtudhatjuk, hogy az olyan ólomlemez, melynek minden négyzet-cm-ére 1 gramm tömeg esik (kb. 1 mm vastag, ugyanis erre vonatkoztatják a tömeggyengítési együtthatót), jól elnyeli a 0.12 \AA -ös sugarakat, de nagyon átengedi a 0.14 \AA körülieket, mert itt a $\mu d = \mu/\rho(\rho d)$ csak 2.29. Tehát ha a színekép határa 0.12 \AA -nél van, akkor a keresztülhatolás elkerülése végett *vastagabb, nagyobb tömegű* ólomlemezt kell venni, mint amilyen a legkeményebb sugáralkatrész elnyelésére szükséges. De a lemez tömegének növelése hátrányos a melegedés szempontjából.

A tömegnövelést elkerülhetjük, ha nem tiszta fémet (ólmot)

használunk, hanem alkalmas *ötvözetet*. Ugyanis a különböző fémek elnyelési görbéjének ugrása a színekép] különböző helyeire esik, tehát várható, hogy azokat a sugarakat, amelyeket az egyik fémalkatrész átbocsát, a másik elnyeli. A 2. képen a szagatott vonal a wolfram tömeggyengítési együtthatóját ábrázolja, melynek ugrása 0.18 \AA körül van. Ennek alapján kiderült, hogyha a wolframot ólommal ötvözzük, akkor elkerülhetjük a tömegnövelést. Ugyanis nem kell mást tenni, mint az 1 mm -es ólomlemez felét, tehát $\frac{1}{2}$ -ed mm -es ólomlemez ugyanakkora tömegű wolframmal helyettesíteni. Minthogy a wolfram sűrűsége



2. kép. Elnyelési görbék.

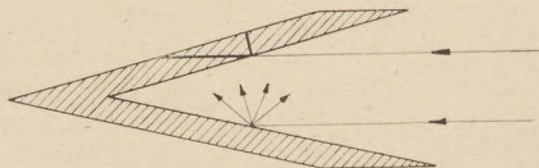
19.1 (majdnem 20), e célra elegendő $\frac{1}{4} \text{ mm}$ -es wolframlemez. Ezt az $\frac{1}{2} \text{ mm}$ -es ólomlemez mellé tehetjük vagy ötvözzhetjük is vele; az ötvözet $50-50 \%$ -os lesz. Ebből készítsünk olyan lemezt, melynek minden négyzetem-ére 1 gramm tömeg jut. Ennek tömeggyengítési együtthatója:

$$\frac{1}{2} \frac{\mu_{Pb}}{\rho_{Pb}} + \frac{1}{2} \frac{\mu_W}{\rho_W}.$$

A $Pb + W$ ötvözet tömegelnyelési görbéjét a 2. képen a vastag vonal ábrázolja. Látjuk, hogy ez ötvözetből hengerelt lemez, melynek tömege négyzetem-kint éppen 1 gramm , jól elnyeli a 0.12 \AA -ös, meg a 0.14 \AA -ös sugarakat is, hiszen a μd értéke 4.5 -nél nagyobb. Igaz, hogy a 0.18 \AA -nél a görbének egy kis süllyedése van, de ezt

a hiányt a lemez vastagságának csekély növelésével ki lehet küszöbölni. Ha tiszta ólomból akarnánk ugyanilyen elnyelésű lemezt készíteni, legalább olyan kellene, melynek tömege négyzetem-kint 2 gramm, tehát kb. 2 mm vastag.

Megállapíthatjuk tehát, hogy a megfelelő elemekből készített ötvözet tömegelnyelési görbéjének ugrásai csökkennek: az elnyelési együttható nem süllyed nagyon mélyre és nem vesz fel nagy értékeket sem; az ötvözet elnyelése egyenletesebb, mint egyik alkotórészéé. Természetesen arra is kell ügyelni, hogy valamelyik alkotórész fajhője ne legyen túlságosan nagy, mert ez a melegedés szem-



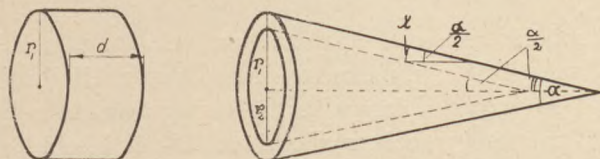
3. kép. A ferde sugárbeesés és az üreges sugárfelfogó előnye.

pontjából ismét hátrányos. Szerencsére a nagy rendszámú fémek fajhője nagyjában megegyezik, számértéke kb. 0.03 körül van.

Megjegyzendő, hogy az ötvözet az elnyelés szempontjából csak addig előnyös a tiszta fémmel szemben, amíg nem nagyon kemény szinképi tartományról van szó. (Pl. az ólom-wolframötvözet esetében a 0.12 \AA -ig terjedőről.) Ha azonban azt kívánjuk, hogy sugárfelfogónk pl. a 0.07 \AA hullámú sugarakat ne bocsássa keresztül, akkor a tiszta ólomból is, meg az ólom-wolframötvözetből is olyan lemezre van szükségünk, amelynek tömege négyzetem-kint egyenlő, mégpedig kb. 2 gramm.

Fontos dolog, hogy az elnyelő lemez vastagságának csak a *sugár irányában*, csak a sugár mentén számítva kell elegendő nagy-nak lenni; a közönséges értelemben vett lemezvastagság lehet kisebb is. Ugyanis ha a Röntgen-sugár nem merőlegesen esik a lemezre, hanem ferdén, akkor a lemezben megtett út többször hosszabb lehet, mint a lemez tulajdonképpeni vastagsága (3. kép). Ha a sugár majdnem símulva esik a lemezre, akkor a sugár mentén számított vastagság, a sugár útja a lemezben egészen vékony hártya esetében is több mm vagy esetleg cm is lehet.

Ez a körülmény azért fontos, mert módot ad arra, hogy az elnyelő fémlémezből *üreges testet* készítsünk a nélkül, hogy a sugár útja az elnyelő rétegben kisebbednék és hogy az eredeti síklemez tömegét növelni kellene. Az üreges sugárfelfogóra meg éppen azért van szükség, mert a másodlagos sugarakat és a fotoelektronokat is el kell nyelni a sugárfelfogónak, hiszen csak ebben az esetben lehet a teljes sugárelnyelés föltételét jól megközelíteni, ha nem is egészen megvalósítani (3. kép). Úgy találtam, hogy sugárfelfogónak alkalmas az elnyelő fémlémezből készült *kúppalást*, melynek szögnyílása 30° vagy még kisebb. Nézzük meg, miféle előnyöket rejt ez magá-



4. kép. A lemez- és kúppalást tömegének összehasonlítása.

ban (4. kép). Az r_1 sugarú, d vastagságú és ρ sűrűségű körlemezéből (m_k) készítsünk vele *egyenlő tömegű* (m_p) és egyenlő alapterületű kúppalástot. Kérdés, mekkora lesz a palást falvastagsága. A körlemez tömege

$$m_k = r_1^2 \pi d \rho.$$

A palást tömege

$$m_p = \frac{1}{3} (r_1^3 - r_2^3) \pi \rho \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}.$$

De

$$r_1^3 - r_2^3 = (r_1 - r_2) [3r_1 r_2 + (r_1 - r_2)^2],$$

tehát

$$m_p = \left[r_1 r_2 + \frac{1}{3} (r_1 - r_2)^2 \right] \pi \rho \frac{(r_1 - r_2) \cos \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

A jobboldali utolsó tört számlálója a palást falvastagsága (x).

Ha $m_k = m_p$, akkor

$$d = \left[\frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{3r_1^2} (r_1 - r_2)^2 \right] \frac{x}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Ha a palást elég vékony, akkor $r_1 \sim r_2$, tehát

$$x \sim d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

és a kúp tengelyével párhuzamosan (a beeső sugár mentén) számított rétegvastagság:

$$\frac{x}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Ha $\alpha = 30^\circ$, akkor $\sin \frac{\alpha}{2} = \sin 15^\circ = 0.2588 \sim \frac{1}{4}$ és $x \sim \frac{d}{4}$.

Tehát a kúppalást falvastagsága az alapul vett lemezének $\frac{1}{4}$ része, viszont a tengellyel párhuzamosan beeső sugár által megtett út meg kb. $4x$, vagyis a kúppalást falvastagságának négyszerese. Ha a kúp még hegyesebb, nyílásszöge 30° -nál kisebb, akkor az $m_k = m_p$ egyenlőség fennállása esetében vastagsága (x) még kisebb lesz és a tengellyel párhuzamos sugár útja még hosszabb lesz, mint a vastagság négyszerese.

A kis nyílásszög előnyös a másodlagos sugárzások felfogása szempontjából, mert annál kevesebb másodlagos sugár és fotoelektron lép ki a kúp belsejéből, minél kisebb a nyílásszöge. Azonban ne felejtjük el, hogy a másodlagos sugarak a kúppalástot keresztül-kasul járnak (nemcsak a tengellyel párhuzamosan), tehát a túlságosan vékony palástfal hátrányos, mert pl. a merőlegesen ráeső sugarak könnyen keresztülmennek rajta és így elvész az üreges felfogó előnye. (Igaz, hogy a Compton-hatás segített egy kicsit: az ismételt szétszóródás közben a sugarak egy része meglágyul.)

A kúppalást-alakú sugárfelfogó melegezésének mérésére legalkalmasabbnak találtam a *hőelektromos eljárást*. E módszer alapgondolata az, hogy hőmérsékletkülönbség legyen a sugárzásnak kitett kúppalást és a védett fémrészek között. Ez úgy érhető el, hogy a sugárzástól védett fémrészeket igen nagy tömegűnek választjuk a sugárfelfogóhoz képest és a hőközlést közöttük a legkisebbre csökkentjük. Minthogy a kemény Röntgen-sugárzás mérésekor a sugárfelfogó tömege legalább néhány gramm, a hidegen tartandó fémrészek tömegének ehhez képest kell nagynak lenni.

Bár a sugárfelfogó tömege aránylag nagy, a hőelem mégis nagyon érzékeny lesz, mert az érzékenység legfontosabb feltétele az, hogy a védett fémtömegek hidegen (azaz állandó hőmérsékleten) maradjanak s a legkisebb hőmérsékletkülönbség is kiegyenlítődéssel nélkül fennálljon. Legfeljebb az ilyen hőelem tehetetlensége lesz nagy: vagyis hosszabb ideig tart a sugárfelfogó fölmelegedése és a hőegyensúly bekövetkezése, mint a hőszugárzás mérésére való hőelemeknél, melyeknek sugárfelfogója vékony fémhártya. Hasonló alapelvet használt JOHANSEN,¹ KULENKAMPPF² és MOLL³ hőelektromos elem szerkesztésére, de az ő sugárfelfogójuk tömege sokkal kisebb volt 1 grammnál.

Minthogy a sugárfelfogóhoz csatlakoznak a hőelektromos elem különböző anyagi minőségű alkatrészei, figyelemmel kell lenni a hőelektromos indítóerőre érvényes alaptörvényre, mely szerint két fém közvetlen érintkezésekor a közöttük fellépő hőelektromos feszültségkülönbség ugyanakkora, mintha közbe tetszőszerinti más fémeket is (pl. a sugárfelfogót és a forrasztóanyagot) iktatunk be. Feltéve, hogy a hőmérséklet mindkét esetben ugyanakkora.

A hőelektromos indítóerő a melegített és a védett érintkezési vagy forrasztási helyek hőmérsékletének különbségétől és a védett hely abszolút hőmérsékletétől függ. A függés törvényét tapasztalati úton is megállapították, de elméletileg is levezették. Egy új elektronelmélet alapján SOMMERFELD⁴ a következő képletet vezette le két fémből álló hőelektromos áramkörre, melynek érintkezési helyei T_1 és T abszolút hőmérsékletűek:

$$E = \frac{\pi^2}{3} \frac{mk^2}{eh^2} (\lambda^2 - \lambda'^2) (T_1^2 - T^2), \quad (2)$$

melyben E az elektromos indítóerő, m az elektron tömege, e pedig töltése; a h egyenlő 6.55×10^{-27} erg.sec, a $k = 1.37 \times 10^{-16}$ erg/grad; a λ és λ' a két fémben a közepes sebességgel (\bar{v}) mozgó elektronokhoz tartozó de Broglie-féle hullámok hosszát jelentik:

$$\lambda = \frac{h}{m\bar{v}}.$$

¹ JOHANSEN: Ann. d. Phys. **33**, 517, 1910.

² KULENKAMPPF: l. c.

³ MOLL: Proc. of the Phys. Soc. of Lond. **35**, 1923.

⁴ SOMMERFELD: Zsch. f. Phys. **47**, 431, 1928.

E képlet levezetésekor az elektronok közepes sebességét (és az 1 köbcentiméterben lévő elektronok számát is) a fém hőmérsékletétől függetlennek tekintik, ami nem távoli hőmérsékleti határok között megengedhető.

A (2) képletet, első tagját A állandóval jelölve, így is írhatjuk:

$$E = A(T_1 - T)(T_1 + T) = A(T_1 - T)(2T + T_1 - T).$$

Legyen $T_1 - T = \vartheta$, akkor

$$E = 2AT\vartheta + A\vartheta^2. \quad (2a)$$

Látjuk, hogy a hőelektromos indítóerő kifejezésében az érintkezési helyek hőmérsékletkülönbségének első és második hatványa szerepel a hideg hely abszolút hőmérsékletén kívül. Megjegyzendő azonban, hogy szobahőmérsékleten ($T = 300^\circ\text{C}$) a négyzetes tag együtthatója kb. 600-ad része az elsőfokú tag együtthatójának, tehát ez a második tag elhanyagolható, ha egyébként a ϑ elég kicsiny, mint a mi esetünkben, amikor $1/100^\circ\text{C}$ körül lévő hőmérsékletkülönbségről van szó.

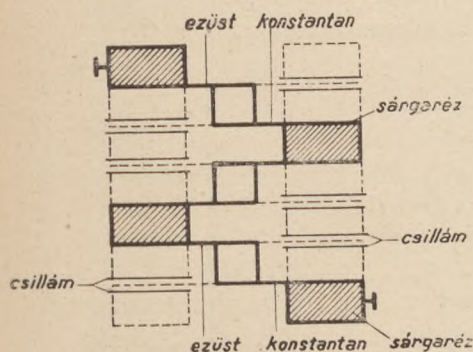
5. Az előzetes vizálatokhoz készített hőelektromos oszlopok.

Hosszas kísérletezés után, melyet mintegy 10 évvel ezelőtt kezdtem meg, 1932. tavaszán készült el az imént vázolt elvek alapján az első hőelektromos oszlop, mellyel a színeknek elég nagy tartományában lehetett a Röntgen-sugárzás erősségét mérni.¹

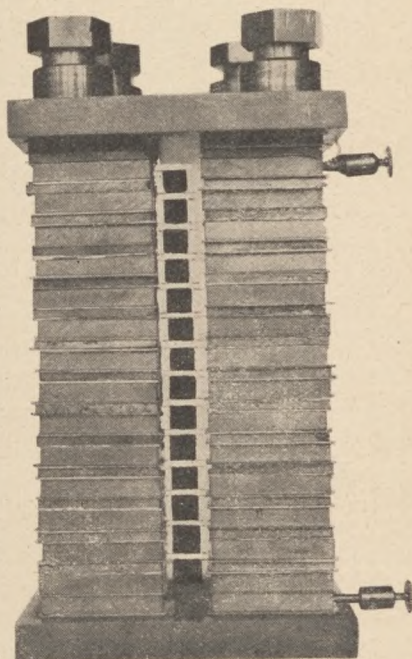
A sugárzás felfogására egyelőre 0.3 mm vastag aranylemezéből kis gúllakat készítettem, melyeknek nyílásszöge kb 30° , alapéle pedig kb. 6 mm volt. A gúllak tengelyével párhuzamosan beeső sugár a vékony aranylemezben kb. 1.2 mm hosszú utat tett meg. Az ilyen vastag aranyrétegen pedig már a 0.07 \AA körüli sugárzás sem hatol át, sem pedig az arany K elnyelési határánál kissé hosszabb hullámú sugárzás, amiről a μ mennyiség kiszámítása után meg lehet győződni. A védett részeket 4 mm vastag sárgarézlemezek alkották, melyeknek tömege igen nagy volt az aranygúllak palástjához

¹ Ismertettem a M. T. Akadémia III. osztályának 1932. június 13-án tartott ülésén.

képest. Összekötő drótnak 0.05 mm átmérőjű ezüst és 0.1 mm vastag konstantan-drótot használtam. A hőoszlop Kulenkampff szellemében az 5. képen látható módon épült fel. A két különböző drótot mindenekelőtt patkóalakban meggörbített halsont végei között feszítettem ki. Majd közéjük dugtam a kis aranygúlát és a drótokat ennek két szemben eső oldalához hozzáferrasztottam. A vékony drótok közé helyeztem azután a vastag sárgarézelemezeket, vagy staniolpapírral vagy vékony csillámlemezrel befödve, a szerint, hogy a drótot össze kellett-e kapcsolni a lemezzel, vagy éppen



5. kép. Az első hőelektromos oszlop készítése.



6. kép. Az első hőelektromos oszlop.

ellenkezőleg el kellett szigetelni tőle. Az egymásra tett vastag sárgarézelemezeket a rajtuk keresztülnyúló és szigetelő csőben futó fémrudak tartják össze, természetesen jó erős csavarokkal ellátva (6. kép). A 14 aranygúla függőleges oszlopban helyezkedik el egymás fölött, alapéleik távolsága 1 mm rendű. A tengelyükkel párhuzamosan beeső sugárzás az elől és hátul nyitott hőoszlopot átjárja, csak a gúla nyelik el az alapjukra eső sugárzást. A gúla alapterületének összege kb. 5.2 négyzetem. A hőelektromos oszlop belső ellenállása kb. 12 ohm.

A hőoszlopot igen gondosan kell védeni a külső hőhatásokkal szemben. Ezért mérés közben 6 mm vastag falú, jól zárt sárgaréz-dobozban állt, melyen 0.01 mm-es alumíniumhártyával elzárt nyílás volt a Röntgen-sugárzás belépésére. A rézdoboz ezenfelül még kettősfalú fadobozban nyugodott, melynek falközét finom tollpelyhly töltötte ki s a sugárátbocsátó nyílást selyempapír takarta el. A hőoszlop HARTMANN & BRAUN gyártmányú forgótekerceses galvanométerrel állt kapcsolatban, melynek érzékenysége a következő: 0.139×10^{-6} volt felel meg 1 mm kitérésnek, 1 m osztályzattávolság és 4 ohm külső határellenállás esetén; belső ellenállása 5.3 ohm. Mérés közben az osztályzattávolság a tükrőtől 6.5 m volt, a távcső pedig 1.5 m-re állt a galvanométer tükrétől, hogy nagyobb legyen az osztályzatnak látott képe. A hőoszlop a galvanométerrel együtt nagyobb vaslemezzel borított fadobozban nyugodott a zavaró hatások kiküszöbölése végett. Így azután elérhettem azt, hogy a galvanométer ingadozása órákon keresztül 0.5 osztályrésznél kisebb volt, jóllehet egy nagyon érzékeny hőelektromos oszloppal állt összeköttetésben.

Egy mérés eredménye pl. a következő volt: kb. 140 kilovolt csúcsfeszültség és 4 milliampere közepes Röntgen-áram esetén, 39 cm antikatód-távolságban, 89 osztályrésznyi kitérést kaptam (wolframantikatód). A kitérés $2-2\frac{1}{2}$ perc alatt érte el legnagyobb értékét, azután állandó maradt, mert a hőoszlop környezetével hőegyensúlyba jutott. A sugárzás megszüntetése után a galvanométer néhány tized osztályrésznyi pontossággal visszatért eredeti állásába.

Hogy meg tudjuk mondani, mekkora sugárerősség felel meg az előbbi kitérésnek, e célból az eszközt hitelesíteni kell. A hitelesítés módjáról részletesebben a 24. oldalon emlékezem meg. Most csak annyit említek meg, hogy e célra az állandó hőmérsékletű fallal határolt ürből kilépő ú. n. fekete sugárzást használtam, melynek erőssége régebbi mérések alapján jól ismeretes. A mérőnyílás nagysága 1.17 cm^2 , távolsága a sugárfelfogó gúlák alapsíkjától 74.7 cm volt. A hitelesítést négy különböző hőmérsékleten végeztem. Az eredmény szerint az egy osztályrésznyi kitérésnek megfelelő és mp-ként a sugárfelfogóra eső energiamennyiség:

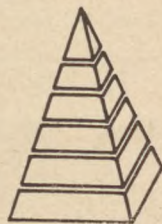
$$7 \times 10^{-8} \text{ gcal/sec.}$$

Tehát 100 osztályrésznyi kitérésnek megfelel 7×10^{-6} gcal/sec. Kb. ennyi volt a sugárfelfogóra eső sugárzás energiája mp-ként az előbbi kísérletkor.

Megjegyzendő, hogy a hitelesítés közben a selyempapírt és az alumíniumhártyát el kellett távolítani a mérőeszköztől. Ez azonban az érzékenységet nem változtatta meg. Erről úgy győződtem meg, hogy megmértem ugyanannak a Röntgen-sugárzásnak beesésekor a kitérést mindkét esetben. Természetesen a vassal bevont nagyobb fadobozon rajta volt az alumíniumablak és fekete kartonlapok is megakadályozták a hősugárzás átjutását. Belátható, hogy a nyitott eszköz nyugtalanabb, mint a zárt; egyensúlyi helyzete nem olyan határozott. (Mindenesetre előnyösebb az olyan hitelesítési eljárás, amely nem kívánja meg a készülék kinyitását; ilyen van, ezt a további vizsgálataimban használni is fogom.)

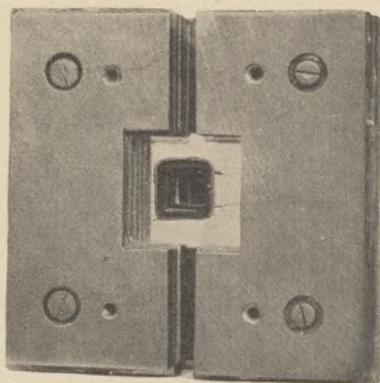
A kitérésnek a beeső sugárzással való arányosságáról, továbbá az alacsonyabb T hőmérséklet állandóságának szükségességéről az újabb eszköz tárgyalásakor emlékezem meg. (Lásd 27. old.)

Mint ahogy az ismertetett hőelektromos oszlop elég magas volt: a gúlák alapja közel 10 cm hosszú szalag mentén helyezkedett el s így a sugárzás csak a Röntgen-lámpától nagy távolságban esett volna be közelítőleg párhuzamosan a gúlák tengelyével, ezért egy újabb hőoszlopot szerkesztettem. Az ismertetett 50—50 %-os wolfram-ólom ötvözetből hengerelt 0.4 mm vastag lemezből, amely időközben megérkezett, 30° szögnyílású, de kb. 12 mm alapélű gúlapalástot készítettem, melyet azonban az alapélekkel párhuzamosan 6 szeletre vágtam (7. kép.). Mindegyik szelethez 0.05 mm-es ezüst és 0.1 mm-es konstantándrótot forrasztottam. Majd a drótok végét staniol- és csillámlemezeken közbehelyezésével vastag sárgarézlemezeken közé fogtam be, úgyhogy az 6 elemet sorba kapcsoltam. A gúlapalást szétvagdalt részei úgy kerültek egymás fölé, hogy a tengely irányában tekintve a palást belsejébe, az ember egy teljes gúlapalástot látott maga előtt (8. kép.). Az egyes palást-részek között persze vékony hézag volt. Ez a hőoszlop is réz-



7. kép.
A szétvagdalt
gúla-palást.

dobozba került és hőszigetelő burok vette körül. Most a sugárzás 12×12 négyzetmm-es területre esett, tehát fölvehettem, hogy a sugarak a gúla tengelyével párhuzamosak. Igaz, hogy viszont hát-



8. kép. A második hőelektromos oszlop.

rányok is léptek föl: a palást nem volt eléggé zárt, a készülék nem volt olyan érzékeny, mint az előbbi.

6. Az újabb hőelektromos mérőeszköz. (Röntgen-ergométer.)

Éppen az utóbb leírt hőelektromos oszlop készítése közben támadt az a gondolatom, hogy kár a gúlapalástot szétvagdalni, jobb volna a maga egészében meghagyni s *egyetlen egy hőelemhez* sugárfelfogónak hozzáferrasztani. Valóban sikerült ilyen eszközt szerkesztenem.

A sugárfelfogó. Ezt az említett $Pb+W$ ötvözetből hengerelt 0.4 mm vastag lemezből készítettem. A gúla helyett 30° szögnyílású *kúpot* választottam, melyet sokkal könnyebben el lehetett készíteni, mint a gúlát. (Ugyanis az ötvözet eléggé törékeny.) A kúp belső alapkörének átmérője 1.18 cm (3. kép), tömege kb 2 gramm. A tengellyel párhuzamos sugárút a palást belsejében majdnem 1.6 mm, jóllehet a lemez vastagsága csak 0.4 mm.

Könnyen meggyőződhetünk róla, hogy az 1.6 mm vastag lemez a 0.07 Å-nél lágyabb sugarakat gyakorlati szempontból nem bo-

csátja magán keresztül. Ugyanis az ötvözet tömegelnyelési együtthatója e sugárzásra:

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Pb+W} = \frac{1}{2} 2.11_{Pb} + \frac{1}{2} 1.95_W = 2.03.$$

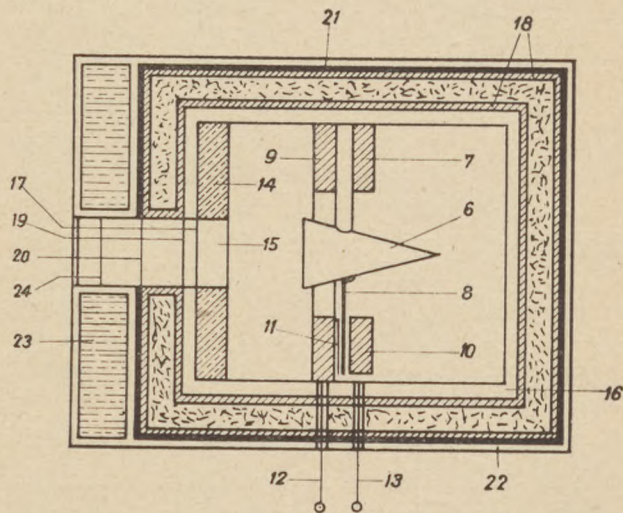
Az ötvözet sűrűsége 14.2 , tehát az 1.6 mm-es (0.16 cm-es) lemez tömege négyzetcm-kint $14.2 \times 0.16 = 2.27$ gramm, mely egyenlő ρd -vel. Így $(\mu/\rho)_{Pb+W} \cdot (\rho d) = 4.61$. Tehát az e kitevője az elnyelési képletben elég nagy arra, hogy a 0.07 Å sugárzásból gyakorlatilag semmi se jusson keresztül a lemezen. Ha vastagabb lemezt veszünk, elérhetjük, hogy az 0.05 Å-ös sugárzás sem hatol keresztül rajta, pedig ez már nagyon kemény sugárzás. Egyúttal persze a lágyabb sugarak sem hatolnak keresztül. A sugárfölfogó kúp alapterülete most olyan kicsiny, hogy a 25 – 30 cm távolságban lévő antikatódból ráeső összes sugarak a tengellyel párhuzamosnak tekinthetők.

Megjegyzendő, hogy a sugárfelfogó kúpot 0.4 – 0.5 mm vastag arany vagy platinalamezből készítve, szintén arra az eredményre jutunk, hogy a kúp kb. 0.05 Å-ig gyakorlatilag semmiféle sugárzást sem bocsát keresztül.

A h ő e l e m. Minthogy egyetlen egy hőelemmel óhajtjuk jelezni a sugárfelfogó csekély hőmérsékletemelkedését, az ezüst-konstantan elempár helyett másikat kellett választani, mert ez erre nem elég érzékeny. Alkalmasnak találtam a *tellur-ezüst* ($Te-Ag$) és a *tellur-nikkel* ($Te-Ni$) elempárt, melynek hőelektromos indítóereje kb. tízszer akkora, mint a konstantan-ezüsté, ugyanakkora hőmérsékletkülönbséget véve a meleg és hideg forrasztási helyek között. (Megjegyzendő, hogy a $Te-Cu$, $Te-Pt$ és $Te-Bi$ elempárok is megfelelnek a célnak az irodalomban található adatok alapján.¹) A tellur-rudat és az ezüstdrótot a sugárfelfogó kúp derekához forrasztottam Wood-féle fémme, melyet elemeiből saját magam olvasztottam össze. A 13. oldalon említett törvényszerűség alapján a hőelektromos indítóerő ugyanakkora volt, mintha a $Te-Ag$ közvetlenül érintkezett volna egymással.

¹ LANDOLT-BÖRNSTEIN: Phys.-Chem. Tabellen, 5. Aufl., II. Ergänzungsband, 2. Teil, 952. o.

Mérés közben gondoskodni kell róla, hogy a $Te-Ag$ másik vége állandó hőmérsékleten (hidegen) maradjon. Ezért a kúp elé 1 cm vastag átfűrt ólomlemez tettem, melyen keresztül csak a kúp belsejébe esett sugárzás (9. kép). Ezenfelül a $Te-Ag$ szabad végét nagy sárgaréz-lemezek közé fogtam, amelyeknek tömege igen nagy a kúpéhoz képest. (Még jobban megfelel a célnak a vörösréz, mert



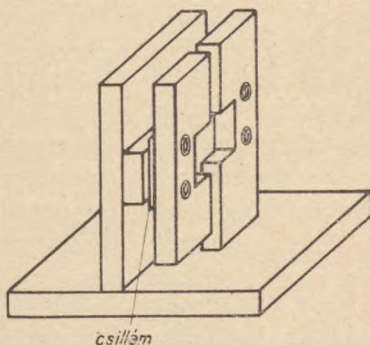
9. kép. A mérőeszköz keresztmetszete. 6 a sugárfelfogó kúp, 7, 9 és 10 vastag sárgarézlemezek, 8 ezüstdrót, 11 vékony csillámlemez, 12 és 13 a kivezetések, 14 vastag ólomlemez, 15 a nyílás, 16 sárgarézdoboz, 17 belső alumíniumhártya, 18 kettősfalu fadoboz, 19 és 20 selyempapír, 21 vasburkolat, 22 sárgarézburok, 23 vízréteg, 24 külső alumíniumhártya.

jobb hővezető.) A tartó-sárgarézlemezeket alól egy másik lemezhez erősítettem, kivéve az ezüstdrót egyik tartólemezét, amely az alaphoz nem ért hozzá és amelyet a vele szomszédos lemtől vékony csillámréteg szigetelt el (10. kép). A két lemezt összekötő csavar fejét is szigetelő anyaggal kibélelt nyílásban helyeztem el. Az így felszerelt hőelemet 6 mm vastag falú sárgarézdobozba zártam, melynek falához az alaplemez hozzáerősítettem. Tehát a sugárzástól védett helyek igen nagy fémtömegekkel érintkeztek. A Röntgensugárzás a doboz falába vágott nyíláson keresztül esett be, melyet

0.01 mm vastag alumíniumhártya zárt el. A doboz oldalfalán keresztül két elektromos kivezetés futott szigetelőgyűrűk belsejében: egyik az ezüstdrót hideg végétől, a másik a tellurrúd hideg végétől indult ki.

Az egész hidegen (helyesebben állandó hőmérsékleten) tartandó fémtömeg több kilogramm súlyú volt, míg a sugárfelfogó csak kb. 2 gramm. A mérés tartama alatt a sugárfelfogó kúp — a hőegyensúly beálltakor is — valamivel magasabb hőmérsékletű, mint a falak és a hideg rész s állandóan ad is át hőt vezetés és sugárzás útján a falaknak, mert állandóan kap. Azonban, minthogy ez a hőmennyiség csekély és a fémtömeg nagy, ezenfelül a kapott melegmennyiség pillanatok alatt eloszlik benne, a falak és a hőelemnek ú. n. hideg forrasztási helyei állandó hőmérsékletűnek tekinthetők.

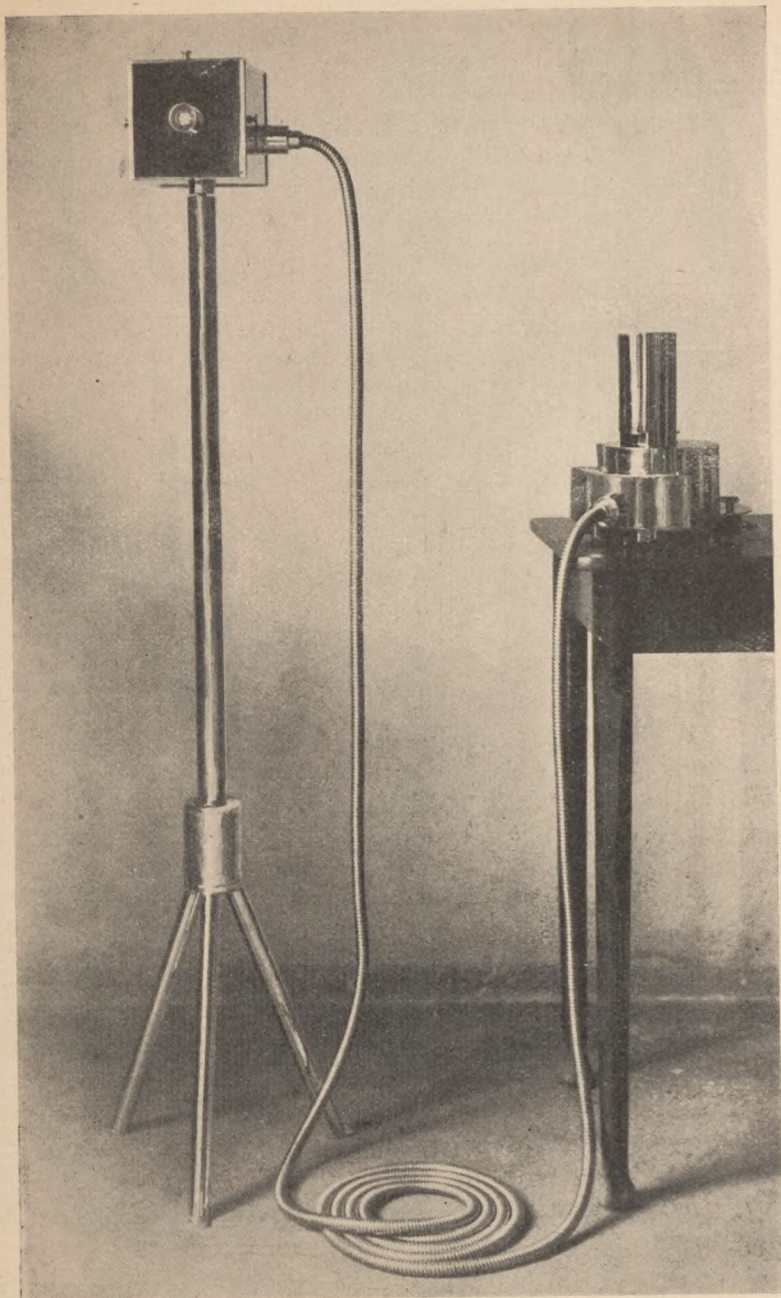
A hőszigetelés. A mérési eljárás alapgondolata az volt, hogy a sárgarézdoboz belsejébe kívülről csak a Röntgen-sugárzás által szállított hő juthat be, legalább is a mérés ideje alatt; viszont ki meg nem juthat belőle meleg. Ezért kitűnő hőszigetelésről kellett gondoskodni (9. kép.) A belső fémdobozt kettősfalú fadoboz veszi körül, melynek falközét helytöltő tölti ki, a sugárzás belépésére szánt nyílást pedig mindkét oldalon selyempapír takarja. A fadobozt 1 mm vastag falú vasburkolat fedi, mely az indukciós zavarok ellen védi a készüléket. Kívül még 2 mm vastag falú rézdoboz burkolja be a készüléket, melyben a sugárbeesés oldalán 1 cm vastag vízréteg van, hogy a lámpa felől közvetlenül érkező hőt felfogja. E külső sárgarézdobozt tükröfényes krómreteg vonja be, mely a hősugarakat jól visszaveri. A sugárbelépési nyílást most is 0.01 mm vastag alumíniumhártya zárja el, amely az esetleg kapott meleget azonnal átadja a vízrétegnek. Szóval a Röntgen-sugárzás egy alumíniumhártyán, 2 selyempapíron és ismét egy alumíniumhártyán keresztül



10. kép. A sugárfelfogó kúp tartó-oszlopai.

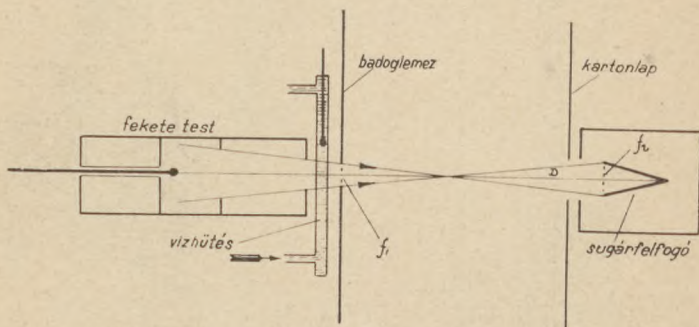
juthat a készülék belsejébe. Hőszugárzás a sugárfelfogót egyáltalában nem érheti: a készülék elé tartott izzólámpa sugárzását nem érzi meg. A szigetelőburkolaton áthatoló vékony és külön szigetelt sárgarézkivezetésekhez csatlakozik a hajlékony fémtömlőbe húzott, összefont vezetőzsinór, mely a készüléktől 4—5 m távolságban elhelyezett galvanométerhez vezet. Az egész készülék a 11. képen látható: maga a mérőeszköz szilárd fémállványon nyugszik; a hajlékony fémtömlő olyan hosszú, hogy a galvanométert a Röntgen-lámpától távol, esetleg egy másik szobában lehet felállítani; célszerű az épület egyik főfalához erősített faliasztalkára tenni.

A galvanométer. Ez HARTMANN & BRAUN gyártmányú forgótekerceses eszköz, külön hőelektromos áramok mérésére készült. Tekercsének ellenállása 2·4 ohm, a külső határellenállás, melynek bekapcsolásakor a galvanométer lengés nélkül foglalja el egyensúlyi helyzetét, 1·9 ohm. Érzékenysége az említett határellenállás bekapcsolásakor a következő: 1 m osztályzat-távolság alkalmával 1 mm kitérésnek megfelel $0\cdot09 \times 10^{-6}$ volt és 230×10^{-10} ampère. A lengési idő fele nyitott tekercs esetében 15 sec. A galvanométert sárgarézelemezből készült és bekrómozott tükörfényes burkolat veszi körül és védi a külső zavaró hatásokkal szemben. Megjegyzendő, hogy a galvanométer eredeti belső védőburkolata vasból készült. A hajlékony fémtömlőben futó vezetőzsinór jó hőszigetelő dugasszal csatlakozik a galvanométernek ugyancsak jól szigetelt szorítócsavarjaihoz. Minthogy a Röntgen-sugárzás beesésekor a galvanométer tükrének szögelfordulása nagyon csekély, az osztályzatot a tükörtől 8—10 m távolságra kellene állítani, hogy jól leolvasható kitéréssek legyenek. Ennek laboratóriumi mérésnél nincsen akadálya, de kényelmetlen, ha az eszközt pl. az orvosi gyakorlatban óhajtjuk használni. Ezért egy olyan tükörleolvasási módszert alkalmaztam, amelyhez nem szükséges az említett nagy távolság, hanem a leolvasó műszert ráerősítettem a galvanométer alzatára, a tükörtől nem messze, tehát a leolvasó műszer mintegy kiegészítő része a galvanométernek. Ennek ellenére körülbelül ugyanannyi osztályzat kitérést észlelhettem, mint távcsöves leolvasáskor az előbbi nagy osztályzattávolság esetén. Egy osztályzat felét jól meg tudtam becsülni. A leolvasó berendezés arra is alkalmas, hogy vele a kitérést regisztrálni lehessen.



11. kép. A mérőeszköz (balról) és a galvanométer (jobbról).

Hitelesítés. Hogy a Röntgen-sugárzás erősségét a sugárfelfogó kúp nyílásának helyén erg/sec.cm^2 egységben meg tudjuk mondani, az eszközt előbb hitelesíteni kell, vagyis meg kell állapítani, hogy egy osztályrésnyi kitérésnek mekkora energiamennyiség felel meg az említett egységben mérve. Nyilvánvaló, hogy e hitelesítésnek csak akkor van értelme, ha a kitérés arányos a sugárzás erősségével és ha a védett (hidegen tartott) forrasztási helyek meghatározott hőmérsékleten vannak. Később részletesen megvizsgáljuk majd e körülmények szerepét a hitelesítésben, most csak annyit bocsátunk előre, hogy az arányosság fennáll, a védett fémtömegek hőmérséklete pedig az érzékenységi szempontjából



12. kép. A mérőeszköz hitelesítése.

mindaddig nem játszik szerepet, míg ez a hőmérséklet a szobahőmérséklet közelében van. Ez nagy előny, mert mellőzhetjük a hőmérsékleti alappontot.

A hitelesítésre a fekete sugárzást használtam. A fekete test kb. 20 cm hosszú és 8 cm átmérőjű máztalan agyaghenger volt, melybe eternit-palából kivágott sugárhatárolókat tettem (12. kép). A hengerre kívül konstantan-drótot tekercseltem, melyet elektromos áram melegített. A hőmérsékletet vas-konstantan hőelektromos hőmérővel és ellenőrzött higanyhőmérővel mértem. (Az elkövetett hiba 0.5° -nál kisebb volt.) A fekete test nyílása előtt kettősfalú befeketített sugárfogó állt, melyen víz folyt keresztül lassú áramban és amelyet könnyen el lehetett tolni a sugárzás útjából. A benne lévő víz hőmérsékletét, mely alig különbözött a szobahőmérséklettől, higanyhőmérővel mértem. Ezután következett az ú. n.

mérési sugárhatároló: nagy bádoglemezbe vágott 1·12 cm átmérőjű köralakú nyílás. Tőle 41·95 cm távolságban volt a sugárfelfogó kúp alapköre, mégpedig úgy, hogy a középpontjukat összekötő egyenes mindkét kör síkjára jó megközelítésben merőlegesen állt. Természetesen most a sugárfelfogó védőburkolatát ki kellett nyitni, mert a hősugarak különben nem hatolhattak volna belsejébe. Tehát mindkét aluminium-hártyát és a selyempapírokat is eltávolítottam. Besötétített szobában teljesen kielégítő volt a hőegyensúly: a galvanométer nyugodtan állt. A sugármérőt még átlukasztott fekete kartonlap is védte a hőhatásoktól.

A hitelesítés a következőképpen folyt le. Mindenekelőtt a fekete test sugárzó nyílását elzártam a vízűtéses sugárfogóval és bevártam a hőegyensúly bekövetkezését, minek jeléül a fekete testben lévő és a sugárfogóban álló hőmérő állása változatlan lett. Ekkor leolvastam a galvanométer állását és a hőmérőket is. Majd eltoltam a sugárfogót és bevártam, míg a galvanométer kitérése elérte a legnagyobb értékét és állandóvá vált. Ezután újra elzártam a sugárzó nyílást, mire a galvanométer ismét elfoglalta eredeti egyensúlyi helyzetét. Végül még egyszer leolvastam a fekete test és a vízűtéses sugárfogó hőmérőjének állását, amelyet pár tizedfokig mindig állandónak találtam.

Ezután hátra volt annak a kiszámítása, hogy a fekete testből mekkora energiamennyiség esik 1 sec alatt a sugárfelfogóra. Ugyanis ezt elosztva a galvanométer kitéréseivel, megkapjuk az 1 osztályrésznyi kitéréshez szükséges beeső energiát mp-ként. A képlet, mely a sugárfelfogóra mp-ként beeső fekete sugárzás energiáját kifejezi, a következő:

$$E_f = \frac{\sigma}{\pi} (T_f^4 - T_s^4) \frac{f_1 f_2}{D^2}. \quad (3)$$

E képletben a σ a fekete sugárzási állandó: jelenti azt az energiamennyiséget, amelyet az 1 abszolút fok hőmérsékletű fekete test felületegysége 1 mp alatt kisugároz,

$$\sigma = 5 \cdot 774 \times 10^{-5} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \text{sec grad}^4} \cdot 1$$

¹ MÜLLER: Zsch. f. Phys. 82, 1, 1933.

T_f a fekete test, T_s a sugárfogó abszolút hőmérséklete; f_1 a sugárzó nyílás területe, f_2 a sugárfelfogó kúp alappjáé; D az f_1 és f_2 távolsága egymástól. Környílások esetében a képlet így is írható:

$$E_f = \pi \sigma (T_f^4 - T_s^4) \left(\frac{r_1 r_2}{D} \right)^2. \quad (3a)$$

A képlet levezetésekor föl vesszük, hogy a T_s hőmérsékletű jól befeketített sugárfogó is fekete sugárzást bocsát ki magából. Ha ezt eltoljuk, a sugárzás útjából akkor csak a fekete sugárzás hőmérsékletét emeltük T_s -ról T_f -re.

Az f_1 környílás sugara katetométerrel mérve $r_1 = 0.56$ cm és az f_2 sugárfelfogóé $r_2 = 0.59$ cm; továbbá a $D = 41.95$ cm.

A hitelesítést három különböző hőmérsékleten végeztem. Az eredményeket az 1. táblázatban foglaltam össze; a pontosság pár %-os.

1. Táblázat.

T_f	C_f°	T_s	C_s°	A galvanom. kitéréseinek középértéke	A galv. 1 oszt. résznyi kitérésének megfelelő energia/sec		
447	174	296	23	85	4,2 erg/sec.	$4,20 \cdot 10^{-7}$ watt	$1,04 \cdot 10^{-7}$ gcal/sec
402	129	296	23	49	4,22 „ „	$4,22 \cdot 10^{-7}$ „	$1,08 \cdot 10^{-7}$ „ „
368,5	95,5	295	22	28,5	4,2 „ „	$4,20 \cdot 10^{-7}$ „	$1,04 \cdot 10^{-7}$ „ „

Hogy ez az érzékenység a Röntgen-sugárzás szempontjából mit jelent, arra nézve megemlítjük, hogy kb. 140 kilovolt csúcsfeszültség és 4 milliampère közepes lámpaterheléskor, wolfram antikatódú lámpa sugárzása, 25 cm antikatód-sugárfelfogó távolság esetén, 120 osztályzatnál nagyobb kitérést okozott, úgyhogy a leolvasó műszer látóterében a mozgó jel egyik szélső helyzetéből kiindulva a másik oldalon eltűnt. Egy kis WULF-féle gyűszűkamrával mért dózis e helyen 1.5 r/sec volt.

A táblázat adataiból egyúttal az is következik, hogy a galvanométer kitérése arányos a beeső sugárzás erősségével (a sugárfelfogó védett részének egy bizonyos hőmérséklete mellett).¹

¹ Kísérleteket fogunk végezni arra nézve is, hogy ugyanazon sugárzás beesésekor mennyire függ a kitérés a sugárfelfogó hideg helyének hőmérsékletétől. A kísérlet egyszerűen úgy végezhető, hogy az észlelő helyiséget előbb kihűtjük, majd $30-35^\circ\text{C}$ -ra befűtjük.

A kitérés nagysága jelentékenyen függ a hőelektromos elem belső ellenállásától is. Ugyanis ennek nem szabad nagyon túllépni a galvanométer részére előírt külső határellenállást, viszont alatta sem szabad maradni. A galvanométer külső határellenállása $r_g = 1.9$ ohm. A hőelemét (r_e) könnyű volt vele megmérni, hiszen nem kellett mást tenni, mint a hőelektromos elem és a galvanométer áramkörébe valamilyen ismert külső ellenállást (r_k) bekapcsolni és megfigyelni a galvanométer kitérésének csökkenését. Föltéve persze, hogy a sugárfelfogóra állandó sugárzás esik és így a hőelektromos indítóerő változatlan. Ekkor az OHM-féle törvény alapján az elektromos indítóerő a két esetben így fejezhető ki:

$$i_1(r_g + r_e) = i_2(r_g + r_e + r_k),$$

hol i_1 és i_2 a két esetben az áramerősséget jelenti, mellyel a galvanométer kitérése arányos. Ebből az egyenletből

$$r_e = \frac{r_k}{\frac{i_1}{i_2} - 1} - r_g. \quad (4)$$

Az i_1/i_2 hányados egyenlő a galvanométer két kitérésének hányadosával; a többi mennyiség meg mind ismeretes a (4) egyenlet jobb oldalán, tehát r_e kiszámítható. A fekete testet 176°C -on tartva és $r = 5$ ohm-ot bekapcsolva a kapott adatokból a sugárfelfogó hőelektromos elem belső ellenállása $r_e = 3.8$ ohm. Ez az 1.9 ohm külső határellenállás kétszerese. Tehát kb. felére lehet kisebbiteni, mikor is a mérőeszköz érzékenysége jelenlékenyen növekszik. Ebből látjuk, hogy a hőelektromos mérőeszköz szerkesztésekor fontos szerepet játszik a galvanométer belső ellenállása is.

A hitelesítés ismertetett módja ellen azt az ellenvetést is lehetne tenni, hogy a Röntgen-sugárzás és a hősugárzás nem egyenlő módon melegíti a sugárfelfogót, hiszen az egyik a fémréteg mélyébe hatol, a másik meg csak a felszínt melegíti. Erre vonatkozóan megjegyezzük, hogy a sugárfelfogó fémkúp jó hővezetőképessége biztosítja a gyors hőkiegyenlítődést.

Megjegyzések a hitelesítéshez. Azt a tapasztalati igazságot, hogy a kitérés arányos a beeső sugárzás erősségével, elméletileg is megindokolhatjuk. Föltesszük, hogy a védett fém-tömegek hőmérséklete állandó, csak a sugárzás erőssége változik.

A sugárfelfogó kétféleképpen ad át hőt környezetének: vezetés és sugárzás útján. (A konvekciótól eltekintünk.) A *vezetés* útján átadott hő (q_v) arányos a sugárfelfogó és a környezet hőmérsékletének különbségével:

$$q_v = a(T_1 - T),$$

ahol a T_1 a sugárfelfogó és T a környezet abszolút hőmérséklete. Legyen a T állandó, a T_1 pedig a beeső sugárzás erősségétől függ.

Vajjon a *sugárzási veszteség* mit eredményez. Fölteesszük, hogy a sugárfelfogó kisugárzására a fekete sugárzás törvényei alkalmazhatók. Tehát hőegyensúly alkalmával bizonyos sugárzás beejtésakor a mp-ként kiadott sugármennyiség növekedése

$$q_s = sT_1^4 - sT^4 = s(T + \Delta T)^4 - sT^4 = 4sT^3 \cdot \Delta T = 4sT^3(T_1 - T),$$

ugyanis a sugárfelfogó sT^4 sugármennyiséget ad át a környezetnek Röntgen-sugár beesése nélkül. Tehát a sugárzás útján kiadott energiatöbblet arányos a hőmérséklet-emelkedéssel, míg ez kicsi.

Az egész hőkiadás a Röntgen-sugárzás beesésekor

$$q_v + q_s = (a + 4sT^3)(T_1 - T). \quad (5)$$

Ha kétszer olyan erős sugárzás esik be, a hőegyensúly bekövetkezésekor kétszer akkora hőmennyiséget kell a sugárfelfogónak átadni a környezetébe. De ez csak úgy lehet, ha a $T_1 - T$ különbség kétszer akkora lesz. Igen, de ez esetben kétszer akkora lesz a hőelektromos indítóerő és az áram erőssége is, tehát kétszer akkora lesz a kitérés.

Föltehetjük, hogy a sugárfelfogó nagyrészt vezetés útján adja át a hőt környezetének és elhanyagolható kicsiny a sugárzás útján bekövetkező hőveszteség. E föltevésre az a körülmény jogosít, hogy a tapasztalat szerint a hőelemek érzékenysége légüres térben nagyon megnövekszik.

Most fölvetjük a másik kérdést: vajjon a védett, a hideg helyek hőmérséklete milyen befolyással van a hőmérséklet emelkedésére változatlan erősségű sugárzás beesésekor. T alaphőmérséklet esetén legyen a sugárfelfogó emelkedett hőmérséklete T_1 . Változzék meg az alaphőmérséklet T' -re, ekkor az emelkedett hőmérséklet legyen T'_1 . Hőegyensúly esetén az első és a második eset-

ben a vezetés és sugárzás útján kiadott hőmennyiségek összege egyenlő:

$$(a + 4sT^3)(T_1 - T) = (a + 4sT'^3)(T'_1 - T'). \quad (6)$$

Ugyanis mindkét esetben ki kell adni a sugárfelfogónak az egész ráeső sugárzást.

Természetesen a (6) egyenletből következik, hogy általában

$$T_1 - T \neq T'_1 - T'.$$

Mégpedig minél magasabb a kiindulási hőmérséklet (T ill. T'), annál kisebb lesz az emelkedés, mert annál erősebb a kisugárzás. Viszont alacsonyabb hőmérsékleten meg fordítva van a dolog. Eppen ezért a hőelem érzékenységet úgy is lehet fokozni, hogy pl. folyékony levegővel vesszük körül: ekkor a sugárzási veszteség kicsiny lesz. A két hőmérsékletkülönbség hányadosa:

$$\frac{T'_1 - T'}{T_1 - T} = \frac{a + 4sT^3}{a + 4sT'^3} = \frac{1 + \frac{4s}{a} T^3}{1 + \frac{4s}{a} T'^3}.$$

Legyen T és T' a szobahőmérséklet körül. Minthogy ekkor vezetés útján nagyobb a hőveszteség, mint sugárzás útján,¹

$$\frac{4s}{a} T^3 \text{ és } \frac{4s}{a} T'^3 < 1.$$

Tehát geometriai sorba fejthetünk:

$$\begin{aligned} \frac{T'_1 - T'}{T_1 - T} &= \left(1 + \frac{4s}{a} T^3\right) \left(1 - \frac{4s}{a} T'^3 + \dots\right) = \\ &= 1 + \frac{4s}{a} T^3 \left(1 - \frac{T'^3}{T^3}\right) - \left(\frac{4s}{a}\right)^2 T^3 T'^3 + \dots \end{aligned}$$

Fölvehetjük, hogy $\frac{4s}{a} T^3 \sim \frac{1}{24}$, mert a vezetés útján való hő-

kiadás a tapasztalat szerint a sugárzási veszteségnek 24-szerese is lehet szobahőmérsékleten.¹ Minthogy ekkor elhanyagolhatunk,

$$\frac{T'_1 - T'}{T_1 - T} \sim 1.$$

¹ LEBEDEV: Ann. d. Phys. 9, 209, 1902.

Szóval tehát elhanyagolható csekély az a változás, melyet a hőmérsékletemelkedésben a hőelektromos elem védett részeinek alaphőmérséklete okoz, ha ez a szobahőmérséklet körül van. De a (2a) képletben a hőmérsékletkülönbségen kívül a védett helyek absz. hőmérséklete (T) is szerepel szorzóképen (a négyzetes tagtól eltekintünk). Ha a T a szobahőmérséklet körül van, ez a körülmény sem jelentős. Egyébként laboratoriumi méréskor olvadó jéggel is körül lehet venni az eszközt.

Tudományos alkalmazások. Nem óhajtjuk részletezni azokat a tudományos kérdéseket, melyeknek vizsgálatában az új sugármérőnek szerepe van, csak azt említjük meg, hogy a Röntgen-sugárzásnak bármilyen hatását vizsgáljuk is, legelsősorban a beeső sugárzás erősségét kell ismernünk, vagy az elnyelt sugárzás energiáját. Ezt pedig sugármérőnkkel kényelmesen és jól meg tudjuk mérni.

Orvosi alkalmazás. (Dózis-mérés.) Az új eszköz egyik nevezetes alkalmazási területének látszik az orvosi Röntgen-sugáradag (dózis) mérése. Az emberi testbéli dózis jelenti azt a Röntgen-sugármennyiséget, amelyet a testnek egy köbcm térfogatnyi része elnyel. (Ez lényegesen különbözik a test felszínének egy négyzetem-es darabjára eső sugárzó-energiától: a sugárzás erősségétől.) Ezt az elnyelt sugármennyiséget kellett volna energia-egységben megmérni, pl. a sugárzás hőhatása alapján. Minthogy ez a Röntgen-gyógykezelés előrehaladásakor is még kivihetetlennek vagy legalább is igen nagy nehézségekbe ütközőnek látszott, e miatt az orvosi gyakorlatban teljesen lemondtak az elnyelt energia megméréséről és a Röntgen-sugáradagot a sugárzásnak ionozó hatása alapján mérték meg s így határozták meg a sugármennyiség egységét is. A Röntgen-sugárzás egysége a *röntgen* (jele «r»): az a sugármennyiség, amely 1 köbcm 0 °C-ú és 760 mm nyomású levegőt járva át, telített áram esetében 1 elektrosztatikai elektromos töltésegységet tesz szabaddá. (A korlátozó föltételeket elhagytuk.)¹

A dózisméréskor rendszerint a levegőben elnyelt sugáradagot mérik meg ionos kamrával az előbbi egységben. A levegőben elnyelt sugáradagtól persze lényegesen különbözik az emberi test lágy

¹ HOLTHUSEN gem. mit. BRAUN: Grundlagen und Praxis der Röntgenstrahlen-Dosierung, Leipzig, 1933. 51. o.

részeinek 1 köbcm-ében elnyelt sugármennyiség, ha az előbbi köbcm levegő helyére tesszük. Azonban részint a tapasztalat, részint föltevés alapján arányosságot vesznek föl a két sugáradag között, mégpedig az arányossági tényezőt függetlennek tekintik a sugárzás minőségétől. Jó megközelítésben megkapjuk az emberi test lágy részeiben elnyelt sugáradagot, ha a levegőben elnyeltet megszorozzuk az emberi test lágy részének a levegőéhez viszonyított közepes sűrűségével. E számítás eredménye persze csak a felől tájékoztat, hogy hány r az emberi testben elnyelt sugármennyiség, de nem fejezi ki ezt energiaegységben. Minthogy azonban a sugárzás erősségének energiaegységben való megmérése útján megállapították, hogy a 0.13 \AA -tól 2 \AA -ig terjedő színekpi tartományban az 1 r -nek megfelelő energiamennyiség eléggé független a hullámhosszúságtól és kb. egyenlő $1/10 \text{ erg}$ -gel, akár erg -ben is kiszámíthatjuk az emberi testben bizonyos idő alatt elnyelt sugármennyiséget, ha ezt r -ben kifejezve ismerjük.¹ Az út amint látjuk, eléggé kerülő.

Nekünk már nem kell ezt a közvetett (kerülő) utat követni, hogy az emberi testben elnyelt sugáradagot energiaegységben megismerjük, hanem közvetlenül is megmérhetjük ezt. Ebben van az új mérési módszernek egyik előnye. E célból csak olyan anyagra van szükségünk, amely jó megközelítésben mindenféle Röntgen-sugárzást úgy nyel el, mint az emberi test lágy részei. Ilyet lehet mesterségesen előállítani pl. szárított és őrölt húsból, de elég jó e célra a paraffin is, meg a víz. Ilyen anyagból vékony lemezt készítünk (néhány mm vagy 1 cm vastagot) és megmérjük a ráeső sugárzás gyengülését. Vagyis előbb megmérjük a beeső sugárzás erősségét, majd a mérőeszköz elé állítjuk az elnyelő lemezt, és ismét megmérjük a keresztüljutó sugárzás erősségét. A kettő különbségét elosztva a lemeznek a sugárzás által átjárt térfogatával, megkapjuk az 1 köbcm térfogatú tömeg által okozott sugárgyengítést. Persze az egész sugárveszteségnek kisebb része szétszóródik. Ezt kiszámíthatjuk a szórási együttható közepes értékével. A szórt rész levonása után megkapjuk a beeső sugárzásnak elnyelt részét: a tulajdonképpeni beesési dózist az emberi test felszíni lágy részeiben, mégpedig erg/sec.cm^3 -ben kifejezve.

¹ KIRCHNER: Hb. d. Experimentalphysik. XXIV. 1., 396. o.; továbbá KULENKAMPPF: 1. c., GAERTNER: 1. c., RUMP: 1. c.

Megmondhatjuk azt is, hogy ennek az erg/sec.cm^3 -ben mért dózisnak az ionozó hatás alapján levegőben mérve hány r felel meg. E végett el kell osztani az erg/sec.cm^3 -ek számát az elnyelő anyagnak (az emberi test lágy részeinek) a normális levegőre vonatkoztatott sűrűségével; ekkor megkapjuk az 1 köbcm levegőben elnyelt sugárzást, de energiaegységben. Minthogy azonban $\frac{1}{10}$ erg-nek kb. 1 r felel meg, az erg-ek számát tízzel kell megszorozni és megkapjuk az r -ek számát mp-ként, vagyis a másodperc-dózist r -ben kifejezve.

Tehát megteremtettük a kapcsolatot a régi r -ek és az új sugármérő adatai között. Ez azért fontos, mert az eddigi orvosi táblázatokban r -ben fejezik ki a sugáradagokat.

Azonban erre a kapcsolatra nincs is szükségünk, ha a sugáradagot erg-ben mérjük és új táblázatokat készítünk, melyekben a gyógykezeléshez szükséges adatokat is erg-ben fejezzük ki. Ezt meg is tehetjük. Éppen ezért DAUVILLIER francia fizikus nyomán javasoljuk egy új Röntgen-sugárzásegység bevezetését: ez a Röntgen-erg, jele «*re*»; ez jelenti azt a Röntgen-sugármennyiséget, melynek energiaegyenértéke 1 erg. Ez az egység kb. tízszerese az eddigi r -nek. Az új készüléket pedig, amellyel Röntgen-erg-ben tudjuk mérni a dózist, Röntgen-ergométernek óhajtjuk elnevezni.

Eszközünk azonban csak a beesési felszíni dózist méri meg, éppen úgy, mint a nagy ionos kamra. Pedig a valóságban a valódi felszíni dózisra van szükségünk, vagyis a beesési dózishoz még hozzá kell adni a test belsejéből származó visszasugárzásból eredő dózist is. Ezt a valódi felszíni dózist a Röntgen-ergométerrel közvetlenül nem tudjuk megmérni, — legalább is mostani alakjában nem — úgyszintén a nagy ionos kamrával sem, hanem csak a kicsiny gyűszűkamrával, vagy valamilyen más nevű kicsiny kamrával. Azonban a beeső sugárzás közepes keménységét (vagy az aluminium, vagy a réz felező-rétegvastagságát) és a sugárzási mezőt ismerve, táblázatokból vagy grafikonokból kiolvashatjuk, hogy a visszasugárzási pótlék hány százalékát teszi ki a beeső sugárzásnak.

A Röntgen-ergométert föl lehet használni a gyűszűkamra hitelesítésére is, persze erg/sec.cm^3 -ben. E célból nem kell mást tenni, mint egyetlen egy esetben megmérni, hogyha az elnyelő paraffinréteg helyére a gyűszűkamrát tesszük, mekkora lesz az 1 mp alatt mérhető szabaddá vált elektromos töltés. Minthogy tudjuk, hogy ez

hány erg/sec-nak felel meg köbcm-enként, kiszámíthatjuk az 1 erg/sec-ra eső töltést.¹ (Ez kb. 10-szer akkora mint az 1 r-nek megfelelő.) Ha most föltesszük, hogy a paraffin elnyelése mindenféle sugárzásra arányos a levegőével, mondhatjuk, hogy amilyen mértékben megváltozik a paraffinréteg elnyelése, ugyanolyan mértékben változik meg a gyűszűkamra adata is.² Az így hitelesített gyűszűkamra alkalmas a valódi felszíni dózis mérésére is, mégpedig erg/sec. cm³-ben.

Az eddig ismertetett mérésekben a Röntgen-ergométert helyettesíteni lehet az iónos kamrával, sőt a visszasugárzás mérése végett szükség is van a gyűszűkamrára. Van azonban a Röntgen-gyógykezelésnek olyan területe is, ahol csak az ergométer használható. Ha azt a kérdést akarjuk eldönteni, hogy a különböző keménységű sugárzásokból vett egyenlő elnyelt adagoknak milyen a hatása az élő szervezetre, akkor az iónos kamrát nem használhatjuk, legfeljebb csak jó közelítő mérésre. Ugyanis eddig csak a 0.13—2 Å-ig terjedő színeképi tartományban sikerült eldönteni, hogy megegyező, szabaddá tett elektromos töltésnek egyenlő elnyelt sugárzás is felel meg a levegőben és néhány gázban. Azonban a kemény tartományban a mérés már eddig is eléggé bizonytalan. S nagy kérdés, hogy a 0.1 Å-nél rövidebb hullámú sugarakra igaz-e ez a tétel. Ezt magát kísérletileg eldönteni is nagyon nehéz, mert ilyen kemény, de a mellett eléggé egyenmű sugárzást előállítani nehéz feladat. Ebben a nagyon kemény tartományban nem mondhatjuk azt, hogyha olyan az iónozó hatás, mint valamilyen lágy sugárzásé, akkor mindkét esetben egyenlő a levegőben elnyelt sugárzás is (1 köbcm-re vonatkozólag). Tehát azt sem tudjuk biztosan, hogy egyenlő iónozó hatáskor az emberi testbeli dózisok egyenlők-e vagy sem. A Röntgen-ergométerrel ez esetben is pontosan megmérhetjük a sugárgyengülést és a szórás leszámítása után az elnyelt sugáradagot. Hasonlóképpen tájékozatlanok vagyunk a viszonyok felől a 2Å-nél lágyabb tartományban is, hiszen itt sem tudjuk biztosan, hogy egyenlő

¹ Hallgatagon föltesszük, hogy a szabaddá vált töltés arányos a levegő által elnyelt sugárzás energiájával, minőségére való tekintet nélkül. Ez éppen a nagy kérdés, hogy ez általában így van-e; l. a köv. részt.

² Ez szigorúan véve nincs így.

iónozáskor egyenlő-e az elnyelt energia is. (Sőt a tapasztalat szerint az $1.5-2\text{\AA}$ színeképi tartományban az iónozó hatás alapján mért bőrpirosító-dózis is nagyon bizonytalan.¹ Alapvető kérdés, hogy az ergométerrel való méréskor is ugyanilyen-e.)

Bár az orvosi gyakorlatban elfogadott álláspont szerint a Röntgen-sugárzás biológiai hatása teljesen «párhuzamosan» halad — mint mondják — az iónozó hatással akármilyen színeképi tartományban (eltekintve az utóbb említettől), mégsem szabad tisztán az iónozó hatásra támaszkodnunk, mert ezzel általában nem tudjuk eldönteni, hogy ugyanazt a biológiai hatást egyenlő vagy különböző elnyelt Röntgen-sugárenergia okozza-e.

*

E vizsgálatokat a kir. magy. Pázmány Péter tudományegyetem gyakorlati fizikai intézetében végeztem. Hálás köszönetemet fejezem ki RYBÁR ISTVÁN r. tag úrnak, ez intézet igazgatójának értékes tanácsaiért és támogatásáért. Ügyszintén őszinte köszönettel tartozom KELEN BÉLA egyetemi tanár úrnak, az egyetemi Központi Röntgen-Intézet igazgatójának, aki évek hosszú során át nemcsak szakavatott tanácsaival támogatott, már régen kiemelve a Röntgen-energiamérés fontosságát, hanem a vezetése alatt álló intézet eszközeit is rendelkezésemre bocsátotta. Köszönetet mondok CZUNFT VILMOS egyetemi m. tanár úrnak is becses tanácsaiért.

Végül köszönetemet fejezem ki LINDENMAYER KÁROLY úrnak, az egyetemi gyakorlati fizikai intézet műszerészének, aki a Röntgen-ergométert terveim szerint elismerésre méltó ügyességgel elkészítette.

¹ HOLTHUSEN gem. m. BRAUN: l. c. 195. o.

DIE ENERGIEMESSUNG DER RÖNTGENSTRAHLEN

I. UND II. TEIL.

(Mit besonderer Rücksicht auf die medizinische Dosimetrie.)

Von E. CSÁSZÁR, korresp. Mitglied der Akademie.

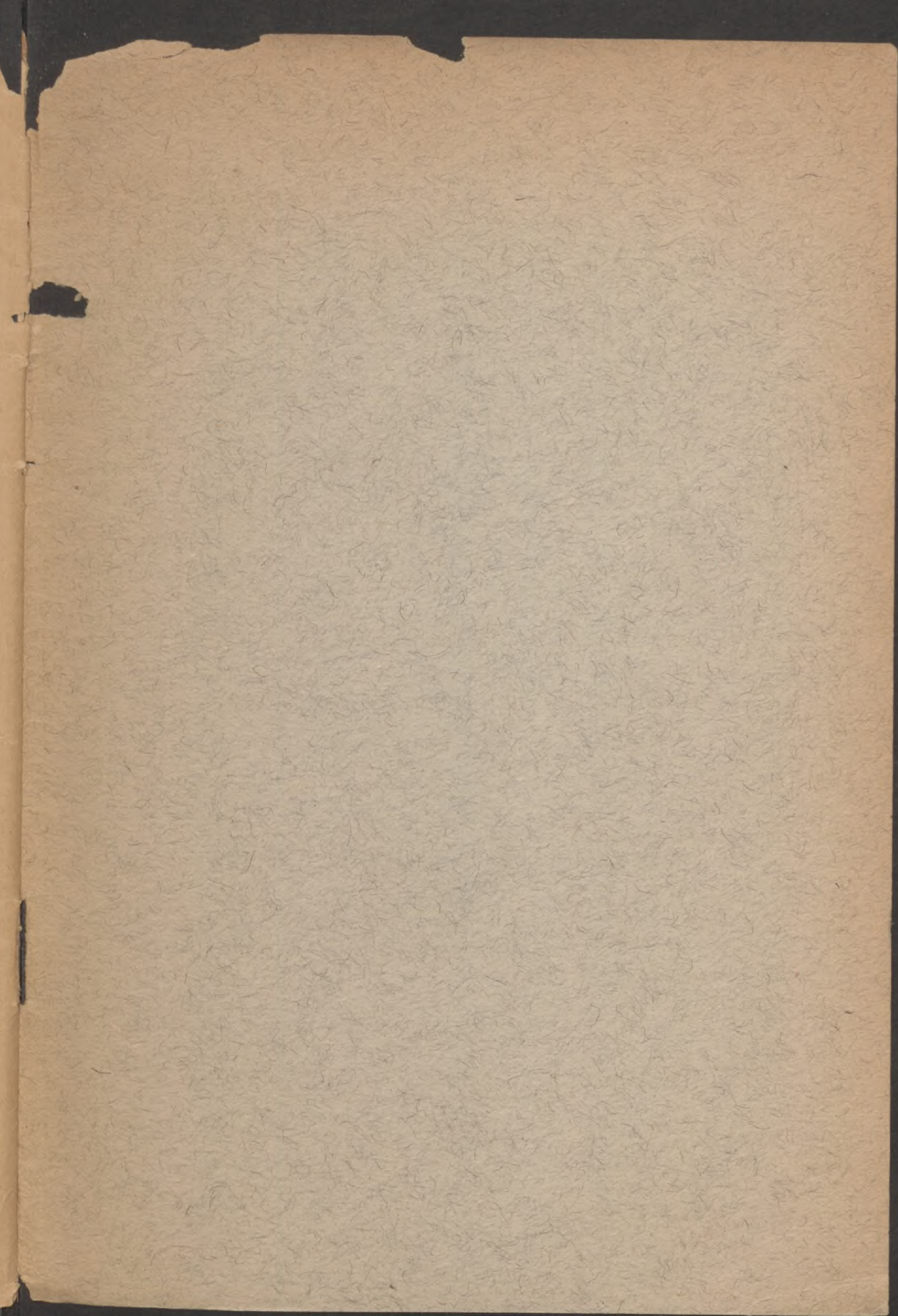
Nach kurzer Beschreibung der bisherigen Messmethoden der Röntgenstrahlenenergie findet der Verfasser die thermoelektrische Methode als die am meisten geeignete. Die Vorversuche hat er mit einer Thermosäule ausgeführt, welche aus 14 Silber—Konstantan Elementen mit kleinen Goldpyramiden als Strahlungsempfängern besteht. Im neuen Apparat gibt es *ein einziges Thermoelement aus Silber-Tellur* mit einem konischen Strahlungsempfänger aus Blei-Wolframlegierung. Die 0.4 mm Wanddicke erlaubt die Messung ziemlich harter Strahlen (bis 0.07 Å, sogar noch bis 0.05 Å, wenn der Absorber dick genug ist). Der hohlraumartige Absorber empfängt auch den grössten Teil der sekundären Strahlungen. Der Empfänger ist ausgezeichnet isoliert gegen Wärmewirkungen und doch ist der Apparat leicht transportabel. Er ist durch einen gut isolierten Kabel mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden, welcher mit einer neuen Ablesungsmethode ausgerüstet wurde. Die Eichung wurde mit Hilfe schwarzer Strahlung ausgeführt; einem Skalenteil entspricht ca 1.10^{-7} gcal. sec.

Der Apparat kann auch in der medizinischen Dosimetrie eine Anwendung finden, und zwar kann man die absorbierte Energie z. B. im Paraffin unmittelbar messen. Die Rückstrahlung wird aus Tabellen ausgelesen. Der Verfasser schlägt nach DAUVILLIER vor als *Röntgen-Einheit diejenige Menge der Röntgenstrahlen anzunehmen, welche mit der Energie 1 Erg äquivalent ist*. Der Name dieser Einheit ist der *«Röntgenerg (re)»*. Der neue Apparat wurde *«Röntgen-ergometer»* genannt.

(Aus der Sitzung der III. Klasse der Ungarischen Akademie der Wissenschaften vom 11. Juni 1934.)







FRANKLIN-TÁRSULAT NYOMDÁJA.

Felelős kiadó : CSÁSZÁR ELEMÉR.
