

14019

13

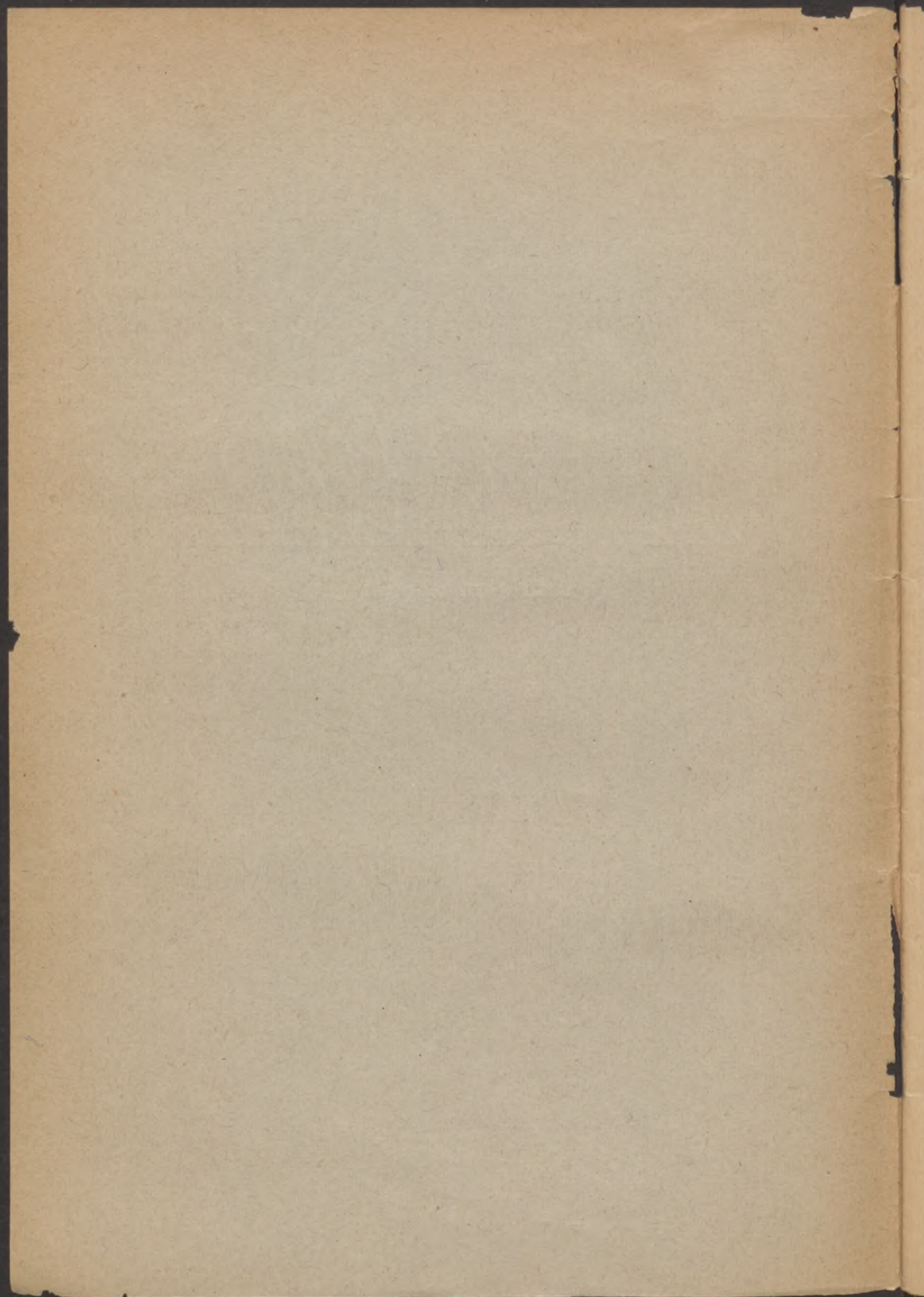
14.019

# KÜLÖNLENYOMAT

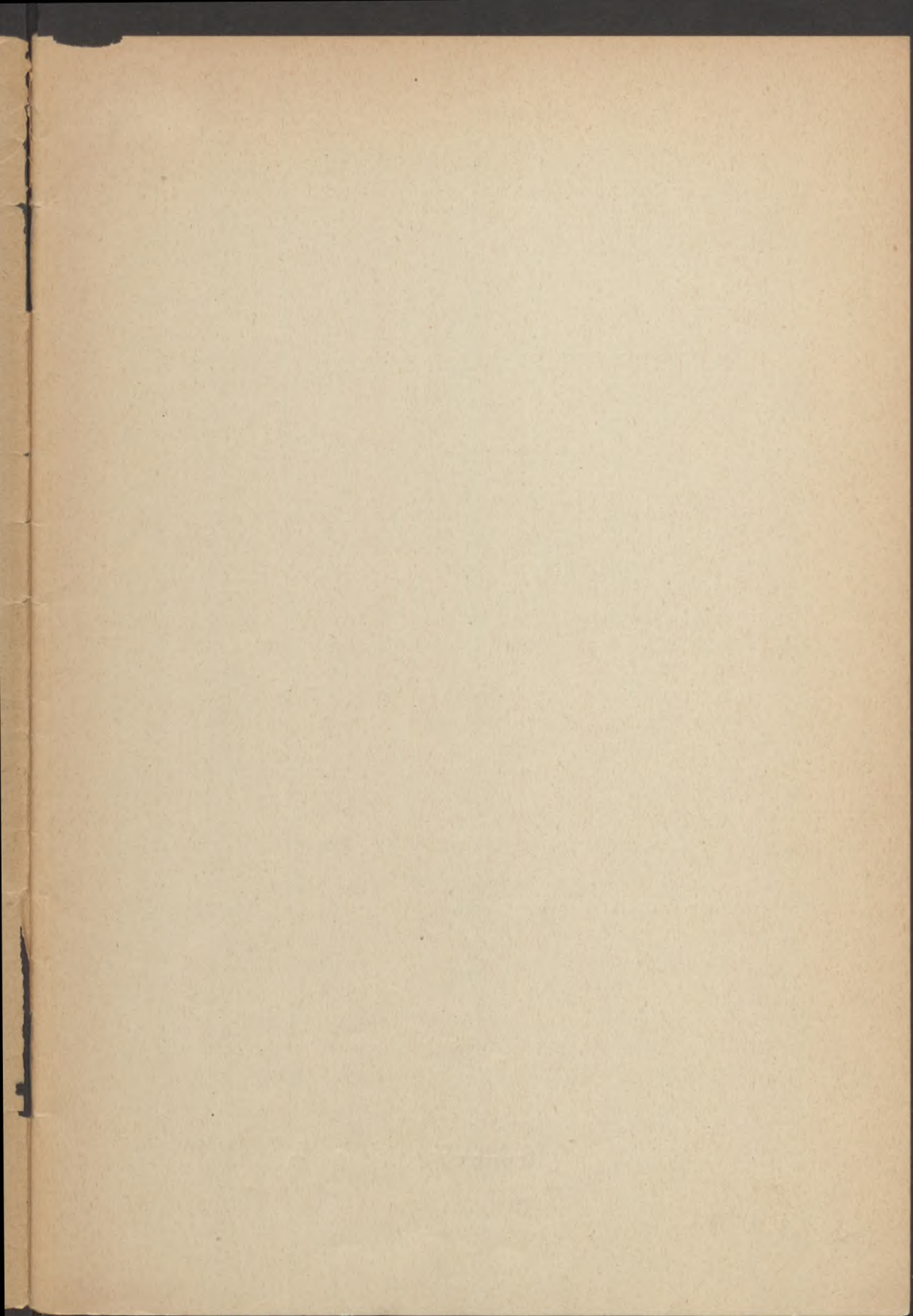
A

•MATEMATIKAI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉRTESÍTŐ•

1936. évi LV. kötetéből







## KÜLÖNLENYOMAT

a «Magyar Tudományos Akadémia  
Matematikai és Természettudományi  
Értesítője»

LV. kötetéből. Budapest, 1937.

## SONDERABDRUCK

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

Band LV, Budapest, 1937.

## A RÖNTGEN-SUGÁRZÁS ENERGIÁJÁNAK MÉRÉSE.

## III. rész.

CSÁSZAR ELEMÉR lev. tagtól.

Hasonló című régebbi dolgozatomban<sup>1</sup> ismertettem egy készüléket, mely alkalmas a Röntgen-sugárzás erősségének ( $I_0$ ) vagyis az 1 négyzetcentiméterre merőlegesen 1 mp. alatt eső sugárzó-energiának a megmérésére. A készüléket Röntgen-ergométernek neveztem el, mert a sugárzás erősségét  $\text{erg/cm}^2.\text{sec}$  egységben lehet vele mérni. Néha előnyösnek látszik az erg helyett százszorosát: a hektoerget használni egység gyanánt. Dolgozatom végén csak egészen röviden vázoltam az elnyelt sugárzás mérésére vonatkozó alapelveket, most azonban részletesen óhajtom ismertetni, hogy mi módon lehet az ergométerrel megmérni az *elnyelt Röntgen-sugáradagot* vagy más néven a *dózist* ( $D$ ).

## 1. A dózis meghatározása és egységei.

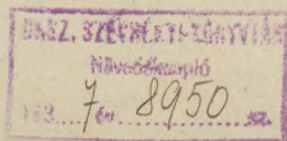
Térfogati dózis ( $D^{\text{kem}}$ ) alatt értjük valamely test kicsiny térfogatú része által elnyelt energia ( $\Delta E$ ) és a kicsiny térfogat ( $\Delta v$ ) hányadosát. Tehát

$$D^{\text{kem}} = \frac{\Delta E}{\Delta v}.$$

Azt is szokták mondani, hogy a térfogati dózis jelenti a testnek 1 köbcentiméternyi részében elnyelt sugárzást. A meghatározásból következik, hogy e dózis jellege energia/köbcm,

<sup>1</sup> Császár E. Mat. és Term. Ért. LII. 1. o., 1934.

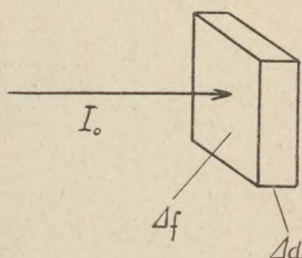
66381





tehát kifejezhető  $\text{erg/cm}^3$  vagy  $\text{hektoerg/cm}^3$  egységben. Minden további nélkül belátható, hogy ez a dózis függ a sugárzás erősségétől és minéműségétől, továbbá az elnyelő testtől.

Minthogy az ergométerrel közvetlenül a sugárzás erősségét mérjük meg, a dózis kiszámítása végett összefüggést kell megállapítanunk a  $D^{\text{kem}}$  és az  $I_0$  között. E végett gondoljunk a testnek egy lemezszerű térfogatelemére, melynek vastagsága  $\Delta d$  és melynek  $\Delta f$  területű alapjára



1. kép.

merőlegesen esik az  $I_0$  erősségű Röntgen-sugárzás (1. kép). Legyen a valódi elnyelési együttható  $\bar{\mu}$ . Ekkor a  $t$  idő alatt a kicsiny test által elnyelt energia

$$\Delta E = I_0 \Delta f \cdot \bar{\mu} \cdot \Delta d \cdot t = I_0 \bar{\mu} \cdot \Delta v \cdot t.$$

Ebből a térfogati dózis

$$D^{\text{kem}} = I_0 \bar{\mu} t.$$

A másodpercre vonatkoztatott térfogati dózis vagy röviden a térfogati másodperc-dózis vagy dózis-teljesítmény ( $D_{\text{mp}}^{\text{kem}}$ ) a következő:

$$D_{\text{mp}}^{\text{kem}} = \frac{D^{\text{kem}}}{t} = I_0 \bar{\mu}. \quad (1)$$

Tehát a térfogati másodperc-dózist úgy kapjuk meg, hogy a sugárzás erősségét megszorozzuk a valódi elnyelési együtthatóval; kifejezhető  $\text{erg/cm}^3 \cdot \text{sec}$  egységben.

Az elnyelési együttható többek között a test sűrűségétől, tehát egyúttal hőmérsékletétől és a reá ható külső nyomástól is függ, ami — különösen gázok esetében — megnehezíti a dózis kiszámítását, mert nem elég a sugárzás erősségét és minéműségét, továbbá a test anyagi minőségét ismerni, hanem a hőmérsékletét és nyomását is tudnunk kell. Ezért BEHNKEN<sup>1</sup> kezdeményezésére indokoltnak látszik a *térfogat helyett tömeget* használni a dózis meghatározásában. BEHNKEN szerint a tömeg-

<sup>1</sup> H. BEHNKEN: Strahlentherapie, 50, 476. o., 1934.



dózis ( $D^{gr}$ ) jelenti a testnek kicsiny tömegű részében elnyelt sugárzás ( $\Delta E$ ) és a kicsiny tömeg ( $\Delta m$ ) hányadosát:

$$D^{gr} = \frac{\Delta E}{\Delta m}.$$

Behelyettesítve ebbe  $\Delta E$  értékét,

$$D^{gr} = I_0 \bar{\mu} \frac{\Delta v}{\Delta m} t.$$

Azonban

$$\frac{\Delta v}{\Delta m} = \frac{1}{\rho},$$

hol  $\rho$  jelenti a test abszolút sűrűségét, tehát

$$D^{gr} = I_0 \frac{\bar{\mu}}{\rho} t.$$

Amint látjuk, a  $\bar{\mu}$  helyett  $\frac{\bar{\mu}}{\rho}$  vagyis a tömeg-elnyelési együttható lépett be, mely független a hőmérséklettől és nyomástól. Minthogy az  $I_0 \bar{\mu} t$  jelenti az 1 köbcm-nyi térfogatban elnyelt sugárzást és a  $\rho$  meg jelenti az 1 köbcm-be eső grammok számát, nyilvánvaló, hogy a *tömeg-dózis jelenti a test 1 gramm tömegű része vagy röviden a tömegegység által elnyelt sugárzást*. Kifejezhető erg/gr egységben. Ezt is lehet az időegységre vonatkoztatni s ekkor

$$D_{mp}^{gr} = \frac{D^{gr}}{t} = I_0 \frac{\bar{\mu}}{\rho}. \quad (2)$$

Ez utóbbit tömeg-másodperc-dózisnak is nevezhetjük; értékét úgy kapjuk meg, hogy a sugárzás erősségét megszorozzuk a valódi tömegelnyelési együtthatóval; kifejezhető erg/gr.sec egységben.

E dózis-meghatározásokban új mértékegységre nem volt szükség, mert sugárzó-energiát kellett mérnünk s ennek egysége gyanánt meg az erget választottuk.

Az (1) és (2) képlet alapján belátható, hogy

$$D_{mp}^{gr} = \frac{D_{mp}^{kcm}}{\rho} \quad \text{és} \quad D_{mp}^{kcm} = D_{mp}^{gr} \rho.$$

E képletek alapján könnyen áttérhetünk a térfogati dózisiról a tömeg-dózisra és fordítva.



Az orvosi gyakorlatban nem határozzák meg a dózist ilyen módon, hanem az ionozó hatás alapján csupán csak levegőben tájékozódunk az elnyelt sugárzásról, de nem is energia-egységben, hanem bizonyos ionos egységben fejezik ki a mérések eredményét. Az előbbi térfogati másodperc-dózisnak megfelel a következő meghatározás. A másodperc-dózis egysége az a Röntgen-sugármennyiség, amely egy köbcm normális állapotú levegőt átjárva, teljes ionozás és a falhatások kiküszöbölése esetén, benne 1 elektrosztatikai töltésegység/másodperc erősségű telített áramot indít. Ezt nevezik 1 *r*/sec-nak. A tömegegységre vonatkoztatott dózisegységet most úgy kellene meghatározni, hogy 1 gramm vagy 1 milligramm levegőt vennénk alapul és 1 mikroampèret vagy egy milliárdrészt ampèret választanánk áramerősségnek. Azonban ekkor az «*r*» egység is módosulna. Ezért BEHNKEN 1 köbcm 0 °C-ú és 760 mm nyomású levegő tömegét vette alapul, mely 1.29 milligramm, és a másodperc-dózis egységét így határozta meg: a másodperc-dózis egysége az a Röntgen-sugármennyiség, amely 1.29 milligramm levegőben, teljes ionozáskor és a falhatások kiküszöbölésekor, 1 elektrosztatikai töltésegység/másodperc vagyis  $3.33 \cdot 10^{-10}$  ampère erősségű telített áramot indít. A levegő hőmérséklete és nyomása most nem szerepel. Ugyanis magasabb hőmérséklet és kisebb nyomás esetében nagyobb térfogatú levegőről van szó, melynek tömege azonban mindig ugyanakkora.

Már most megemlítjük, hogy a dózis energiaegysége (a Röntgen-erg) és ionozási egysége (az «*r*») között elég széles színképi tartományban a hullámhosszúságtól független összefüggés áll fenn, ugyanis 1 «*r*» egyenértékű 0.107 Röntgen-erggel. Ennek az összefüggésnek nagy előnye, hogy segítségével az energiaegységben mért adatokat kifejezhetjük ionozási egységben és fordítva is.

Most azzal óhajtunk foglalkozni, hogy az (1) és (2) képlet alapján mi módon lehet megmérni az elnyelt energiát egy testben, főleg pedig *vízben* és *levegőben*, vagyis hogyan lehet meghatározni az időegységre vonatkoztatott dózist különösen e két utóbbi anyagban. Mégpedig azért választjuk e két anyagot, mert a vízben elnyelt energia jó megközelítésben egyenlő az emberi test lágy részeiben elnyelt sugárzással, a levegőben elnyelt



energia pedig arányosnak tekinthető ezzel, egyenlő térfogatokat véve alapul. Az (1) és (2) képlet alapján belátható, hogy előbb meg kell mérnünk a sugárzás erősségét, azután a valódi elnyelési együtthatót. Mindkettőt az ergométerrel mérjük meg. Azonban minthogy az elnyelési együttható lényegesen függ a sugárzás minémiségétől, előbb az *egynemű*, majd az *összetett sugárzás* elnyelésével foglalkozunk. Megjegyezzük, hogy a mérés tetszés-szerinti elnyelő anyag esetében elvileg ugyanígy végezhető el.

## 2. Dózismérés egynemű sugárzás beesésekor.

Vegyük fel, hogy  $\lambda$  hullámhosszúságú egynemű sugárzással van dolgunk. A dózis meghatározása végett mindenekelőtt meg kell mérni a beeső sugárzás erősségét. E célból figyelembe kell vennünk, hogy az ergométer leolvasó műszerén 1 osztályzatnyi kitérésnek megfelel  $4.2 \text{ erg/mp}$  és a sugárfelfogó kúp alapterülete  $1.09 \text{ négyzetcentiméter}$ . Tehát, ha a műszer kitérése  $a$ , akkor a sugárzás erőssége

$$I_\lambda = \frac{a \cdot 4.2}{1.09} \text{ erg/cm}^2 \cdot \text{sec.} \quad (3)$$

Ezután a valódi elnyelési együtthatót kell megmérnünk. Ez nem könnyű feladat. Ugyanis lemezszerű testek esetében könnyen megmérhetjük a gyengítési együtthatót egynemű sugárzás beesésekor az

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

képlet alapján, melyben  $I$  jelenti a keresztüljutó sugárzás erősségét,  $\mu$  a gyengítési együtthatót,  $d$  pedig a lemez vastagságát. A gyengítési együtthatóból azonban még ki kell vonni a különféle sugár és elektronszóródás által előálló veszteségeknek megfelelő együtthatókat s csak azután ismerjük a valódi elnyelési együtthatót. A legegyszerűbb eset az, midőn valamilyen nagy rendszámú elemre olyan lágy sugárzás esik, hogy az elem jellemző sugárzása nem lép föl és elektronok sem igen válnak ki belőle. Ekkor csak elnyelt és szétszóró sugárzásról van szó: az előbbi a másfajta energiává átalakult sugárzásrész, az utóbbi



pedig a továbbra is sugárzó energia alakjában maradó rész. A két rész a tömegegységre vonatkoztatva így fejezhető ki:

$$I = I_2 \left( \frac{\bar{\mu}}{\varrho} + \frac{\sigma_0}{\varrho} \right) = I_2 \frac{\bar{\mu}}{\varrho} + I_2 \frac{\sigma_0}{\varrho}.$$

A  $\frac{\bar{\mu}}{\varrho}$  a valódi elnyelési együttható, a  $\frac{\sigma_0}{\varrho}$  pedig a szórási együttható a tömegegységre vonatkoztatva. Tehát  $I_2 \frac{\bar{\mu}}{\varrho}$  jelenti a tömegegységben maradó vagyis az elnyelt energiát, az  $I_2 \frac{\sigma_0}{\varrho}$  pedig az általa szétszórt sugárzás energiáját.

A klasszikus felfogás értelmében a szórási együttható  $\left( \frac{\sigma_0}{\varrho} \right)$  független a hullámhosszúságtól és az elmélet szerint, melyet a tapasztalat is megerősít egyes esetekben,

$$\frac{\sigma_0}{\varrho} = 0.4 \frac{Z}{A},$$

hol  $Z$  a szétszóró elem rendszáma,  $A$  pedig atomsúlya. Mint-hogy közelítőleg — a hidrogén kivételével — a  $\frac{Z}{A} \sim \frac{1}{2}$ ,

$$\frac{\sigma_0}{\varrho} \sim 0.2.$$

Vegyület esetében

$$\frac{\sigma_0}{\varrho} = 0.4 \frac{\sum Z}{\sum A} = 0.4 \frac{\sum Z}{M},$$

ahol az összegezés a molekulában lévő összes atomokra kiterjesztendő és  $M$  a molekulasúlyt jelenti.

Víz esetében

$$\frac{\sum Z}{\sum A} = \frac{2+8}{2 \cdot 016 + 16} = \frac{10}{18 \cdot 016}$$

s így

$$\frac{\sigma_0}{\varrho} = 0.222.$$

A levegőnek mind az oxigén, mind a nitrogén alkotórészére vonatkozólag  $\frac{Z}{A} \sim \frac{1}{2}$ , ugyanis a nitrogénre  $7/14 \cdot 008$ , az oxigénre  $8/16$ . Így tehát  $\frac{\sigma_0}{\varrho} \sim 0.2$

Azonban a sugárszórási együttható nem állandó, hanem a COMPTON-féle jelenség következtében a hullámhosszúságtól függ. Mégpedig különösen kisebb rendszámú elemek ( $H, C, N, O, \dots$ ) vagy ezeknek vegyületei körében a COMPTON-féle képlet szerint:

$$\frac{\sigma_s}{\varrho} = \frac{\sigma_0}{\varrho} \cdot \frac{1+a}{(1+2a)^2}, \quad (4)$$

ahol

$$a = \frac{h}{mc} \cdot \frac{1}{\lambda} = 0.0242 \frac{1}{\lambda}.$$

E képletben  $h = 6.54 \cdot 10^{-27}$  erg.sec,  $m$  az elektron tömege,  $c$  pedig a fény terjedési sebessége,  $\lambda$  a beeső fény hullámhossza.

Az elektronoknak átadott energia felől (lökési elektronok) tájékoztat az elektronszórási együttható:

$$\frac{\sigma_e}{\varrho} = \frac{\sigma_0}{\varrho} \frac{a}{(1+2a)^2}.$$

Látható, hogy

$$\frac{\sigma}{\varrho} = \frac{\sigma_s}{\varrho} + \frac{\sigma_e}{\varrho} = \frac{\sigma_0}{\varrho} \frac{1}{1+2a}.$$

Ha  $\lambda \gg \frac{h}{mc}$ , vagy  $m \gg \frac{h}{c\lambda}$ , akkor  $a \sim 0$  és

$$\frac{\sigma_s}{\varrho} = \frac{\sigma_0}{\varrho} = \frac{\sigma}{\varrho}.$$

A  $\frac{\sigma}{\varrho}$  együtthatóra még más, az említetténél bonyolultabb kifejezéseket is vezettek le. Így a BOTHE-féle képlet a következő:

$$\frac{\sigma}{\varrho} = \frac{\sigma_0}{\varrho} \cdot \frac{1}{1 + \frac{3}{2}a + \frac{2}{3}a^2}.$$

A BOTHE-féle képlet még valamivel jobban megegyezik a tapasztalattal, mint COMPTONÉ.

A hullámmechanika alapján KLEIN és NISHINA a következő képletet vezették le:

$$\frac{\sigma}{\varrho} = \frac{\sigma_0}{\varrho} \left\{ \frac{3}{4} \frac{1+a}{a^3} \left[ \frac{2a(1+a)}{1+2a} - \log(1+2a) \right] - \frac{3}{4} \frac{1}{2a} \left[ \frac{2a(1+3a)}{(1+2a)^2} - \log(1+2a) \right] \right\}.$$



Ez a képlet különösen nagyon rövid hullámok esetében fejezi ki a szórási együtthatót a tapasztalattal megegyező módon. A mi céljainknak jól megfelel a COMPTON-féle képlet.

Tehát ha a sugárszórási veszteséget is figyelembe akarjuk venni, akkor a tömeggyengítési együtthatóból ki kell vonni a sugárszórási együtthatót és ezzel kell számolni a  $\frac{\mu}{\rho}$  helyett. Vagyis a tömegegységben maradó sugárenergia a szóráson fölül

$$I_{\lambda} \left( \frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho} \right). \quad (5)$$

Abban a kedvező esetben, midőn a szóráshoz képest a többi veszteségek elhanyagolhatók, ez a képlet fejezi ki a tömegegységben benne maradó energiát, amely más, pl. hőenergiává alakul át.

Az 1. táblázatban az aluminium, továbbá a víz és levegő tömeggyengítési és szórási együtthatóit állítottuk össze, részint a tapasztalat (Al), részint pedig a COMPTON-féle képlet felhasználásával.<sup>1</sup> Kiszámítottuk a gyengítési és sugárszórási együtthatók különbségét is, melynek az (5) képletben fontos szerepe van.

1. táblázat.

| $\lambda$ (Å) | Al                 |                         |  | Víz                |                         |  | Levegő             |                         |  | $\left( \frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho} \right)_v$ |
|---------------|--------------------|-------------------------|--|--------------------|-------------------------|--|--------------------|-------------------------|--|---|
|               | $\frac{\mu}{\rho}$ | $\frac{\sigma_s}{\rho}$ | $\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}$ | $\frac{\mu}{\rho}$ | $\frac{\sigma_s}{\rho}$ | $\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}$ | $\frac{\mu}{\rho}$ | $\frac{\sigma_s}{\rho}$ | $\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}$ | $\left( \frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho} \right)$   |
| 0.10          | 0.151              | 0.121                   | 0.030                                      | 0.159              | 0.125                   | 0.034                                      | 0.144              | 0.113                   | 0.031                                      | 1.10  |
| 0.15          | 0.207              | 0.135                   | 0.072                                      | 0.180              | 0.147                   | 0.033                                      | 0.164              | 0.123                   | 0.032                                      | 1.03  |
| 0.20          | 0.263              | 0.139                   | 0.124                                      | 0.204              | 0.161                   | 0.043                                      | 0.190              | 0.146                   | 0.044                                      | 0.98  |
| 0.25          | 0.375              | 0.148                   | 0.227                                      | 0.233              | 0.170                   | 0.063                                      | 0.224              | 0.154                   | 0.070                                      | 0.90  |
| 0.30          | 0.537              | 0.156                   | 0.381                                      | 0.263              | 0.179                   | 0.084                                      | 0.259              | 0.161                   | 0.098                                      | 0.86  |
| 0.40          | —                  | —                       | —  | 0.345              | 0.187                   | 0.158                                      | 0.345              | 0.169                   | 0.176                                      | 0.90  |
| 0.50          | —                  | —                       | —  | 0.490              | 0.193                   | 0.297                                      | 0.490              | 0.174                   | 0.316                                      | 0.94  |
| 0.60          | —                  | —                       | —  | 0.740              | 0.197                   | 0.543                                      | 0.740              | 0.178                   | 0.572                                      | 0.95  |
| 0.70          | —                  | —                       | —  | 1.100              | 0.201                   | 0.899                                      | 1.100              | 0.181                   | 0.919                                      | 0.98  |
| 0.80          | —                  | —                       | —  | 1.500              | 0.203                   | 1.297                                      | 1.500              | 0.183                   | 1.317                                      | 0.99  |

<sup>1</sup> H. BEHNKEN: l. c.



A szóráson felül azonban rendesen még más veszteségek is lépnek föl. Ugyanis a beeső sugárzásnak egy része közvetlenül elektronenergiává alakul át: elektronok helyzeti és mozgási energiájává. De ne gondoljuk, hogy ez az energia egészen a test belsejében marad. Ugyanis egy része visszaalakul sugárzó energiává s mint a szóbanforgó test jellemző sugárzása elhagyja a testet. Sőt egyes nagy sebességű elektronok is kirepülnek a testből s mozgási energia alakjában magukkal viszik a beeső sugárzóenergia egy részét: ezek a fotoelektronok (első fajúak). Ezenfelül még az is előfordulhat, hogy a jellemző sugárzás útközben a test belsejében egy-egy elektronra rakódik rá és kiröpíti a testből (másodfajú fotoelektronok).

Ha a test belsejében valóban bennmaradó energiát akarjuk meghatározni, akkor a jellemző sugárzási és az elektronkibocsátási veszteséget is számba kell venni: vagyis a  $\frac{\mu}{\rho}$  együtthatóból még két együtthatót ki kell vonni. A jellemző sugárzási együtthatót  $\frac{k_s}{\rho}$ -val jelöljük a tömegegységre vonatkoztatva. Értékét SADLER mérései alapján GLOCKER<sup>1</sup> a következő képletben fejezte ki a *Cr* és *Cu* közé eső elemekre:

$$\frac{k_s}{\rho} = 3.3 Z \left( \frac{\lambda}{\lambda_a} \right)^4,$$

hol  $Z$  az elem rendszáma,  $\lambda_a$  a  $K$  elnyelési határ hullámhossza. Ha  $\lambda$  ennél nagyobb, a képlet elveszti érvényét. Következtetni lehet a képlet alapján, hogy egy nagy rendszámú elem a  $K$  sorozatának rövidhullámú oldalán erőteljes jellemző sugárzást bocsát ki. Viszont ha kis rendszámú elemekre érvényesnek vesszük a képletet, kemény sugárzás beesésekor az együttható kicsiny lesz, mert a  $\lambda_a$  nagy.

A fotoelektronokra vonatkozó együttható felől már nem vagyunk ennyire tájékozódva. Csak annyit mondhatunk, hogy változatlan sugárzás beesésekor a kilövellt fotoelektronok száma általában csökken az elem rendszámával együtt — kivéve azt az esetet, ha a beeső sugárzás hullámhossza az elnyelő elem

<sup>1</sup> R. GLOCKER: Phys. Zeitschr. 17, 488, o., 1916. Újabb eredmények: M. HAAS, Ann. d. Phys. 5 sor., 16. k., 473. o., 1933.



jellemző sugárzásáéval egyezik meg: ilyenkor hirtelen felszökik az elektronkiadás. Függ még a sugárbeesés irányától, felületi tulajdonságoktól, úgyhogy a  $\frac{k_e}{\rho}$  együttható számszerű értékére nincsenek is irodalmi adatok. Azonban levezethető olyan képlet, amely kifejezi egy vastagabb fémlemez által a sugárbeesés felőli féltérbe kirepülő elektronok számát ( $N$ ).<sup>1</sup> Ugyanis

$$N = \frac{I_\lambda f}{4h\nu} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{1}{\cos \varphi},$$

hol  $I_\lambda$  a sugárzás erőssége,  $f$  a felület nagysága,  $\nu$  a beeső sugárzás rezgésszáma,  $\mu_1$  a Röntgen-sugár gyengítési együtthatója a fémbe,  $\mu_2$  az elektronoké,  $\varphi$  a beesési szög; merőleges beeséskor  $\cos \varphi = 1$ . Ha most azt a kedvező esetet vesszük, — ami sohasem fordul elő — hogy mind az  $N$  elektron  $h\nu$  energiával repül ki, akkor merőleges sugárbeeséskor a beeső sugárzásból elektronenergia alakjában a féltérbe jut

$$Nh\nu = \frac{I_\lambda f}{4} \frac{\mu_1}{\mu_2}.$$

Döntő a  $\frac{\mu_1}{\mu_2}$  hányados. Példaképen megemlítjük, hogy a réz  $K_\alpha$  sugárzását ( $1.537\text{Å}$ ) ejtve vaslemezre,  $\mu_1 = 2000$  és  $\mu_2 = 150,000$ . A  $\frac{\mu_1}{\mu_2}$  hányados tehát rendkívül kicsiny, vagyis a kirepülő elektronok energiája elhanyagolható. De nem így áll a dolog, ha kemény sugárzás esik be, melynek hullámhossza például az előbbinek tizedrésze körül van, vagyis  $0.15\text{Å}$ . A mérések általában arra vonatkoznak, hogy a beeső sugárzásnak mekkora része alakul át a sugárelnyelés közben elektronenergiává, de a kijutó fotoelektronok energiáját külön nem határozzák meg.

Mindebből az a tanulság is levonható, hogy a beeső sugárzás erősségének mérésekor teljes sugárelnyelésre kell törekedni, mert máskülönben szinte lehetetlen számbavenni a különféle veszteségeket, különösen összetett sugárzás esetében.

Figyelembe véve már most a szóródást, a jellemző sugárzást

<sup>1</sup> W. Espe: Ann. d. Phys. 5. sor, 2. k., 381 o., 1929.



és az elektronkibocsátást, a tömegegységben benne maradó sugárzó-energia

$$I_{\lambda} \left( \frac{\mu}{\varrho} - \frac{\sigma_s}{\varrho} - \frac{k_s}{\varrho} - \frac{k_e}{\varrho} \right) = I_{\lambda} \frac{\mu}{\varrho} \left( 1 - \frac{\sigma_s + k_s + k_e}{\mu} \right).$$

Minthogy a  $\frac{k_s}{\varrho}$  és  $\frac{k_e}{\varrho}$  a legtöbb esetben nem ismeretes, többnyire csak az

$$I_{\lambda} \frac{\mu}{\varrho} \left( 1 - \frac{\sigma_s}{\mu} \right) \quad (5a)$$

energiamennyiséget számítjuk ki a sugárgyengülésből. Ez a szóráson fölüli sugárgyengülés vagy röviden sugárvesztesség. Ezt lehet a mérések alapján meghatározni. Értékét megegyezőnek tekinthetjük a test által valóban elnyelt energiával, ha a  $k_s$  és  $k_e$  egyútt-ható elhanyagolható a  $\sigma_s$  mellett.

Ha gázzal van szó: például egy nagy íonos kamra belsejében lévő kis térfogatú levegőtömegről, akkor az (5a) képlet által kifejezett energia jelenti az időegység alatt ionizásra fordított teljes energiamennyiséget (föltéve, hogy csak ionizásra használódik az elnyelt energia). Ugyanis a kirepülő fotoelektronok tovább ionizálnak, a jellemző sugárzásnak nagy része szintén elnyelődik és ionizál; a szétszórt rész újabb elnyelésétől pedig eltekinthetünk.

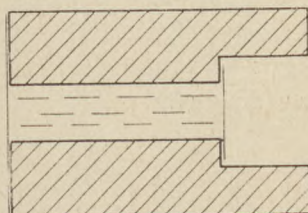
Az ismertetett alapelvek szerint bármilyen testben megmérhetjük a dózist egynemű sugárzás beesésekor. Azonban orvosi szempontból különösen érdekel bennünket — mint már említettük — a víz- és a levegő-dózis. Mindkét közeg tömegegységére vonatkozólag ismertetjük a dózis megmérését. E tömegdózisból a sűrűséggel való szorzás útján megkapjuk a térfogatt-dózist, adott sűrűségi viszonyok között.

Foglalkozunk először a víz-dózis megmérésével. Az ergométerrel mindenekelőtt megmérjük a sugárzás erősségét a (3) képlet alapján. Ezután még ismernünk kell a sugárzás hullámhosszát vagy — ami ezzel egyenértékű — a  $\frac{\mu}{\varrho}$  és  $\frac{\sigma_s}{\varrho}$  értékét. E célból tetszés szerinti vastag vízréteget vagy fémet: rezet, cinket, teszünk a sugárzás útjába és megmérjük a rajta áthaladó



sugárzás erősségét. A számítás egyszerűsítése végett 4.6 cm vastag vízréteget vettem (2. kép). A desztillált vizet paraffinhengerbe öntöttem, melynek két végét 0.01 mm vastag alumíniumhártyával zártam el. Legyen a keresztüljutó sugárzás erőssége  $I$ , akkor, minthogy egynemű sugárzásról van szó,

$$\mu = \frac{1}{d} \log \frac{I_2}{I}.$$



2. kép.

A víz sűrűségével való osztás után

megkapjuk a  $\frac{\mu}{\rho}$ -t. Megjegyzendő, hogy a víz sűrűsége 20 °C közelében alig változik a hőmérséklettel. Az 1. táblázatban kikereshetjük a mért  $\frac{\mu}{\rho}$ -nak megfelelő  $\left(\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}\right)$  és hullámhosszúság értékét is.

Amint látjuk, az  $I_2$ -t és  $I$ -t ismerve ki tudjuk számítani a tömegdózisteljesítményt vízben a (2) képlet alapján erg/gr. sec egységben. (Megjegyzendő, hogy 4 °C víz esetében a tömeg- és térfogatózisz számértéke egyenlő, mert a sűrűség ( $\rho$ ) számértéke 1-nek vehető.) Ebből 60-nal való szorzás után megkapjuk a tömegdózist 1 perc alatt (perc-dózis). A képlet a következő:

$$\frac{a \cdot 4 \cdot 2 \cdot \left(\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}\right)_{\text{víz}} \cdot 60}{1.09} \text{ erg/gr. perc.} \quad (6)$$

Hogy kisebb számok szerepeljenek, bevezetjük a Röntgen-hektoerget: 1 Röntgen-hektoerg = 100 Röntgen-erg.

Az előbbi dózisképlet Röntgen-hektoergben kifejezve a következő:

$$\frac{a \cdot 4 \cdot 2 \cdot \left(\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}\right)_{\text{víz}} \cdot 60}{1.09 \cdot 100} \text{ hektoerg/gr. perc.} \quad (6a)$$

Az  $I_2$  és  $I$  ismerete azonban nem jelent mást, mint két kitérés leolvasását: az  $I_2$ -nak megfelel a kitérés vízszűrő nélkül, az  $I$ -nek pedig vízszűrővel. Hogy ne kelljen minduntalan a számi-



tásokat elvégezni, táblázatot szerkesztettünk 4·6 cm vastag 20 C°-ú vízszűrőre (2. táblázat); ennek felső vízszintes sorába írtuk az  $I_2$ -nak, az első függőleges oszlopába pedig az  $I$ -nek megfelelő kitéréseket. Bármelyik két számhoz azonnal megtaláljuk a tömegdózis-teljesítmény értékét vízben Röntgen-hektoerg/gramm. percben kifejezve.

2. táblázat.<sup>1</sup>

## Víz-dózisok.

|    | 95  | 96  | 97  | 98  | 99  | 100 | 101 | 102  | 103  | 104  | 105  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 40 | 8·0 | 8·3 | 8·6 | 8·9 | 9·3 | 9·6 | 9·9 | 10·3 | 10·7 | 11·1 | 11·4 |
| 41 | 7·5 | 7·8 | 8·1 | 8·4 | 8·7 | 9·0 | 9·4 | 9·7  | 10·0 | 10·4 | 10·7 |
| 42 | 7·4 | 7·6 | 7·8 | 8·0 | 8·2 | 8·5 | 8·8 | 9·1  | 9·4  | 9·8  | 10·1 |
| 43 | 7·4 | 7·5 | 7·6 | 7·7 | 7·8 | 8·0 | 8·3 | 8·6  | 8·9  | 9·2  | 9·5  |
| 44 | 7·4 | 7·5 | 7·6 | 7·6 | 7·7 | 7·8 | 8·0 | 8·3  | 8·5  | 8·7  | 9·0  |
| 45 | 7·4 | 7·4 | 7·5 | 7·6 | 7·7 | 7·7 | 7·9 | 8·0  | 8·1  | 8·2  | 8·4  |
| 46 | —   | 7·5 | 7·5 | 7·6 | 7·7 | 7·7 | 7·8 | 7·9  | 8·1  | 8·2  | 8·3  |
| 47 | —   | —   | —   | 7·7 | 7·7 | 7·8 | 7·8 | 7·9  | 8·0  | 8·1  | 8·2  |
| 48 | —   | —   | —   | —   | —   | 7·8 | 7·8 | 7·9  | 7·9  | 8·0  | 8·1  |
| 49 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 8·0  | 8·0  | 8·1  | 8·1  |
| 50 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —    | 8·1  | 8·2  |

Ha a vízszűrő hőmérséklete nem pontosan 20 C°, hanem néhány fokkal több vagy kevesebb, ez a körülmény lényegtelen változást okozna a táblázatban, mert a 18 fokos víz abszolút sűrűségének számértéke 0·99862, a 20 fokosé 0·99843, a 25 fokosé 0·99707, ha a 4 C°-os víz abszolút sűrűségének számértékét 1-nek vesszük. Tehát ugyanazt a vízszűrőt és táblázatot nyugodtan használhatjuk a 20 C° közelébe eső hőmérsékleteken is. Egyébként a szűrő vastagságának csekély változása is lehetne gondolni, ami a sűrűségváltozást bizonyos fokig kiegyenlíti.

Egyszerű szabályunk van a víz-dózis megállapítására, ha a

<sup>1</sup> Ez csak egy nagyobb táblázatnak a része.



hullámhosszúság 0.1 és 0.15 Å közé esik. (Ez a hullámtartomány igen fontos a belső gyógykezelésben.) Ekkor ugyanis

$$\left(\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}\right)_{\text{víz}} \sim 0.0335$$

és így a (6a) alapján

$$\frac{4 \cdot 2 \cdot 0.0335 \cdot 60}{1.09 \cdot 100} \sim 0.0774 \sim \frac{8}{100}.$$

Tehát a beeső sugárzás erősségéből úgy kapjuk meg a tömeg-egységre vonatkoztatott perc-dózist hektoergben, hogy az  $a$  kitérésnek 8/100 részét vesszük. Ezt a szabályt a táblázat alsó számai igazolják is. Fontos, hogy ez esetben csak egyetlen leolvasást kell végeznünk és már is ismerjük nemcsak a sugárzás erősségét, hanem a dózist is.

Egy másik táblázatból azonnal kiolvashatjuk a hullámhosszúság értékét is, mely az észlelt kitérésekhez tartozik. Sőt egy harmadik táblázatban a sugárfelező vízréteg vastagságát vagy a felező rézréteg vastagságát is megtalálhatjuk, mely fontos a gyógykezeléskor, a mélységi dózis és a szórt-sugárzási dózistöbblet megállapítása végett.

Érdekes megjegyezni, hogy a  $\left(\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}\right)$  együttható értéke — miközben a 0.1 Å-től felfelé haladunk — előbb kissé csökken, majd növekszik. Természetesen ugyanígy viselkedik a víz-dózis is, ami a 2. táblázatban látható. Ennek a sajátzerű körülménynek az az oka, hogy a  $\frac{\sigma_e}{\rho} = \frac{\sigma}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}$  hányadosnak a 0.05 Å körül maximuma van.<sup>1</sup>

Hátra van a *levegő-dózis* megállapítása. Az  $I_\lambda$  megmérése után a beeső egynemű sugárzás hullámhosszát, illetőleg a vele egyenlő értékű gyengítési és szórési együtthatót az előbbi módon mérhetjük meg bármilyen szűrővel. Ezeknek a segítségével az (5) képlet alapján kiszámíthatjuk az 1 gramm levegőben fellépő dózist, vagyis a tömeg-dózist 1 mp-re vonatkozólag Röntgen-ergben vagy hektoergben. Érdekes dolog, hogy e dózis számértéke, tehát a készíthető táblázat adatai is eléggé megegyeznek a víz-dózis értékeivel, mert a víz és levegő tömegegységére

<sup>1</sup> Részletesebben I. W. RUMP: Z. f. Phys. **43.** k., 289. o., 1927.



vonatkoztatott valódi elnyelési együtthatók nem nagyon különböznek egymástól. (Lásd az 1. táblázatot.) Egyébként az 1. táblázatból következik, hogy kb.  $0.2 \text{ \AA}$  alatt a víz-dózis valamivel nagyobb, mint a levegő-dózis, viszont  $0.2$  és  $0.7 \text{ \AA}$  között meg valamivel kisebb; legnagyobb az eltérés  $0.3$  és  $0.4 \text{ \AA}$  között;  $0.7 \text{ \AA}$ -ön felül a kétféle dózis jól megegyezik.

Ha a levegőben érvényes tömegdózist megszorozzuk a normális állapotú levegő sűrűségével, akkor megkapjuk az 1 köbcentiméternyi normális állapotú levegőben érvényes dózist, de természetesen  $\text{erg/cm}^3$  egységben.

Azonban ismeretes, hogy a levegő-dózist  $r$  egységben szokás kifejezni, a dózisteljesítményt pedig  $r/\text{sec}$  vagy  $r/\text{perc}$ -ben 1 km normális állapotú vagy  $1.29 \text{ mg}$  tetszésszerű állapotú levegőre vonatkozólag. Fontos dolog, hogy mi módon lehet az  $\text{erg}$ -ben kifejezett levegő-dózisból az  $r$ -ben kifejezettet kiszámítani. Hogy erre egyáltalában gondolhatunk, az abban leli magyarázatát, hogy az újabb mérések szerint ugyanakkora ionozáshoz ugyanakkora sugáreneergia szükséges a hullámhosszúságtól függetlenül.

Gondoljuk az  $1.29$  milligramm levegőt 1 négyzetem keresztmetszetű oszlopnak, melynek alapjára merőlegesen esik az  $I_\lambda$  erősségű sugárzás. Ekkor a szórási veszteségen felül a sugárvesztesség  $1 \text{ mp}$  alatt

$$I_\lambda \left( \frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho} \right) \rho.$$

A zárójelen kívül vesszük a  $0^\circ\text{-ú}$  és  $760 \text{ mm}$  nyomású levegő abszolút sűrűségét; ennek számértéke  $0.00012928 = 1/773$ . Ez a képlet  $1.29 \text{ mg}$  tetszésszerű vagy  $1 \text{ km}$  normális állapotú levegőben  $\text{erg}$ -ben kifejezve adja meg a sugárvesztességet, melyet közönségesen elnyelt résznek is neveznek, pedig ebben benne van a  $\text{km}$  levegőből kirepülő elektronok energiája is, mely elektronok a környező levegőt ionozzák; sőt a jellemző sugárzás is, bár ez jelentéktelen.

Az átszámítás végett azt kellene tudnunk, hogy ennek az energiának mekkora elektromos töltés kiválasztása felel meg. Ezt kiszámíthatjuk KULENKAMPFF, RUMP, GAERTNER<sup>1</sup> és EISL<sup>2</sup> mé-

<sup>1</sup> Az irodalmat l. Császár E.: Mat. és Term. Ért. LII. k., 1. o., 1934.

<sup>2</sup> A. EISL: Ann. d. Phys. 5. sor., 3. k., 277., 1929.



rései alapján. Eísl megállapította, hogy a levegőben egy íonpár termelésére (egy elektron kiszabadítására az atómkötelékből) középértékben  $32.5 \pm 0.5$  elektron-volt  $= 5.12 \cdot 10^{-11}$  erg szükséges. (Akkor szükséges ennyi, ha a sugárzás által átjárt levegőtér fogat egy nagyobb levegőtömegben, nagy kamrában van.) Tehát 1 ergnyi sugárzó energia elnyelésekor keletkezik

$$\frac{1}{5.12 \cdot 10^{-11}}$$

íonpár vagy másszóval ennyi elektron válik ki. Hány elektrosztatikai egység ez? Minthogy egy elektron töltése  $4.77 \cdot 10^{-10}$  elektrosztatikai egs egység, 1 erg energiájú sugármennyiség elnyelésekor kiváló elektrosztatikai egységek száma

$$\frac{4.77 \cdot 10^{-10}}{5.12 \cdot 10^{-11}} = \frac{47.7}{5.12} = 9.316.$$

Ha az 1 ergnyi sugárzó energia 1 kem (1.29 mgr) normális állapotú levegőben marad benne, akkor azt mondjuk, hogy a sugáradag 9.316  $r$  egység. Tehát

$$1 \text{ erg} \sim 9.316 \text{ } r. \quad (7)$$

Viszont 1  $r$ -nek megfelelő sugárenergia értékét is könnyen megmondhatjuk. Ugyanis

$$1 \text{ } r \sim \frac{1}{9.316} \text{ erg} = 0.107 \text{ erg}. \quad (7a)$$

Ha a sugáradag 1  $r$ , akkor  $1.29 \text{ mgr} = 1/773$  gramm levegőben elnyelt energia 0.107 erg; 1 grammban pedig  $0.107 \cdot 773 = 82.711 \sim 83$  erg.

Ilyen módon könnyen kiszámíthatjuk az  $erg$ -ben mért elnyelt sugárenergiát  $r$  egységben és viszont. Minthogy a számításban a sugárzás erőssége szerepel, mely 1 mp-re vonatkozik, azért rendszerint az 1 mp alatt elnyelt  $erg$ -ek számát kapjuk meg, vagyis eredményünk  $erg/sec$  egységben fejezi ki az elnyelt energiát. Ebből 60-al való szorzás után  $erg/perc$ ben kapjuk meg az eredményt. Ezekből könnyen kiszámíthatjuk az  $r/sec$  vagy  $r/perc$  értékét is.





A felső sorban lévő számok jelentik a sugárerősségnek megfelelő műszerkitéréseket vízszűrő nélkül, a baloldali első oszlopban állók pedig 4·6 cm vastag vízszűrővel. Bármelyik két kitérésnek megfelelő sugáradag  $r$ /perc egységben a táblázatban található. A vízszűrő hőmérséklete most is 20 C°.

Minthogy a 0·1 — 0·15 Å-ig terjedő tartományban

$$\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho} \sim 0\cdot0315,$$

e tartományban a dózist a sugárzás beejtésekor észlelt  $a$  kitérésből is kiszámíthatjuk (vízszűrő nélkül). Ugyanis a (8) alapján

$$\frac{4\cdot2\cdot0\cdot0315\cdot60}{1\cdot09\cdot773\cdot0\cdot107} = 0\cdot0880 \sim \frac{9}{100}.$$

Tehát ha az  $a$  kitérést  $\frac{9}{100}$ -dal megszorozzuk, megkapjuk a dózist  $r$ /percben, de csak a megjelölt színekpi tartományban. Elég jó eredményeket kapunk még 0·2 Å-ig is.

### 3. Dózismérés összetett sugárzás beesésekor.

Az eddigi eredmények egynemű sugárzásra vonatkoznak. Azonban a Röntgen-lámpák általában nem egynemű, hanem összetett sugárzást bocsátanak ki magukból és az orvosi gyógykezelésben használt szűrt sugárzás is tulajdonképpen összetett sugárzás. Nézzük, miképen tudjuk megmérni ebben az általánosabb esetben is a sugárzás erősségét és az elnyelt sugárzást: a dózist.

A sugárzás erősségét ugyanúgy mérjük meg, mint az előbb. Csak arra kell ügyelni, hogy a színekp rövidhullámú határa ne legyen keményebb a sugárfelfogó által még teljesen elnyelt sugárzásnál. Ez a mi készülékünk esetében 0·07 Å.

Már nem ilyen egyszerű a dózis megmérése összetett sugárzás esetében. Ugyanis e végett szükségünk van a sugárzás közepes keménységére, közepes hullámhosszúságára, hogy a szétszórt részt leszámíthassuk, illetőleg a sugárgyengítési együtthatóból a szórási együtthatót ki tudjuk vonni. Ez az együttható a hullámhosszúságtól függ. Minthogy az összetett sugárzásban tulajdonképpen nagyon sokféle hullámhosszúság fordul elő, számításunk-



ban csakis a közepes hullámhosszra támaszkodhatunk. Mit értünk ezalatt?

Legegyszerűbb meghatározása a következő. Gondoljunk valamilyen  $d$  vastagságú szűrőre, például vízrétegre vagy rézlemezre, melyre tetszésszerűen összetett sugárzás esik. *Ennek közepes hullámhossza a megnevezett szűrőre vonatkozólag annak az egynemű sugárzásnak a hullámhossza, amelyet az illető szűrő éppen olyan mértékben gyengít, mint a beeső összetett sugárzást.*

Ezt a meghatározást még matematikai alakba is önthetjük. E végett osszuk fel az összetett sugárzást keskeny hullámszakaszokra, melyekbe eső sugárerősségek a következők:

$$I_{\lambda_1} d\lambda_1, I_{\lambda_2} d\lambda_2, \dots, I_{\lambda_n} d\lambda_n, \dots;$$

és az összetett sugárzás erőssége

$$\sum_{n=1}^{\infty} I_{\lambda_n} d\lambda_n;$$

vagy ha a hullámszakaszok infinitezimálisak:

$$I_0 = \int_{\lambda_{\min}}^{\infty} I_{\lambda} d\lambda. \quad (9)$$

A megfelelő gyengítési együtthatók legyenek:

$$\mu_{\lambda_1}, \mu_{\lambda_2}, \dots, \mu_{\lambda_n}, \dots$$

Ekkor a beeső összetett sugárzásból a szűrő által keresztülenegetett rész

$$\sum_{n=1}^{\infty} e^{-\mu_{\lambda_n} d} I_{\lambda_n} d\lambda_n;$$

vagy ha a hullámszakaszok infinitezimálisak:

$$I = \int_{\lambda_{\min}}^{\infty} e^{-\mu_{\lambda} d} I_{\lambda} d\lambda. \quad (10)$$

A beeső összetett sugárzással egyenlő erősségű egynemű sugárzás erőssége legyen  $I_0^{(\lambda_k)}$ , melyre tehát fennáll

$$I_0^{(\lambda_k)} = I_0. \quad (11)$$



A belőle átengedett rész

$$e^{-\mu_k d} I_0^{(\lambda_k)} = e^{-\mu_k d} \int_{\lambda_{\min}}^{\infty} I_{\lambda} d\lambda. \quad (12)$$

A közepes hullámhosszúságnak megfelelő  $\mu_k$ -ra a (10) és (12) alapján fenn kell állni, hogy

$$\int_{\lambda_{\min}}^{\infty} e^{-\mu_{\lambda} d} I_{\lambda} d\lambda = e^{-\mu_k d} I_0^{(\lambda_k)} = e^{-\mu_k d} \int_{\lambda_{\min}}^{\infty} I_{\lambda} d\lambda. \quad (13)$$

Ez az egyenlet az előbbi közepes hullámhosszúsági meghatározást matematikai alakban fejezi ki.

Azonban módunkban áll ugyanezt a közepes hullámhosszúságot az integrálszámítás első középértéktétele alapján is meghatározni. E tétel szerint

$$\int_a^b f(x) \varphi(x) dx = f(x_k) \int_a^b \varphi(x) dx, \quad (14)$$

ha  $f(x)$  az  $ab$  szakaszban folytonos és  $\varphi(x)$  jelét nem változtatja; az  $x_k$  közbenső hely az  $ab$  szakaszban. Ezt a tételt alkalmazzuk a (13) egyenlet baloldalán álló integrálra, melyben

$$f(x) = e^{-\mu_{\lambda} d} \quad \text{és} \quad \varphi(x) = I_{\lambda}.$$

A szereplő függvények a felső határ végtelen nagy értékénél is regulárisan viselkednek. Amint látjuk, eredményül a (13) egyenlet jobboldalán álló mennyiséget kapjuk. Tehát a (13) egyenlet baloldalára alkalmazva az integrálszámítás első középértéktételét, a közepes hullámhosszúságra ugyanazt a meghatározó egyenletet kapjuk, mint az előbbi elemi meghatározás alapján. Másszóval *valamely összetett Röntgen-sugárzás közepes hullámhossza alatt azt a hullámhosszúságot értjük, amelyhez tartozó gyengítési együtthatót, a sugárgyengítés törvényének felhasználásával, az integrálszámítás első középértéktétele határozza meg.*

A (13) egyenletből

$$e^{-\mu_k d} = \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\infty} e^{-\mu_{\lambda} d} I_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_{\min}}^{\infty} I_{\lambda} d\lambda}. \quad (15)$$



Ebből

$$\mu_k = \frac{1}{d} \log \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\infty} I_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_{\min}}^{\infty} e^{-\mu_{\lambda} d} I_{\lambda} d\lambda}. \quad (15a)$$

A jobboldali tört számlálójában áll a beeső összetett sugárzás erőssége, a nevezőjében pedig a szűrőn keresztüljutó sugárzásé. Mindkettőt meg tudjuk mérni. A mérés eredményéből kiszámíthatjuk  $\mu_k$ -t s egyúttal  $\frac{\mu_k}{\rho}$ -t és egy táblázatból kikereshetjük a megfelelő  $\lambda_k$ -t.

Minthogy az egyenlet jobboldalán a  $\mu_{\lambda}$  az anyagi minőségtől függ, természetesen a  $\mu_k$  és a  $\lambda_k$  is az anyagi minőségtől függő mennyiség. Sőt általában függnek még a szűrő vastagságától is, mert a vastagabb szűrő az összetett sugárzásnak mindinkább csak a keményebb alkatrészeit engedi át, s így a közepes hullámhosszúság általában csökken a szűrő vastagodásával. Két szélső esetet szokás megkülönböztetni: a szűrőréteg nagyon vastag vagy nagyon vékony. Minket főleg az utóbbi érdekel, mert a dózist igen vékony elnyelő lemezre értelmeztük. Ebben az esetben fejtsük sorba a (15) egyenlet exponenciális tagjait és tegyük föl, hogy az elsőnél magasabbrendű tagok  $\lambda$ -nak bármilyen nagy értéke esetében elhanyagolhatók. Ekkor a (15) egyenlet így alakul:

$$\mu_k = \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\infty} \mu_{\lambda} I_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_{\min}}^{\infty} I_{\lambda} d\lambda}. \quad (15b)$$

A számlálóban áll a sugárgyengülés, a nevezőben a beeső sugárzás erőssége. A számláló értékét úgy kapjuk meg, hogy a beeső sugárzás erősségéből kivonjuk a szűrőn keresztüljutó sugárzás erősségét. E képlet alapján bármilyen anyagi minőségű vékony lemez közepes gyengítési együtthatóját megmérhetjük és táblázatból kikereshetjük a hozzátartozó közepes hullám-



hosszúságot is. Ezekre van szükség a helyi dózis kiszámításakor. A közepes gyengítési együttható és hullámhosszúság bevezetésének az a nagy előnye, hogy általa visszavezettük az összetett sugárzás dózisának megmérését az egynemű sugárzására.

Megjegyzendő, hogy elnyelő réteg nélkül is lehet értelmezni a beeső sugárzás közepes hullámhosszát, a (15b)-hez hasonló egyenlet alapján. Ugyanis

$$\lambda_k = \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\infty} \lambda I_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_{\min}}^{\infty} I_{\lambda} d\lambda}. \quad (16)$$

(Ilyen egyenlőséggel szokás egy látható fényforrásnak ú. n. fénytani súlypontját értelmezni.) A számlálóban lévő integrál összetartó, mert  $\lambda$  végtelen nagy értékénél az  $I_{\lambda}$  alacsonyabb rendű végtelen kicsiny lesz (KULENKAMPPFF képlete alapján). Ez egyenlőség alapján értelmezett közepes hullámhosszúság és gyengítési együttható azonban nem látszik alkalmasnak arra, hogy a dózis kiszámításakor felhasználjuk, mert semmiféle biztosítékunk sincs arra, hogy valamely test a  $\lambda_k$  hullámú egynemű sugárzást éppen úgy nyeli el, mint a hozzátartozó összetett sugárzást. Hogy a  $\mu_k$  értékéből ugyanezt a  $\lambda_k$ -t kapjuk, vagyis a (15b) és (16) egyenlet ugyanazt a közepes hullámhosszat értelmezi, az egyáltalában nem valószínű.

Foglalkozunk most előbb a víz-dózis megmérésével. Bennünket különösen az az eset érdekel, midőn az összetett sugárzás olyan előzetes szűrésezen megy keresztül, hogy csak a kemény alkotórészei maradnak meg és majdnem egyneműnek tekinthető. Ez az eset akkor fordul elő, ha az összetett sugárzást legalább félmilliméteres rézlemezen szűrjük át (belső orvosi kezelés). Ha az így megszürt sugárzás közepes keménységét 5 cm-nél vékonyabb vízsűrővel határozzuk meg, a kapott közepes hullámhosszúság gyakorlati szempontból független a vízréteg vastagságától. Erről közvetlen mérések útján is meg lehet győződni. Ez a dolog azért fontos, mert vastagabb vízsűrővel pontosabban lehet megmérni a közepes hullámhosszat, mint vékonyal. Tulajdon-



képen a vékony lemezre érvényes közepes hullámhosszra van szükségünk.

Ha a sugárzás csak a lámpa üvegen vagy esetleg még 1—2 mm vastag alumíniumszűrőn halad keresztül, akkor a vízszűrő vastagságának felső határa, mely alatt a közepes hullámhosszúság vagy gyengítési együttható független a szűrő vastagságától, a tapasztalat szerint kisebb: 1—2 cm. Egyébként ez kísérletileg mindig ellenőrizhető.

Nagyon lágy sugárzás (Grenzstrahlen) esetében egészen vékony víz vagy paraffinszűrő alkalmas a közepes adatok megmérésére.

Ezek után az összetett sugárzás beesésekor a vízdózis kiszámítása végett éppen úgy járunk el, mint egynemű sugárzáskor. Megmérjük a sugárzás erősségét vízszűrő nélkül és vízszűrővel, majd kiszámítjuk a közepes gyengítési együtthatót, továbbá a táblázatból kiolvassuk a megfelelő  $\left(\frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho}\right)$  értéket, végül kiszámítjuk a dózist.

Ha a sugárzást előzetesen legalább 0.5 mm rézszűrővel vagy ezzel egyenértékű más szűrővel megszűrtük, az előbbi dózistáblázatok összetett sugárzás esetében is éppen úgy használhatók, mint egynemű sugárzáskor. Ha a vízszűrő hőmérséklete nem pontosan 20 C°, ez számbajövő változásokat nem okoz. Ha a sugárzást előzetesen nem szűrjük meg ilyen nagy mértékben, akkor vagy minden alkalommal külön kiszámítjuk a dózist, vagy pedig vékonyabb vízszűrőre másik táblázatot készítünk.

A *levegő-dózis* megmérésekor szükség van a levegő közepes gyengítési együtthatójára. Minthogy a levegő sugárgyengítése általában nagyon csekély, ezt csak úgy határozhatnánk meg mérés útján, hogy igen nagy nyomású sűrített levegőt vagy esetleg folyékony levegőt használnánk sugárszűrőnek. De erre nincsen szükség. Ugyanis a tapasztalat szerint a levegő sugárgyengítése alapján meghatározható közepes hullámhosszúság jól megegyezik a megfelelő vízszűrővel kapott eredménnyel, minek az az oka, hogy a víz és levegő közepes rendszáma majdnem egyenlő: a vízé 7.43, a levegőé 7.69. A vízszűrő vastagságára nézve az előbbi megjegyzések irányadók: ez a sugárzás előzetes szűrésétől



függ. Ilyen módon levegő esetében is visszavezetjük az összetett sugárzás dózisának megmérését az egynemű sugárzására. Tehát az előbbi táblázatok most is használhatók, akár energia-, akár  $r$  egységben akarjuk ismerni a dózist.

Az alábbi 4. táblázat néhány mérési adatot tartalmaz, melyeket a Röntgen-ergométerrel határoztam meg kb. 3 % pontossággal. A méréseket Stabilivolt-rendszerű Röntgen-készülékkel és kisebb alakú MÜLLER-féle Metro-lámpával végeztem. E lámpa terhelésének felső határa 160 kilovolt és 4 milliampère körül van; wolfram antikatódjá használat közben rendszerint élénken izzik. A vízsűrők hőmérséklete és a szobahőmérséklet  $23 \pm 1$  C° volt.

## 4. táblázat.

*Az ergométerrel végzett mérések.*

| Lámpa-terhelés |             | Távolság | Sugárszűrő<br>(a lámpa-<br>üvegén<br>kívül) | Műszer<br>kitérése<br>sugár-<br>szűrővel | Műszer<br>kitérése<br>víz-<br>szűrővel | Víz-<br>tömeg-<br>dózis-<br>teljesít-<br>mény | Levegő-<br>tömeg-<br>dózis-<br>teljesít-<br>mény | Levegő-<br>térfogat-<br>dózis-<br>teljesít-<br>mény | Levegődózis       | Közepes<br>hullámhossz |       |
|----------------|-------------|----------|---|--|--|---|--|---|-------------------|------------------------|-------|
| kilo-<br>volt  | m.-<br>amp. | cm       | mm  | osztály-<br>rész                         | cm                                     | osztály-<br>rész                              | hektoerg<br>gr × perc                            | hektoerg<br>gr × perc                               | erg<br>cm³ × perc | r<br>perc              | Å     |
| 101            | 4           | 45       | 1 Al  | 101                                      | 1·0                                    | 77  | 21·29  | 24·65   | 3·19              | 29·81                  | 0·31  |
| 115            | 4           | 40       | 5 Al  | 116                                      | 2·3                                    | 70·5  | 13·76  | 14·69   | 1·90              | 17·77                  | 0·22  |
| 144            | 4           | 50       | 0·5 Cu                                      | 113                                      | 4·6                                    | 48·2  | 9·22   | 9·06  | 1·17              | 10·96                  | 0·161 |
| 146            | 4           | 40       | 1 Cu + 1 Al                                 | 113                                      | 4·6                                    | 50  | 8·66   | 8·31  | 1·07              | 10·05                  | 0·145 |

#### 4. A Röntgen-ergométer és a nagy íonos kamra mérési adatainak összehasonlítása.

Amint láttuk, az ergométerrel meg lehet határozni a levegődózt is. E meghatározás közben nagyon fontos, hogy a sugárzás közepes hullámhossza mekkora. Ezt vízsűrűvel mértük meg, valóban pedig a levegő sugárgyengítéséből kellett volna meghatározni. A közepes rendszámok megegyezése arra jogosított fel bennünket, hogy a kétféle módon megállapítható közepes hullámhosszúság értékét megegyezőnek tekintsük. Ennek a jogosultságáról azonban még külön meg kellett győződünk. E végett



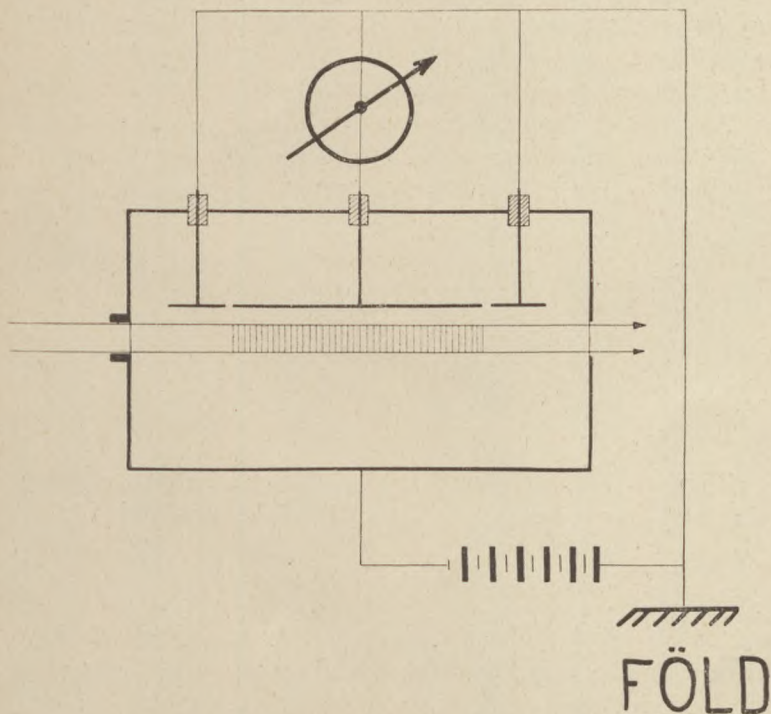
külön-külön megmértük az ergométerrel és a nagy iónos kamrával ugyanahhoz a sugárzáshoz tartozó levegő-dózist. A két mérés eredménye különféle összetételű sugárzásokra jól megegyezik egymással.

A nagy kamra minden tekintetben megfelelt azoknak a követelményeknek, amelyek a kifogástalan ionozás-mérésre fennállnak. Fenyőfából készült és ezenfelül grafitporral vastagon bevont rajzpapírral van kibélelve. A könnyebb előállítás és kezelés végett hasábalakúra készítettem; belső méretei a következők:  $40 \times 25 \times 25$  cm. Minthogy a sugárnyaláb a kamrát hossztengeleje mentén járja át, az elektronok bőségesen kifejthetik teljes ionozó hatásukat. A kamra fedelén borostyánszigetelőkön keresztül nyúlik be a középső mérőelektród és a két védőelektród; a mérőelektród hossza 25 cm, a védőelektródoké pedig 5—5 cm; mindhárom elektród 1·5 mm átmérőjű alumíniumdrótból készült s a kamra tengelyétől legalább 2 cm távolságra van. A mérőnyílás átmérője 15·7 mm. A sugár-belépés és kilépés helyét 0·5 mm vastag cellonlemez zárja el. Mindegyikre keresztet karcoltam, hogy a lámpa gyújtófoltját könnyen lehessen a kamra tengelyének irányába állítani. Az egész kamrát kívül 4 mm vastag ólomburok takarja; ezenfelül a sugárbelépési oldalon még 1 cm vastag ólomfal is áll. Áramforrásnak sorbakapcsolt száraztelepeket, akkumulátorokat és anódpótlót használtam, melyeknek feszültsége kereken 1200 voltot tett ki. E feszültség esetén telített áramot kaptam, mit az bizonyított, hogy 200 voltal csökkentve a feszültséget, az áram erőssége nem változott. Az iónos kamra az áramforrásokkal együtt vaslemezekből összeállított házikóban állott, melyből hajlékony fémcsőben elhelyezett, kitűnően szigetelt drót vezetett a nagyobb távolságban lévő forgótekercses galvanométerhez. Ez HARTMANN és BRAUN-gyártmányú eszköz; érzékenysége olyan, hogy 1 mm kitérésnek 1 méter osztályzattávolságban  $6 \cdot 1 \cdot 10^{-10}$  ampère felel meg. Az osztályzatot a galvanométer tűkrétől 510 cm távolságra állítottam. Ez esetben 1 osztályzat (1 mm) kitérésnek  $1 \cdot 196 \cdot 10^{-10}$  ampère felelt meg.

A kísérleti berendezés a 3. képen látható. A Röntgen-lámpa gyújtófoltja a mérőnyílás belső peremétől 32 cm, a mérő-



elektródnak a lámpa felé eső végétől pedig 40·5 cm távolságra esett. A sugárzás által keresztüljárt térfogat tulajdonképen a mérő-elektrod alatt bevonalkázott csanakakúp volt. Minthogy azonban a dózist merőleges sugárbeesésre vonatkoztatjuk, e helyett a vele egyenlő alapú henger térfogatát vesszük és ezzel számolva a



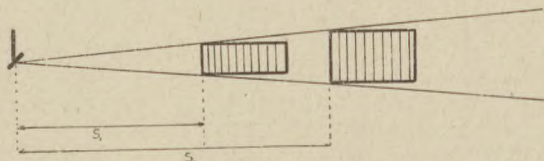
3. kép.

mérőelektródnak a lámpa felé eső végénél érvényes dózist kapjuk meg. Ha a henger keresztmetszetének a sugárhatároló nyílást választjuk (magasságát változtatlanul hagyva), akkor a mérőnyílás belső pereménél kapjuk meg a dózist (4. kép). Ugyanis e két henger alapterülete úgy aránylik egymáshoz, mint a gyújtófolttól számított távolságuk ( $S_1$  és  $S_2$ ) négyzete; minthogy magasságuk egyenlő, térfogatuk is úgy aránylik, mint az említett távolságok négyzete. Tehát a két térfogattal való osztás útján valóban a



két különböző távolságban kapjuk meg a dózist.<sup>1</sup> Méréseinkben a dózist a mérőnyílás belső peremére vonatkoztatjuk. Ennek átmérője több irányban katetométerrel mérve középvértékben 15.7 mm, területe 1.93 négyzetcentiméter. Minthogy a mérő-elektród hossza 25 cm, a belépési nyílással egyenlő alapú és a mérőelektróddal egyenlő magasságú henger térfogata 48.37 cm. Ez a térfogat irányadó, ha a dózist a mérőnyílás belső peremére vonatkoztatjuk.

A galvanométerrel a dózisteljesítmény közvetlenül megmérhető. Beejtve a sugárzást, leolvassuk az ionozási áram erősségét. Ez egyenlő a galvanométer kitérése szorozva  $1.196 \cdot 10^{-10}$  ampère-rel. Ebből kiszámítjuk a 0 C°-u és 760 mm nyomású levegőben



4. kép.

fellépő ionozási áram erősségét ( $i_{0,760}$ ), figyelembe véve a levegő hőmérsékletét és nyomását. A használt képlet a következő:

$$i_{0,760} = i_{t,h} \left( 1 + 0.00367 t \right) \frac{760}{h}. \quad (17)$$

A  $t$  jelenti a hőmérsékletet C°-ban, a  $h$  a zerus C°-ra átszámított (redukált) barométerállást mmben. Hogy az  $r/sec$ -ok, vagy az  $r/percek$  számát ugyancsak a mérőnyílásnál kiszámíthassuk, csak azt kell figyelembe vennünk, hogy 1  $r/sec$  esetében 1 cm levegő besugárzásakor a telített ionozási áram erőssége  $3.33 \cdot 10^{-10}$  ampère vagy pontosan  $10/3 \cdot 10^{-10}$  ampère. Ugyanis ezt felhasználva a 48.37 cm levegő besugárzásakor a telített ionozási áram erőssége  $161 \cdot 10^{-10}$  ampère, ha a dózisteljesítmény a mérőnyílásnál 1  $r/sec$ . Összehasonlítva az észlelt ionozási áram erősségét ez utóbbi értékkel, azonnal megkapjuk az  $r/sec$ -ok számát; 60-al való szorzás után meg az  $r/percek$  számát. Képletben

<sup>1</sup> Részletesebben I. H. BEHNKEN: Strahlentherapie 26. k., 79. o., 1927.



$$r/\text{perc-ek száma} = \frac{i_{0,760} \cdot 60}{161 \cdot 10^{-10}}. \quad (18)$$

Az 5. táblázat tartalmazza az utóbbi képlet alapján a nagy íonos kamrával meghatározott mérési adatokat és dóziszokat kb. 3% pontossággal. A méréseket ugyanolyan sugárzási viszonyok között végeztem, mint az ergométerrel. Legelőnyösebb lett volna egyidejűleg végezni a méréseket, azonban ennek különféle műszerbeli akadályai voltak.

## 5. táblázat.

*A nagy íonos kamrával végzett mérések.*

| Lámpa-<br>terhelés |             | Mérő-<br>nyílás<br>távol-<br>sága a<br>fókuszról | Sugárszűrő<br>(a lámpa-<br>üvegén<br>kívül) | Galvano-<br>méter<br>kitérése<br>sugár-<br>szűrővel | Szoba-<br>hőmérséklet | Barométer-<br>állás 0°C-ra<br>át számítva | Dózisteljesít-<br>mény<br>levegőben | Dózisteljesítmény<br>levegőben            |                |
|--------------------|-------------|--|---|---|-----------------------|---|-------------------------------------|---|----------------|
|                    |             |  |   |   |                       |   |                                     | ergo-<br>méter                            | íonos<br>kamra |
| kilo-<br>volt      | m.-<br>amp. | cm   | mm  | osztály-<br>rész                                    | C°                    | mm  | $\frac{r}{\text{perc}}$             | 40 cm távolság<br>$\frac{r}{\text{perc}}$ |                |
| 101                | 4           | 32   | 1 Al  | 122.5   | 23                    | 753                                       | 59.24                               | 37.73                                     | 37.91          |
| 115                | 4           | 32   | 5 Al  | 58  | 23                    | 753                                       | 28.05                               | 17.77                                     | 17.95          |
| 144                | 4           | 32   | 0.5 Cu                                      | 57  | 23                    | 753                                       | 27.56                               | 17.12                                     | 17.64          |
| 146                | 4           | 32   | 1 Cu + 1 Al                                 | 32.5  | 23                    | 753                                       | 15.72                               | 10.05                                     | 10.06          |

Ez utóbbi táblázat két utolsó oszlopában található az ergométerrel és íonos kamrával külön-külön mért levegődózisok, ugyanolyan sugárzások beesésekor. A megegyezés teljesen kielégítő. Ebből az következik, hogy az ergométer nemcsak önálló mérőeszköz, hanem kis íonos kamrák hitelesítésére is felhasználható. Főfeladata azonban a sugárzás erősségének és a tömeg egységre vonatkoztatott valódi dózishoz (az elnyelt sugárzási energiának) a megmérése.

Azt lehetne gondolni, hogy viszont az íonos kamrát a sugárzás erősségének a mérésére is felhasználhatjuk a Kulenkampff-féle összefüggés alapján. Néha igen, de általában nem. Hogy hol vannak a határok, arról egy következő dolgozatomban fogok megemlíkezni.

(A M. T. Akadémia III. osztályának 1936. április 20-án tartott üléséből.)



## DIE ENERGIEMESSUNG DER RÖNTGENSTRAHLUNG.

Von E. CSASZAR, Korr. Mitglied der Akademie.

Im ersten Teil der Abhandlung wird die Definition der Dosisleistung pro Volumeneinheit und pro Masseneinheit eingeführt. Nachdem ist:

$$D_{\text{sec}}^{\text{ken}} = I_0 \bar{\mu} \quad \text{und} \quad D_{\text{sec}}^{\text{gr}} = I_0 \frac{\bar{\mu}}{\rho},$$

wo  $I_0$  die Intensität der einfallenden Strahlung,  $\bar{\mu}$  den wahren Absorptionskoeffizienten und  $\rho$  die absolute Dichte bedeutet. Ferner wird die Behnkensche Bestimmung der r/sec Einheit angegeben: «Die Dosisleistung 1 r/sec erzeugt in 1.29 mg Luft bei voller Elektronenausnutzung und bei Vermeidung von Wandwirkungen einen gesättigten Ionisationsstrom von 1 ESE =  $= 3.33 \cdot 10^{-10}$  Ampère».

Im zweiten Teil beschreibt der Verfasser, wie die Dosisleistung in Wasser und Luft durch das von ihm konstruierte *Röntgenergometer* beim Einfallen von *homogener Strahlung* gemessen werden kann. Seine Methode besteht darin, dass man mit dem Apparat zuerst die Strahlungsintensität und dann die durch irgendeinen Filter verursachte Schwächung der Strahlung misst. (Verfasser benützte aus rechnerischen Gründen einen Wasserfilter von 4.6 cm Dicke.) Aus den Resultaten dieser Messungen wird die Dosisleistung im Wasser mittels folgender Formel berechnet:

$$D_{\text{sec}}^{\text{gr}} = \frac{a \cdot 4.2 \left( \frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho} \right)_{\text{Wasser}} \cdot 60}{1.09 \cdot 100} \quad \text{hektoerg/gr. min,}$$



in der  $a$  den der Intensität entsprechenden Ausschlag,  $\frac{\mu}{\rho}$  den Massenschwächungskoeffizienten,  $\frac{\sigma_s}{\rho}$  den Massenstreuungskoeffizienten bedeutet. Um langwierige Rechnungen zu vermeiden, gibt der Verfasser eine Tabelle für ein Wasserfilter von  $20^\circ \text{C}$  an, aus welcher die Dosen zu entnehmen sind. Mittelst einer ähnlichen Formel ist auf die Massenhheit bezogene Dosisleistung in Luft zu berechnen. Ohne jede Schwierigkeit kann man die Dosisleistung in  $r/\text{sec}$  Einheiten durch die folgende Formel berechnen:

$$D = \frac{a \cdot 4 \cdot 2 \left( \frac{\mu}{\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho} \right)_{\text{Luft}} \cdot 60}{1 \cdot 09 \cdot 773 \cdot 0 \cdot 107} \text{ r/min.}$$

Die Ergebnisse der Rechnungen sind auch jetzt aus einer Tabelle zu entnehmen.

Im dritten Teil der Abhandlung wird die Methode der Dosismessung im Falle einer *zusammengesetzten Strahlung* besprochen, bezogen in erster Linie auf Wasser und Luft. Verfasser zeigt, dass auch hier die Methode, die für die homogene Strahlung angegeben wurde, anwendbar ist, wenn man mit dem Ergometer auch die mittlere Wellenlänge der zusammengesetzten Strahlung misst. Er gibt auch eine mathematische Definition der mittleren Wellenlänge der zusammengesetzten Röntgenstrahlung durch Berufung auf den ersten Mittelwertsatz der Integralrechnung. Wichtig ist es, dass der zur Messung der mittleren Wellenlänge benützte Wasserfilter eine geeignete Dicke habe. Die zur Berechnung der Luftdosis nötige mittlere Wellenlänge ist ebenfalls durch einen Wasserfilter bestimmbar, denn die mittleren Atomzahlen des Wassers und der Luft sind beinahe gleich.

Im letzten Teil der Abhandlung berichtet der Verfasser über entscheidende Experimente. Die Dosisleistung in Luft in  $r/\text{min}$  Einheiten wird beim Einfallen der durch Al und Cu Filter von verschiedenen Dicken gefilterten inhomogenen Strahlung gemessen, gleichzeitig mit dem Röntgenenergometer und mit einer



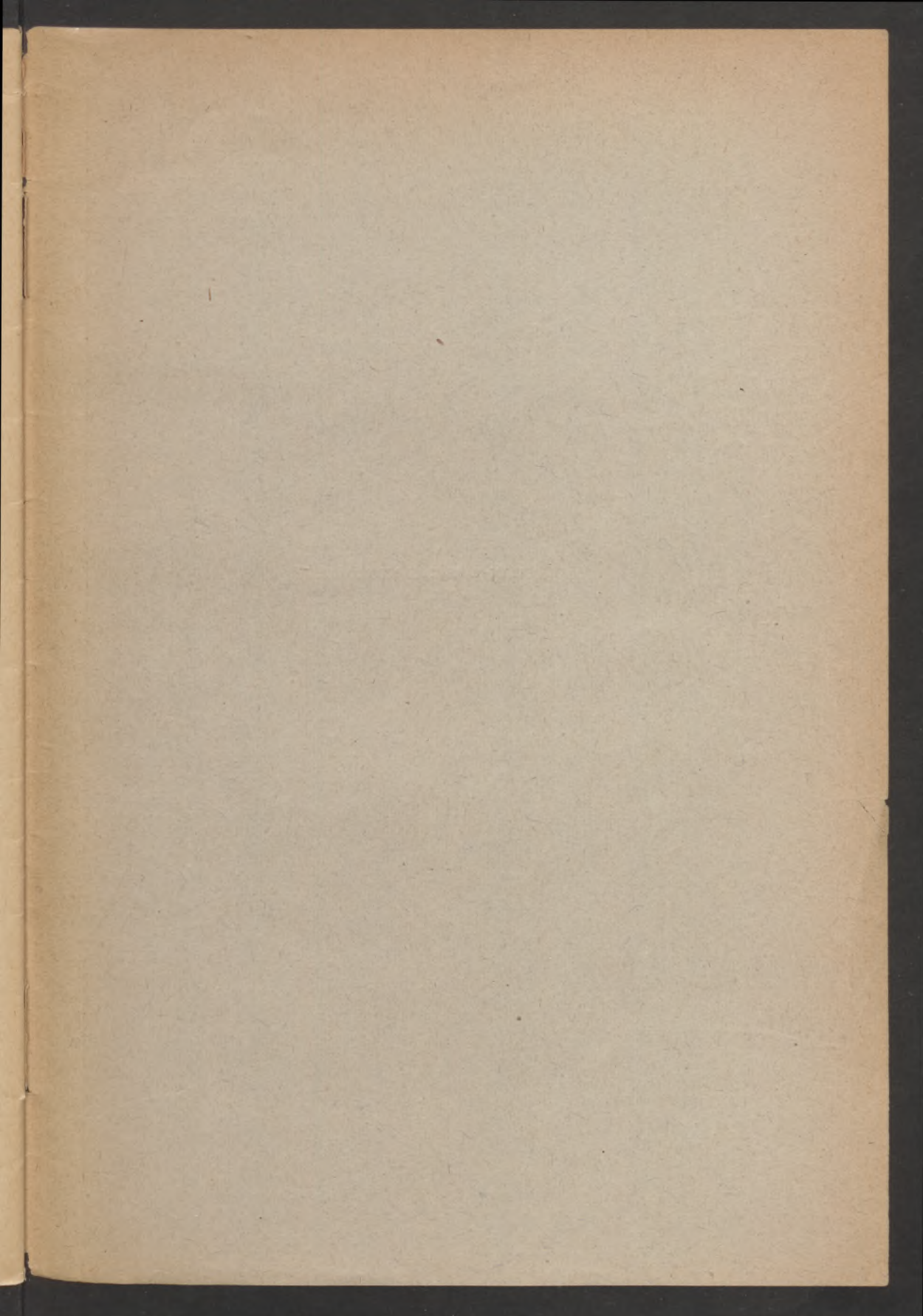
grossen Ionisationskammer. Die Dimensionen der Ionisationskammer sind  $40 \times 25 \times 25$  cm, die eingeschaltete Spannung war über 1200 Volt, die Stärke des Ionisationstromes wurde mit einem empfindlichen Drehspulgalvanometer gemessen. Die Messungsergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung. Man kann also das Röntgenergometer in der Praxis zur Bestimmung der Einfallsdosis und auch zur Eichung von kleinen Ionisationskammer gut verwenden. Weitere Untersuchungen sind im Gange.

---

(Aus der Sitzung der III. Klasse der Ungarischen Akademie der Wissenschaften vom 20. April 1936.)









FRANKLIN-TÁRSULAT NYOMDÁJA.