

# A gáztöltésű detektorok és az „FH 40 G-L10” műszer dozimetriája

Konzulens: Pávó Gyula

## Absztrakt

Áttekintek egy a dozimetriában ma is alkalmazott detektálási eszköz, a gáztöltésű detektorok működési elvét, módjait, majd a dozimetriában használatos fogalomrendszert, mindezt azért, hogy megérthessük a szakdolgozatomban végzett méréseimnél használt FH 40 G-L10 doziméter működését és a műszer által kijelzett érték fizikai tartalmát.

*Kulcsszavak: gáztöltésű detektor, dózis, kalibráció*

## Bevezetés

Készülő szakdolgozatomban a sugárvédelem, illetve dozimetria témájával foglalkozom. Ez a tudományterület már több, mint egy évszázados múltra tekint vissza. Röviddel azután, hogy Röntgen felfedezte 1895-ben a róla elnevezett röntgen-sugárzást<sup>1</sup> (angolul: X-ray) észrevették, hogy a sugárzás többek között károsítja az élő szervezetet. Ez a tény tette szükségessé, hogy felhasználása és alkalmazása mellett párhuzamosan kutassák tulajdonságait, biológiai hatásait és gondoskodjanak a sugárzás elleni védelemről.

A 20. században további sugárfajtákat is felfedeztek, melyek károsak az élő anyagra, s mivel ezt a hatásukat ionizáció révén érik el, ezért együttesen ionizáló sugárzásoknak nevezzük őket. A sugárvédelem kialakult fogalomrendszerével jellemzi eme sugárfajtákat, és próbálja megteremteni a kapcsolatot a fizikailag definiált dózisok, a sugárzás mechanizmusa, valamint a sejt- vagy molekuláris szintű (mikro), illetve látható (makroszintű) biológiai hatásuk között. Ahogy Marx György professzor is írja<sup>2</sup>: a sugárvédelem „javarészt fizikusi mérés technikát alkalmaz, a felmerülő problémák azonban összetetten fizikai-kémiai-geológiai-biológiai jellegűek, végső céljaik már az orvostudomány területére esnek, a döntéseknek pedig súlyos műszaki-gazdasági következményei vannak. Társadalmi megvalósításuk a jogalkotás, közegészségügy, államigazgatás, pedagógia feladata lesz.” Látható, hogy számos tudományterületről megközelíthető a sugárvédelem, azonban dolgozatomban már csak terjedelmi okokból is csupán a mérés technika kérdésével foglalkozom; miként mérjük a sugárzást, egyáltalán mivel, és mit mérünk,

<sup>1</sup> Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete. Budapest, 1998, Akadémiai Kiadó Rt. 373-374.p.

<sup>2</sup> Marx György: Környezetfizika, sugárvédelem, reaktorfizika. In Nagy Károly (szerk.): Fizikai tudományok az ezredfordulón. Budapest, 2000, Magyar Tudományos Akadémia 110. p.

illetve ebből az eredményből hogyan származtathatók például a biológiai hatásokat is leíró mennyiségek.

## Gáztöltésű detektorok

Ez a detektorfajta lényegében gázzal kitöltött zárt térfogattal és a gázt határoló két elektródából áll, melyek közé feszültség kapcsolható. Általában a detektortérfogat henger alakú cső, a két elektróda pedig a henger tengelye mentén elhelyezkedő vezető szál (anód), és a henger palástja (katód). A sugárzás a detektor közegével tud kölcsönhatásba lépni, melynek hatására szabad elektronok és ionok keletkeznek a gázban. Az elektródák közötti feszültség a keletkező szabad elektronokat az anód felé mozgatja, amik aztán oda becsapódnak. Ez egy feszültség impulzust okoz, amit megfelelő elektronikával mérhetünk. Fontos azonban tudni, hogy milyen módon eredményez szabad elektronokat a sugárzás és a detektor közege közötti interakció.

## Detektálandó sugárzás

Az alfa, illetve béta részecskék az anyagot felépítő atomok elektronjaival történő ütközéseken keresztül tudnak ionizálni. A különbség, hogy míg az alfa-sugárzás (He atommagok) jóval nehezebb az elektronok tömegénél, így pályája egyenes, és sűrű ionizáció kíséri (30-70 ezer ionpár/cm)<sup>3</sup>, addig a béta-sugárzás (elektronok vagy pozitronok) az ütközésben résztvevő elektronokkal azonos tömeg részecskékből áll, így azok pályája cikk-cakkos, és kisebb az adott útvonal mentén az ionizációk száma (körülbelül 1000-szer kisebb, mint alfa-sugárzásra). Fontos megjegyezni, hogy az ionizáció mellett ezek a sugárzások más módon is kölcsönhatnak az anyaggal, gondoljunk csak az atomi elektronok gerjesztésére, illetve a béta-sugárzás az atom elektromos tereben történő fékeződése közben kibocsátott úgynevezett fékezési röntgen-sugárzásra, mely aztán másodlagos ionizációhoz vezethet.

A rövid úthosszon bekövetkező nagyszámú ionizáció miatt az alfa-sugárzás igen hamar elveszti energiáját<sup>4</sup>, így anyagban csak néhány mikron távolságot tud megtenni, valamint levegőben is csak pár millimétert. Ebből kifolyólag detektálása nehéz, mert elnyelődik a detektor falában. Gáztöltésű detektorokkal ezért csak nagyon vékony detektorfal alkalmazásával mérhető, illetve az alfa bomlás mellett gyakran jelentkező gamma-sugárzás detektálásából következtethetünk az alfa-bomlások számára<sup>5</sup>, egy másik eljárás, hogy a detektor töltőgázát folyamatosan cserélik áramoltatással, és az alfabomló anyagot a gázkeverék tartalmazza.<sup>6</sup> A béta-sugárzás levegőben már néhány 10 cm-t is meg tud tenni, azonban egy vékony fémlap már képes elnyelni. Ezért a

<sup>3</sup> Gzásó Lajos, Sáfrány Géza, Köteles György: Az ionizáló sugárzás biológiai hatásai. In Köteles György (szerk.): Sugáregészségtan. Budapest, 2002, Medicina Könyvkiadó Rt, 43. p.

<sup>4</sup> A LET értéke (linear energy transzfer) az egységnyi hosszban leadott energia, az alfasugárzásra az, ami jelentős, a nagy ionizáció-sűrűség ezzel összefügg, persze a részecske mozgási energiája is befolyásolja értékét. A LET direkter kapcsolatban van az anyagban megtett távolságban.

<sup>5</sup> Szatmáry Zoltán Dr., Aszódi Attila Dr.: CSERNOBIL Tények, okok, hiedelmek. Budapest, 2010, Typotex 59.p.

<sup>6</sup> Páczay György Dr.: Radiokémia-III. (egyetemi jegyzet) [http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/kemiai\\_technologia/Radiok%9Emia/RADIOKEMIA-III.pdf](http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/kemiai_technologia/Radiok%9Emia/RADIOKEMIA-III.pdf) (Utolsó letöltés: 2014.04.27.) 11. p.

gáztöltésű detektorokon ablakot hagynak, melynek anyaga csillámlemez vagy vékony műanyag fólia, és nem a katód anyaga, így a sugárzás képes bejutni a detektortérfo-gatba.<sup>7</sup>

Leggyakrabban azonban, s az ELTE hallgatói laboratóriumaiban a sugárterhelés mé-rese esetén én is, a gáztöltésű detektorokat a gamma-, illetve röntgen-sugárzás de-tekálására használják. Ezek elektromágneses sugárzások (a spektrumban az ultraibo-lyánál nagyobb energiás tartományban találhatók), így az anyaggal a fotoeffektus, a Compton-szórás valamint a párkeltés<sup>8</sup> révén tudnak kölcsön hatni. A fotoeffektusban az atom elektronja elnyeli a fotont<sup>9</sup>, és ezáltal kilöködik az atomból. A Compton-effektus annyiban különbözik, hogy a foton nem teljesen abszorbeálódik, hanem en-ergijájának csak egy részét adja át az elektronnak, így egyrészt kisebb mozgási energiája lesz a kilöködő elektronnak, másrészt viszont a Compton-szóródott foton tovább ha-ladva ismét kölcsön hathat az anyaggal.

Megjegyzem, hogy egyéb interakció is lehet a sugárzás és a közeg között, mint pél-dául a rugalmas (vagy koherens) szórás, ami a detektálás szempontjából nem lénye-ges, illetve nagyon nagy energián neutronkilöködés is bekövetkezhet. Alapvetően az első három kölcsönhatás a legvalószínűbb, ezek közül is 50 keV energiás fotonokig a fotoeffektus a domináns, növekvő energián egyre inkább a Compton effektus a meg-határozó, míg nem az 50-100 MeV tartományban már a párképződés lesz a leggyako-ribb.<sup>10</sup>

## A detektor üzemmódjai

Láttuk tehát, hogy a különféle sugárzások és az anyag (aktuálisan a detektor gáza) közötti kölcsönhatás miként eredményezhet szabad elektronokat, melyek aztán az elektródákra kapcsolt feszültség hatására a központi anódszáiba csapódnak. Ha az elektromos térben a mozgó elektron kellően felgyorsul, akkor ütközve további ioni-zációt okozhat, így az alkalmazott feszültség nagyságától függően megjelenhetnek a sugárzás okozta primer elektronokon kívül továbbiak, melyek szintén az anód szállhoz érnek. Ezért megkülönböztetünk a gáztöltésű detektoroknál működési módokat az elektródákra kapcsolt feszültség nagysága szerint.

## Ionizációs kamra

A sugárzás okozta szabad elektronokat nem feltétlen tudjuk detektálni (nem jutnak el az anódra), mivel igen kis feszültség esetén megkötődhetnek a gáz nagy elektronega-tivitású atomokat tartalmazó molekulákon. Nemesgázok molekuláiba azonban nem tudnak befogódni (ez igaz még az  $N_2$ ,  $H_2$  és  $CH_4$  molekulákra is<sup>11</sup>), ezért alkalmazzák töltőgáznak. Ezen kívül az elektron pályája során találkozhat egy másik ionizációból

<sup>7</sup> Uo. 10. p.

<sup>8</sup> Ha a gamma foton energiája legalább 1,022 MeV, ekkor van ugyanis a fotonnak egy elektron és egy pozitron nyugalmi tömegével ekvivalens energiája.

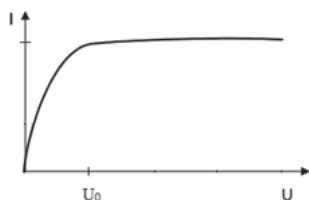
<sup>9</sup> Az elektromágneses sugárzás kvantumai a fotonok a hullám-részecske kettős természetnek megfelelően.

<sup>10</sup> Gázsó 2002, 49.p.

<sup>11</sup> Ez igaz még a  $N_2$ ,  $CH_4$  és  $H_2$  molekulákra is.

származó pozitív ionnal, mely a katód felé mozog, és a kettő képes semlegesíteni egymást. Az utóbbi esetet hívjuk rekombinációnak.<sup>12</sup> Ezek a hatások a feszültség növelésével csökkenthetők, és egy bizonyos érték felett már gyakorlatilag az összes keletkezett töltéshordozó eljut az elektródákra. Az 1. ábrán látható egy ionizációs kamra feszültség-impulzusszám karakterisztikája, ahol  $U_0$  a feszültség érték fölött beszélünk ionizációs kamra üzemmódról, és az alatta lévő tartomány nem használt.

1. ábra: Az ionizációs kamrák karakterisztikája<sup>13</sup>



Amennyiben a kimenő jelünk az elektronok okozta feszültségimpulzusok, akkor impulzus üzemi kamráról beszélünk. Ilyen módban egyre ritkábban használják ezt a detektort, mivel vannak már erre a célra sokkal alkalmasabb mérőműszerek. A másik lehetőség, hogy a teljes ionizációs áramot mérjük. Főként nagy intenzitású (nagy részecskeszámú) sugárzások esetén mialatt az anódra érne egy-egy elektron, az alatt több másik keletkezik, és esetleg együtt csapódik a központi vezető szálba, így az egyes ionizációk már nem elkülöníthetőek.<sup>14</sup>

## Proporcionális számláló

Az elektródákra kapcsolt feszültség további növelésével egy újabb hatás jelentkezik. A sugárzás okozta ionizáció során keletkezett elektronra ható elektromos tér már olyan nagy lesz, hogy a részecske közepes szabad úthossza<sup>15</sup> alatt annyi mozgási energiára tesz szert, hogy ütközve a gázban további ionizációt okoz, ami egy elektronlavina kialakulásához vezet. Ezt nevezzük gázerősítésnek. Az elektrodinamikából ismeretes<sup>16</sup>, hogy esetünkben a központi vezető szál, és a hengerpalást között a közjük kapcsolt  $U$  feszültség hatására az alábbi lesz az elektromos térerősség nagysága a detektor tengelyétől mért távolság ( $r$ ) függvényében:

$$E(r) = \frac{U}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \frac{1}{r}$$

<sup>12</sup> Gyurkóczy Csaba: Gázionizációs detektorok vizsgálata. BME NTI (mérési útmutató), 1997. [http://www.reak.bme.hu/uploads/media/06\\_Gaztoltesu\\_detektorok\\_vizsgalata\\_01.pdf](http://www.reak.bme.hu/uploads/media/06_Gaztoltesu_detektorok_vizsgalata_01.pdf) (Utolsó letöltés: 2014.04.27.) 6. p.

<sup>13</sup> Uo. 7. oldal ábrája alapján.

<sup>14</sup> Uo. 8. p.

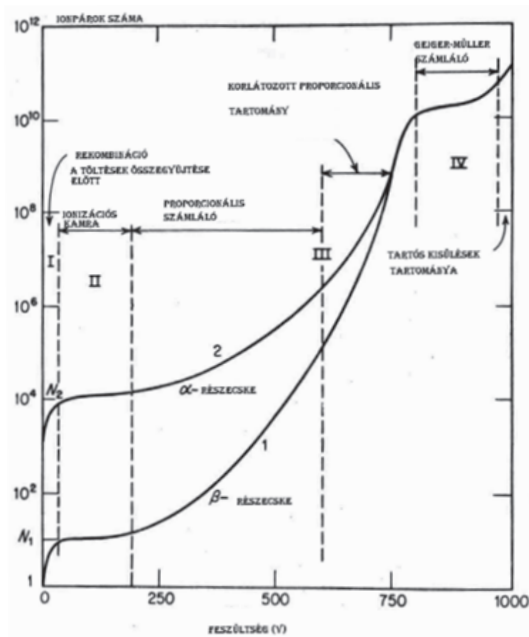
<sup>15</sup> Ez az a távolság, amit átlagosan egy részecske meg tud tenni ütközés nélkül.

<sup>16</sup> A többdimenziós integrálokra vonatkozó Gauss-tételt, valamint a feszültség és a térerősség közötti integrális kapcsolatot kell kihasználnunk.

Ahol  $r_1$  és  $r_2$  az anódszál, illetve a hengerpalást (katód) sugara. Tehát lesz egy olyan  $r_1 < r_0 < r_2$  érték, amin belül teljesül a fenti feltétel. A feszültség növelésével ez az  $r_0$  érték is nőni fog, egészen a cső faláig, és ahogy nő, úgy lesz egyre nagyobb egy-egy elektronlavina. Ez vezet a proporcionális számlálók feszültség-impulzus karakterisztikájához, mely a 2. ábrán is látható.

Másrészt igaz, hogy az ionizáló sugárzás által keletkező (primer) elektronok száma arányos a sugárzást alkotó részecske energiájával, s mivel ezek az elektronok ugyanakkora lavinát indítanak, ezért a lavinák száma, azaz a mérhető feszültség (vagy áram) impulzus arányos lesz a sugárzás leadott energiájával.<sup>17</sup> A proporcionális számlálókat ezért egy adott feszültségértéken szokták használni. Töltőgáznak valamilyen halogénmolekulákat tartalmazó elegyet használnak (Xe, He, Ar), a leggyakrabban alkalmazott keverék a „P-10” (10% metán, 90% argon).<sup>18</sup>

2. ábra: Gáztöltésű detektorok összesítő karakterisztikája<sup>19</sup>



## Geiger-Müller-számláló (GM-cső)

A feszültség további növelésével az ionlavina már oldalirányba is, azaz a teljes anód mentén teljesen kiterjed. Egy határ felett az anódszálhoz közel, ahol már rendkívül

<sup>17</sup> Uo. 9. p.

<sup>18</sup> Radioaktív Sugárzások mérése <http://www.muszeroldal.hu/measurement/RadSugmerese.pdf> (Utolsó letöltés: 2014.04.27.) 14. p.

<sup>19</sup> Páczay, 8. p.

nagy a térerősség az ott levő atomok közül igen sok gerjesztődik, és kibocsáthat ultraibolya sugárzást. Így az elektronlavina mellett egy (UV) fotonlavina is kialakul, mely a katódot elérve képes lehet onnan újabb elektronokat kiütni.<sup>20</sup> Ehhez az kell, hogy a foton energiája több legyen, mint a katód anyagára jellemző kilépési munka. Ezt a jelenséget nevezzük fotoelektromos hatásnak. Ha ez bekövetkezik, akkor a kilökött elektronok újabb lavinát indítanak el, és egy önfenntartó kisülés keletkezik.

Egyetlen ionizációból származó elektron is képes tehát a teljes anódszál mentén történő önfenntartó kisülés létrehozására. Éppen ezért igen érzékeny ez a detektor kis intenzitású sugárzásra is, azonban sem a részecskék fajtája, sem energiájuk nem befolyásoló tényező. A Geiger-Müller-számláló karakterisztikája is a 2. ábrán látható. Az önfenntartó kisülést azonban meg kell szüntetni, ez többféle módon is lehetséges. Egyrészt lehet a feszültség csökkentésével, épp azon okok miatt, amiért a növelése a kisüléshez vezet. Ha például az anóddal sorba van kötve egy munkaellenállás, akkor az önkisülés hatására meginduló nagy áram miatt az ellenálláson feszültség esik, és így kisebb lesz az anód és a katód közötti potenciálkülönbség. Másrészt vannak úgynevezett önkilótt számlálók is. Ebben az esetben a detektor gázához többatomos szerves molekulákat adagolnak (például alkoholgőzt), amik jól abszorbeálják az ultraibolya sugárzást, és esetleges az ionizációk helyett disszociálnak. Persze ebből kifolyólag ezeknek a detektoroknak van egy meghatározott élettartama, mivel egy idő után elfogy belőlük az abszorbeáló komponens. Halogéngázok alkalmazásával azonban mégis növelhető az élettartamuk, mert disszociáció után ezek a molekulák rekombinálnak, azaz újra képesek lesznek elnyelni ultraibolya sugárzást.<sup>21</sup>

Amíg azonban a kioltás nem történik meg, s aztán a feszültség az eredeti szintre vissza nem áll, a számláló nem képes újabb részecskéket detektálni. Azt az időt, amíg ez tart holtidőnek, vagy feléledési időnek nevezzük. Tipikus értéke a 10-100  $\mu$ s-os nagyságrendbe esik. A GM-számláló további fontos paraméterei a karakterisztikán is megfigyelhető plató szélessége, valamint relatív meredeksége. A szélesség tipikusan néhány 100 V szokott lenni, míg a relatív meredekség 10% alatti.<sup>22</sup>

Ha az elektródákra kapcsolt feszültséget a GM-számláló működési tartományán is tovább növeljük, akkor már ionizáció sem szükséges, hogy kisülés történjen a katód és az anód között, ez azonban a műszer elromlásához vezethet, és detektálás szempontjából sem indokolt.

## Pozíció érzékeny gáztöltésű detektor

Az eddig tárgyalt működési elven alapul a manapság is használt pozíció érzékeny proporcionális számláló, mely szintén gáztöltésű detektor, azonban a felépítése összetettebb, mint a fent említetteké. Ezzel a módszerrel azt lehet meghatározni, hogy egy (szintén ionizációra képes) részecske pályája a kétdimenziós síkot mely pontban metszi. A detektor három egymással párhuzamos lapból áll, melyek közötti térfogatot ugyancsak nemesgázt tartalmazó légnemű közeg tölt ki, ahogy a 3. ábrán is látható.

<sup>20</sup> Gyurkóczy 1997, 10-11. p.

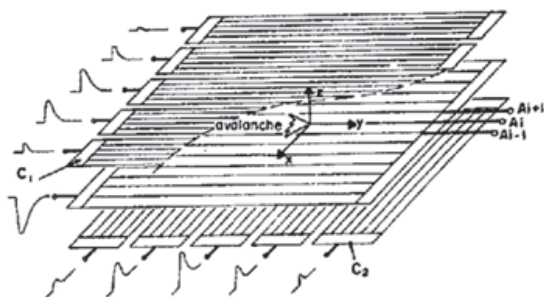
<sup>21</sup> Gyurkóczy 1997, 12-13. p.

<sup>22</sup> Páczay György Dr.: Radiokémia-III. 12. p.

A felső és alsó síkon futó, egymásra merőleges irányú vezető szálak a katódok, és a középső rétegben pedig az anód vezetői találhatók.

A kimenő jel ekkor az egyes anódok, illetve katódok közötti feszültség változása lesz, ami szintén impulzusszerű, és egy ionizációt követően az elektronlavina a hozzá legközelebbi anódba csapódik be. Ennek hatására azonban két katód közötti feszültségérték is megváltozik, így ezen katódok metszéspontja volt legközelebb az ionizációhoz, azaz ahhoz a ponthoz, ahol a sugárzás (részecske) áthaladt.<sup>23</sup> Ez a mérési eljárás manapság is alkalmazott a részecskedetektálásban.

### 3. ábra: A pozíció érzékeny gáztöltésű detektor felépítése<sup>24</sup>



### Kiegészítés a gáztöltésű detektorokhoz

Az 1. ábrán látható, hogy nem szerepelnek konkrét feszültség vagy impulzusszám értékek a tengelyeken. Ott csak a görbe alakjának szemléltetése volt a szándékom. A valóságban az egyes tartományokhoz tartozó feszültség valamint a görbék pontos alakja detektorról detektorra változhat. Függ a töltőgáz összetételétől, a detektor anyagától is. Az önkioltó GM-számlálók esetén például a halogénesek működési tartománya 300-700 V, míg a szerves molekulákat tartalmazónál ez az érték 1200-1700 V.<sup>25</sup>

### Dozimetria (az „FH 40 G-L10” műszerrel)

Az egyetemen a hallgatói laboratóriumok dózisterhelésének vizsgálata során az FH 40 G-L10 nevű dozimétert használom. Ez a műszer egy proporcionális számlálót használ detektorként. Így a detektált részecskék energiájáról is információt ad, azaz a detektortérfogatban leadott energia mennyiségéről. Ahhoz azonban, hogy eljussunk a gáztöltésű detektor által észlelt részecskéktől a kijelzőn megjelenő értékig, és azt értelmezni is tudjuk, át kell tekinteni néhány sugárvédelmi fogalmat, illetve mérés-technikai eljárást.

<sup>23</sup> G. Charpak and F. Sauli: Multiwire proportional chambers and drift chambers. Nuclear instruments and methods, 1979, <http://www.kfki.hu/~gbenedi/cikkek/science-13.pdf> (Utolsó letöltés: 2014.04.27.) 405-408. p.

<sup>24</sup> Uo. 408. p.

<sup>25</sup> Radioaktív Sugárzások mérése, 16. p.

## Dózisfogalmak

Az ionizáló sugárzás anyagra gyakorolt hatásának mértékét leginkább az anyagban leadott energiájával jellemezhetjük. Ez vezet a fizikai dóziszfogalom megalkotásához. A sugárzás kölcsönhatása az anyag egy kis darabjával egy sztochasztikus folyamat. Így egy kis  $dV$  térfogatban csak az elnyelt energia várhatóértéke ( $\varepsilon$ ) fog a térfogat csökkentésével szintén 0-hoz tartani. A  $D$  elnyelt dózist ezért az ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurement) 1980-ban az alábbi módon definiálta:

$$D = \lim_{m \rightarrow 0} \frac{\varepsilon}{m}$$

Az 1994-es definíció a manapság ismertebb formula, infinitézimális tömegben elnyelt kis energia:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm},$$

$D$  mértékegysége  $J/kg$ , amit graynek nevezünk ( $Gy$ ).<sup>26</sup> Érdekes bevezetnünk az elnyelt dózisteljesítményt, mely az elnyelt dózis időszerinti deriváltja, azaz az időegység alatt elnyelt dózis. Egy adott helyen a dózisintenzitás mérésével azonnali képet kaphatunk a jelenlévő sugártérről.

Vannak biológiai dóziszfogalmak is, melyek az élő szervezet sugárvédelme szempontjából relevánsabbak. Az egyes sugárfajtáknak eltérő egy adott elnyelt dózis esetén a biológiai roncsoló hatása. Ezért érdemes bevezetnünk egy olyan dóziszfogalmat, mely figyelembe veszi ezt a különbséget egy dimenzió nélküli súlyfaktoralal. Ekkor kapjuk az egyenértékű dózis fogalmát, mely egy adott  $R$  sugárzás típusra, és  $T$  szövetre az alábbi módon írható fel:

$$H_{R,T} = W_R * D_{R,T}$$

$W_R$  a sugárzás súlyfaktora,  $D_{R,T}$  pedig a szövetben elnyelt dózis. Mértékegysége  $J/kg$  hasonlóan az elnyelt dózishoz, viszont a neve a sievert ( $Sv$ ).<sup>27</sup>

A sugárzás biológiai hatékonyságának szempontjából eddig csak azt vettük figyelembe, hogy milyen sugárfajtáról van szó. Azonban a különböző szervek eltérő mértékben érzékenyek az ionizáló sugárzások által elszenvedett, főként kisebb dózisokra, ahol a sugárkárosodás sztochasztikus jellegű. Ez egy újabb faktor bevezetését eredményezte

<sup>26</sup> Bojtör Iván: Dóziszfogalom; sugárvédelmi dozimetriai mennyiségek. In Köteles György (szerk.): Sugár-egészségtan. Budapest, 2002, Medicina Könyvkiadó Rt, 222-223. p.

<sup>27</sup> Uo. 238-239. p.



a sugárvédelemben, melyet szöveti súlytényezőnek nevezünk, szintén dimenzió nélküli szám. Az R típusú sugárzás okozta effektív dózis ekkor egy T szövetre:

$$E_{R,T} = w_T * H_{R,T}$$

ahol  $w_T$  a szöveti súlyfaktor,  $H_{R,T}$  az R fajta sugárzásból származó egyenérték dózis. Látható, hogy érdemes volt már az egyenérték dózis fogalmánál a szövet indexét is használni, mivel ha többfajta sugárzás is jelen van, akkor a teljes effektív dózis kiszámításához összegeznünk kell szövetenként a sugárfajtákra a  $w_R$  súlyfaktoralal, majd az egyes szövetekre vonatkozó teljes egyenérték dózis ismeretében összegeznünk kell az összes szövetre  $w_T$  értékekkel. Így a teljes effektív dózis:

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{R,T}$$

Az effektív dózis mértékegysége is J/kg, a neve sievert (Sv).<sup>28</sup> Az alábbi táblázatban az egyes szöveti súlytényezők szerepelnek, látható, hogy az ionizáló sugárzás leginkább az osztódó szövetekre veszélyes.<sup>29</sup>

A sugárvédelem rendeltetése szempontjából a biológiai dóziszfogalmak a fontos mennyiségek, mivel ezek fejezik ki leginkább, hogy milyen mértékű biológiai károsodás veszélyének van kitéve az élő szervezet. Így ezekre a mennyiségekre vannak meghatározva a dóziskorlátok, amik azon dózisértékek, melynél többet egy adott ember egy év alatt nem kaphat (bizonyos eseteket leszámítva, amilyen például az adott személy orvosi vizsgálata, vagy sugárkezelése, de az indokoltság ebben az esetben elengedhetetlen). Innen ered ezen dóziszfogalmak másik elnevezése, a korlátozó mennyiségek kategóriája. Az egyes korlátok eltérőek a sugárveszélyes helyen dolgozók számára, valamint a lakosságot nézve (érdekesség, hogy egy külön kategória a tanulók), ezek táblázatokból kikereshetőek. A dozimetria azonban a mérésekhez, műszerek kalibrációjához egyéb dóziszfogalmakat is használ, melyeket működési mennyiségek is neveznek.

<sup>28</sup> A szorzó faktorok tapasztalati értékei táblázatokban megtalálható, pl: Bojtor 2002, 238-241. p. Terjedelmi okokból ide nem mellékeltem.

<sup>29</sup> Uo. 241. p.

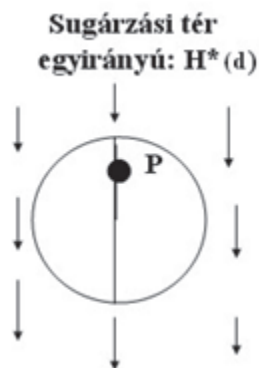
## ICRU fantom

A működési mennyiségek kalibrációjához vezette be az ICRU az úgynevezett ICRU gömböt. Ez egy olyan fantom, amely az ionizáló sugárzás energiájának elnyelődését tekintve ez emberi testet utánozza, 1 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű, összetevői: 76,2% oxigén, 11,1% szén, 10,1% hidrogén és 2,6% nitrogén. Alakja egy 30 cm sugarú gömb, de használnak henger, hasáb és egyéb fantomokat is.<sup>30</sup>

## Működési mennyiségek

Ezek ismeretében már definiálható a személyi dózisegyenérték dóziszfogalma  $H_p(d)$ , mely az ICRU fantom felszíne alatt  $d$  mélységben mért ( $d$  tipikus értékei 10 mm a légyszöveteknél, 3 mm a szemlencse esetén, míg 0,07 a bőrfelületre) dózisegyenérték. Utóbbi a korábban említett elnyelt dóziszból egy (ismert)  $Q$  faktoralal való szorzással kapható, mely a sugárfajtára jellemző, az általam mért röntgen- és gammasugárzásra értéke 1, azaz megegyezik az elnyelt dózissal. A környezeti dózisegyenérték,  $H^*(d)$  az irányított sugárzási térbe helyezett ICRU gömbön a tér irányával ellentétes oldali gömbsugáron  $d$  mélységben mért dózisegyenérték<sup>31</sup> (4. ábra).

### 4. ábra: A környezeti dózisegyenérték mérése az ICRU fantomban<sup>32</sup>



Ahhoz tehát, hogy ismerjük az effektív dózis értékét, melyet a korlátokkal össze lehet vetni, tudnunk kell a kapcsolatot az említett dózisegyenértékek, valamint az effektív dózis értéke között. Ezek kalibrációs mérésekből kaphatóak meg, az FH 40 G-L10 a környezeti dózisegyenértéket méri ( $H^*(10\text{ mm})$ ), az erre vonatkozó kalibrációs görbe látható az 5. ábrán.

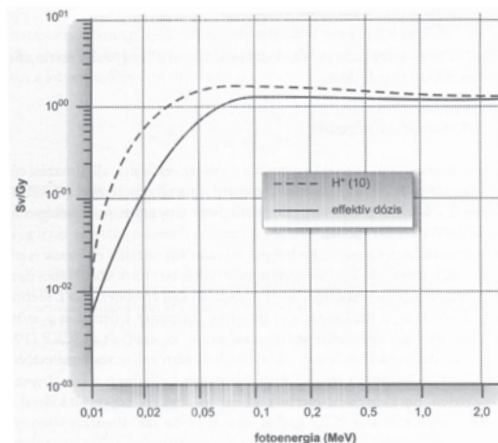
<sup>30</sup> Bojtor 2002, 232. p.

<sup>31</sup> Uo. 231. p.

<sup>32</sup> Forrás:

[http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019\\_1A\\_Orvosi-biologiai\\_izotoplaboratoriumok\\_sugarvedelme/ch02s04.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019_1A_Orvosi-biologiai_izotoplaboratoriumok_sugarvedelme/ch02s04.html)

5. ábra: Kapcsolat a környezeti dózisegyenérték és az effektív dózis között a különböző fotonenergiákon<sup>33</sup>



Látható, hogy a 100 és 1000 keV-os fotonenergiák tartományában a kalibrációs görbék esetén az összevetett mennyiségek arányai 1 körül vannak, azaz ezek a mennyiségek közel megegyeznek. Tehát a műszer működésének elve, hogy a beépített proporciós számlálóval detektált részecskék számából és energiájából az ICRU fantommal végzett kalibráció segítségével a környezeti dózisegyenértéket méri, melyből a fenti görbék segítségével az effektív dózis jól becsülhető.

## Összegzés

Egy dozimetriai mérés esetén egyszerűen leolvassuk a mérőműszer által kijelzett értéket, és becsléseket adunk a jelenlevő sugártér alapján a kapható, vagy kapott dózisosokra, majd ezeket az értékeket összevetjük a rendelkezésünkre álló, táblázatokban szereplő korlátokkal. Az ionizáló sugárzás ember számára érzékelhetetlen jelenlététől a műszeren kijelzett értelmezhető adatig vezető út azonban nem triviális, ezért volt tanulságos talán áttekinteni egy lehetséges detektálási eljárás elvét, valamint a mérőműszernek a dozimetria fogalomrendszeréhez való kalibrációját, illetve kapcsolatát.

## Irodalom:

- Bojtor Iván: *Dózisfogalom; sugárvédelmi dozimetriai mennyiségek*. In Köteles György (szerk.): *Sugáregészségtan*. Budapest, 2002, Medicina Könyvkiadó Rt, 217-244. p.
- G. Charpak and F. Sauli: *Multiwire proportional chambers and drift chambers*. In *Nuclear instruments and methods*, 1979, 405-428. o., <http://www.kfki.hu/~gbncedi/cikkek/science-13.pdf> (Utolsó letöltés: 2014.04.27.).
- Gzásó Lajos, Sáfrány Géza, Köteles György: *Az ionizáló sugárzás biológiai hatásai*. In

<sup>33</sup> Bojtor 2002, 236. p.

Köteles György (szerk.): *Sugáregészségtan*. Budapest, 2002, Medicina Könyvkiadó Rt, 41-96. p.

- Gyurkóczy Csaba: *Gázionizációs detektorok vizsgálata*. BME NTI (mérési útmutató), 1997. [http://www.reak.bme.hu/uploads/media/06\\_Gaztoltesu\\_detektorok\\_vizsgalata\\_01.pdf](http://www.reak.bme.hu/uploads/media/06_Gaztoltesu_detektorok_vizsgalata_01.pdf) (Utolsó letöltés: 2014.04.27.).

- Marx György: *Környezetfizika, sugárvédelem, reaktorfizika*. In Nagy Károly (szerk.): *Fizikai tudományok az ezredfordulón*. Budapest, 2000, Magyar Tudományos Akadémia, 107-117. p.

- Páczay György Dr.: *Radiokémia-III.* (egyetemi jegyzet) [http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/kemiai\\_technologia/Radiok%20mia/RADIOKEMIA-III.pdf](http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/kemiai_technologia/Radiok%20mia/RADIOKEMIA-III.pdf) (Utolsó letöltés: 2014.04.27.).

- *Radioaktív Sugárzások mérése* <http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/RadSugmerese.pdf> (Utolsó letöltés: 2014.04.27.).

- Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*. Budapest, 1998, Akadémiai Kiadó Rt.

- Szatmáry Zoltán Dr., Aszódi Attila Dr.: *CSEKNOBIL Tények, okok, hiedelmek*. Budapest, 2010, Typotex.

## Abstract

We review a detection tool for dosimetry used nowadays, operating principles and methods of gas-filled detectors, and conceptual framework used in dosimetry, all in order to understand the physical content of values displayed by FH 40 G-L10 dosimeter used in my thesis and the operation of the instrument.

*Keywords: gas-filled detector, dose, calibration*