

Korszerű vizsgálati módszerek labor jegyzőkönyv

Sugárvédelmi gyakorlatok

CSÖRNYEI GÉZA

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Fizika BSc III. évfolyam



'C' mérőcsoport

Mérés dátuma: 2018.03.14.

Mérés vezetője: Surányi Olivér

1. Bevezetés

Az emberek minden pillanatban ki vannak téve különböző forrásokból érkező sugárforrásoknak. Jelen laborgyakorlat során a természetes forrásból származó sugárzásokat vizsgáltuk meg: megmértük több helyszínen és módon a háttérsugárzás értékét, megvizsgáltuk egy, az egyetemen levő ^{241}Am sugárforrás árnyékolását, valamint méréseket végeztünk a Déli Tömb ásványtermében található uraninit (UO_2) minták sugárzásán is.

2. Mérés menete és kiértékelés

2.1. Háttérsugárzás mérése

Mérésünket a háttérsugárzás vizsgálatával kezdtük, melyet egy GM-csőes sugárzásmérővel és termolumineszcens doziméter segítségével végeztünk el.

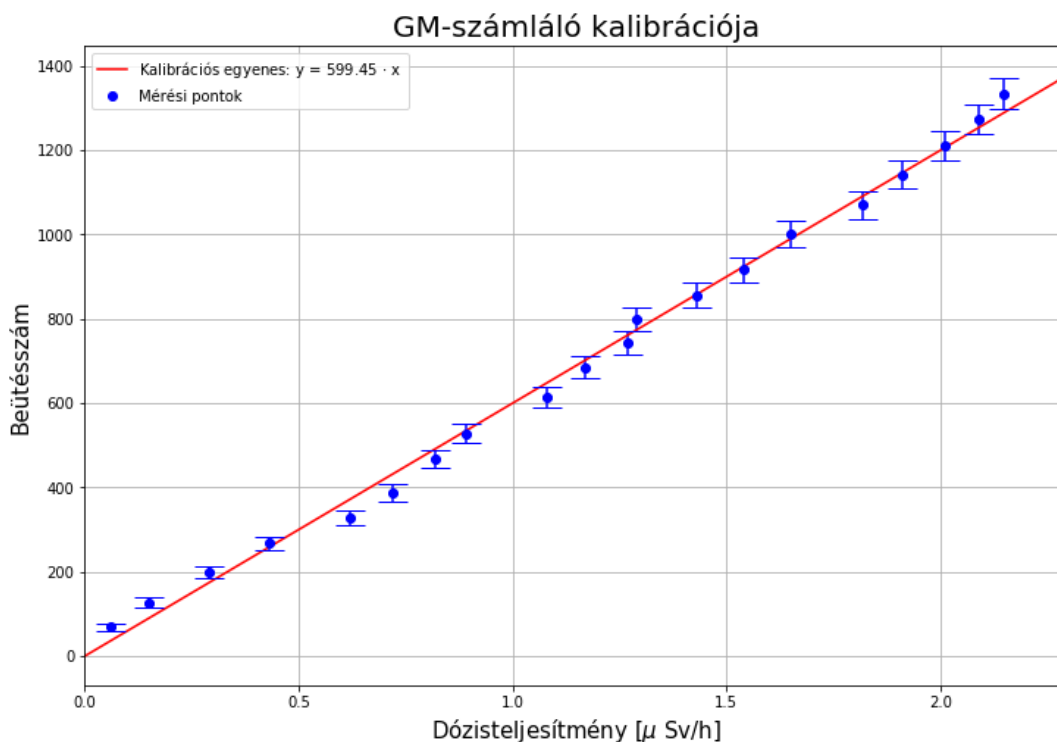
A Geiger-Müller-számlálón alapuló detektor a legegyszerűbb detektorok közé sorolható, mellyel a háttérsugárzás néhány százalékos pontossággal mérhető. Ezen számláló egy gáztöltésű detektor, melyben az alkalmazott feszültség miatt már egyetlen beérkező foton hatására ionizálódik az egész gáz. Ilyenkor az energia információ elvész, de cserébe nagy lesz a detektor érzékenysége. Az ilyen detektorokat elsősorban a ritkán beérkező fotonok számlálására használják a töltések kiürüléséhez szükséges hosszú (100-200 μs) holtidő miatt. A számlálóval értelem-szerűen csak a beérkező fotonok számlása lehetséges, így önmagában nem elegendő a háttérsugárzás dózisteljesítményének mérésére. Azonban mivel a háttérsugárzás kellően azonos energiájú fotonokból áll, ezért egy dózisteljesítmény mérő eszköz segítségével kalibrálható a GM-számláló, így lehetőségünk nyílik az általa törté-nő sugárzásmérésre.

A kalibrációhoz egy dózisteljesítmény mérő eszközt használtunk, mely minden fél percben megméri a háttér dózisteljesítményét, majd a kapott értékeket vettük össze a GM-számlálóról szimultán módon, szintén fél percenként leolvasott beütésadatokkal. A leolvasott értékeket a 1. táblázat tartalmazza.

Idő [min]	Beütésszám	\dot{D} [$\mu\text{Sv/h}$]	Idő [min]	Beütésszám	\dot{D} [$\mu\text{Sv/h}$]
0.5	69	0.06	5.5	743	0.10
1.0	127	0.09	6.0	800	0.02
1.5	198	0.14	6.5	856	0.14
2.0	267	0.14	7.0	916	0.11
2.5	327	0.19	7.5	1001	0.11
3.0	387	0.10	8.0	1070	0.17
3.5	468	0.10	8.5	1142	0.09
4.0	528	0.07	9.0	1209	0.10
4.5	614	0.19	9.5	1273	0.08
5.0	684	0.09	10.0	1334	0.06

1. táblázat. Geiger-Müller számláló kalibrációja

A táblázatban látható, dózisteljesítmény mérő által mért értékeket fél percenként felösszegeztük, majd megvizsgáltuk az arányosságot a két adatsor között. A felösszegezést amiatt kell elvégeznünk, hogy a dózisteljesítmény mérő fél perces időközönként mért, azonban a GM-számláló folyamatosan feljegyezte a beérkező részecskéket. Több részecskétől ugyanakkora idő alatt nyilvánvalóan nagyobb dózisteljesítményt várunk, méghozzá egyenes arányosságot követőt. Ennek értelmében ábrázoltam a két adatsort és elvégeztem az egyenesillesztést a GM-számláló kalibrálásához (1. ábra).



1. ábra. A GM-számláló kalibrálásához készített egyenesillesztés

Az illesztett egyenes meredeksége: $a = 599.447 \pm 4.430 \frac{\text{h}}{\mu\text{Sv}}$. Egy szokásos kalibrációs egyenes illesztésekor kézenfekvőbb a kalibrálandó mennyiséget felvenni az ábrázolás vízszintes tengelyére, így a kalibrációs állandó az illesztett egyenes meredeksége lesz, azonban itt az egyes kalibrációs pontok is rendelkeztek hibával, melyet jószerivel a kalibrálandó mennyiség, a beütésszám hordozott, így ezt helyeztem a függőleges tengelyre, hogy a hibasávok a konvencióknak megfelelően legyenek ábrázolva.

Mérésünk során főként a beütésszámok hibájával kellett számolnunk, melyhez képest a dózisteljesítmény mérő által okozott hiba elhanyagolható volt. Utóbbi hiba mindössze $0.005 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ volt a műszer kijelzőjének skálájából, azaz a mérés felbontásából adódóan, míg a beütésszámlálás hibája két tényezőből tevődött össze: egyrészt a független részecskedetektálást jellemző Poisson-hibából, másrészt a leolvasás pontatlanságából. Így tehát az egyes beütésértékek hibái:

$$\Delta_{\text{Beütés},N} = \sqrt{\Delta_{\text{Poisson},N}^2 + \Delta_{\text{Leolvasás}}^2}$$

A leolvasás hibáját körülbelül ± 2 darab részecskének becsültem, reakcióidőből adódóan, így a mért beütések hibáira az alábbi képlet adódik, ha beírjuk $\Delta_{\text{Poisson},N} = \sqrt{N}$ -t:

$$\Delta_{\text{Beütés},N} = \sqrt{N + 4}.$$

Az illesztésből kapott kalibrációs érték felhasználásával ezek után számolható a dózisteljesítmény a GM-számláló méréseinek segítségével, mindössze le kell osztanunk a kalibrációs értékkel a mért beütésszámot.

A mérés során kapott értékeket összevetve a hivatalos dózisteljesítmény adattal, mely [2] alapján Budapestre $82.8 \frac{\text{nSv}}{\text{h}}$, azt kapjuk, hogy az egyetemen mérhető háttérsugárzás kicsivel nagyobb, mint a tisztán természetes eredetű.

3. Ásványok sugárzásának mérése

Bár a mérésünk során időrendben nem az ásványok vizsgálata volt a következő lépés, de mivel a többi méréshez nem GM-számlálót, hanem attól merőben eltérő eszközt használtunk, ezért azon mérések tárgyalását későbbre helyeztem.

A mérést az ELTE Lágymányosi Kampuszának Déli Tömbjének Ásványtermében végeztük el. A mérések megkezdése előtt megmértük az ottani háttérsugárzás értékét (távol minden, potenciálisan sugárforrásként viselkedő ásványtól). A mérést másfél percig végeztük, a GM-számlálóval mért értékek a 2 táblázatban láthatók.

Idő [min]	Beütésszám
0.5	158
1.0	283
1.5	411

2. táblázat. Az ásványteremben mérhető háttér GM-számlálóval

A kapott beütésszámokat fél percekre kell bontani, azaz mindegyik adatból ki kell vonni az azt megelőzőt. Az így kapott beütésszámok immár fél percre lebontva: 158 ± 12.73 , 126 ± 11.40 és 128 ± 11.49 . Ezen értékekhez a hibát a már fent bemutatott módon, a leolvasási és a Poisson-hiba segítségével számoltam. Az ezekből számolható dózisteljesítmény értékek: $(0.264 \pm 0.021) \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$, $(0.210 \pm 0.015) \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ és $(0.214 \pm 0.016) \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$. Az értékek hibáit itt a beütésszámlálás és a kalibrációs faktor relatív hibáinak négyzetösszegéből számoltam:

$$\Delta_{\dot{D}} = \dot{D} \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\text{Beütés}, N}}{N}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{Kalibrációs}}}{A_{\text{Kalib}}}\right)^2}$$

Ezen méréseket kiátlagolva kapható az ásványteremben mérhető háttér, mely dózisteljesítménye

$$\dot{D} = 0.229 \pm 0.017 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}.$$

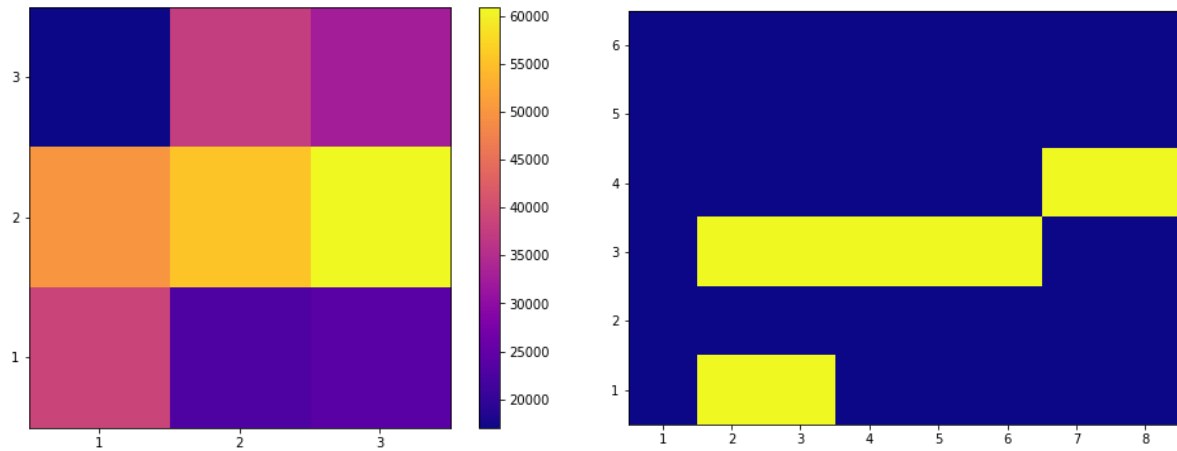
Az itt mért háttér nagyobb volt, mint amit a kalibrációkor, a másik épületben mértünk, ezt betudhatjuk az ásványteremben levő részecskék által keltett háttérnek. A nagy hiba

A háttér megmérése után kerestünk egy olyan ásványmintát, melyről összetétele alapján azt feltételezhettük, hogy sugárforrásként funkcionál. A talált ásványok uraninit (UO_2) minták voltak. Az ásványok egy üveglap mögött helyezkedtek el, és mivel nem tudtuk melyik sugároz a legintenzívebben, ezért feltérképeztük a kihelyezett ásványminták felett mérhető teret. A mérést a GM-számlálóval végeztük, melyet 1 percen keresztül tartottunk az ásványtároló feletti 3x3-as hipotetikus rács minden egyes pontjában, megközelítőleg azonos tárolótól mért távolságban. A mért értékeket a 3. táblázat tartalmazza.

17033	37636	32688
49965	55501	60928
38662	22856	23896

3. táblázat. Beütésszámok a hely függvényében az ásványtartó sugárzásának feltérképezésénél. A táblázat egyes értékei a hipotetikus rács megfelelő pozíciójú rácspontokban mért beütésszámokat jelenti.

A mért értékekről készített hőterkép ábrázolás és a sugárzónak vélt anyagok elhelyezkedése a 2 . ábrán tekinthető meg.



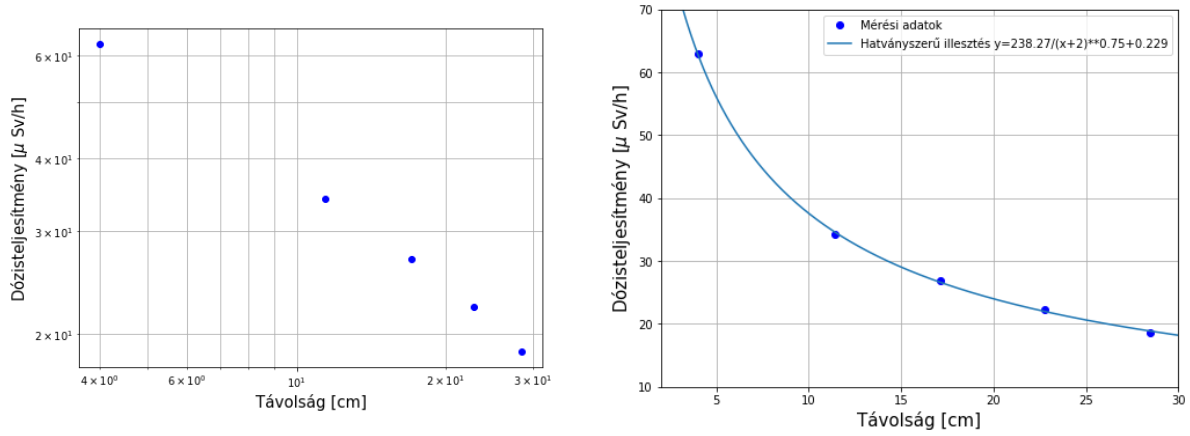
2. ábra. Bal ábra: az ásványtároló felett mért beütésszám helyfüggése egy 3x3-as rács mentén. Jobb ábra: uránt tartalmazó minták helyzete az ásványtárolón belül (az ásványok 6 sorban nyolcasával helyezkedtek el)

A mérésünk alapján kiválasztottuk a sugárzás által legjobban terhelt rácspontot, majd az ásványtároló üvegétől több különböző távolságban is végeztünk egy-egy egyperces beütésszámlálást. A mért értékek és a számolt dózisteljesítmény a 4 . táblázatban látható. Fontos megjegyezni, hogy mivel a kalibrációs számításokat fél perces mérések alapján végeztük, illetve azokra vonatkoztatva adtam meg a GM-számláló kalibrációs állandóját, ezért azon állandó kétszeresét kellett venni jelen számolásokhoz, mivel itt kétszer olyan hosszú, azaz egyperces méréseket végeztünk. A hibaszámítás módszere a már fentebb említett, relatív hibákon alapuló számolás volt. A távolságmérés hibája a mérés skálájából és a leolvasási pontatlanságból tevődik össze.

Távolság [cm]	Beütésszám	\dot{D} [$\mu\text{Sv/h}$]
4.0 ± 0.2	75456 ± 274.70	62.938 ± 0.518
11.4 ± 0.2	40985 ± 202.46	34.186 ± 0.304
17.1 ± 0.2	32238 ± 179.56	26.890 ± 0.249
22.8 ± 0.2	26736 ± 163.52	22.301 ± 0.214
28.5 ± 0.2	22384 ± 149.63	18.671 ± 0.186

4. táblázat. Sugárzás távolságfüggése

A sugárzás távolságfüggésének jobb megértéséhez ábrázolhatjuk a ért dózisteljesítményeket a távolság függvényében. Ezen ábrázolás a 3 . ábrán látható. Fontos megjegyezni, hogy itt az üvegtől mért távolságot jegyeztük fel, a minta-üveg távolságot viszont csak becsülni tudtuk, melyet én körülbelül 2 cm-nek becsültem.



3. ábra. Bal ábra: a mintapontok log-log ábrázolása, ilyen ábrázolás esetén jó közelítéssel egyenesre illeszkednek, így hatványfüggvényszerű függést várok. Jobb ábra: adatpontok hatványfüggvényszerű illesztése

Mivel az adatpontok log-log ábrázolásánál egy jó közelítéssel egyenesre illeszkedő ponthalmazt kaptam, így hatványfüggvény illesztésével próbálkoztam. Az illesztett függvény alakja

$$y(x) = \frac{a}{(x+2)^b} + 0.229$$

volt, ahol a és b az illesztési paraméterek voltak, a 2-es tag az ásvány üveg alatti helyzetét becsülte, a 0.229 pedig a termi háttérsugárzásból származó tag volt. Az illesztés során az alábbi értékeket kaptam a paraméterekre:

$$a = (238.270 \pm 4.352) \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h} \cdot \text{cm}},$$

$$b = 0.746 \pm 0.008.$$

Ez az érték merőben eltér az inverz négyzetes függéstől, melyet egy pontszerűnek tekinthető sugárforrástól várnánk. Ennek oka valószínűleg az, hogy több sugárforrás van egymáshoz közel, így ezen négyzetes függések összegét tapasztaljuk. Mivel a minták nem voltak egyenlő távolságra a detektorunktól, valamint az általuk kibocsájtott sugárzás intenzitása is nagy valószínűséggel különböző volt, ezért azok összege létrehozhatott egy ilyen távolságfüggést a mi mérésünk során.

Mérésünk során megpróbáltuk megvizsgálni, vajon milyen részecskékből állhat a detektált sugárzás. Ehhez több rétegnyi papírlapot helyeztünk körülbelül 1-2 cm vastagon a detektor és az üveglap közé, és megmértük a beütésszámot a kiindulási pozícióban (4 cm-es távolságban). A kapott beütésszám azonban jó közelítéssel megegyezett a korábbi értékkel (kicsivel még nagyobb is volt, bár ezt a távolság beállításának pontatlanságának lehet betudni). Mivel érdemi különbség nem keletkezett a mért beütésszámban, ezért olyan részecskékről van szó, melyek nem nyelődnek el ilyen vékony árnyékolás esetén, azaz gamma-részecskéket detektáltunk. A forrás bomlása során keletkezik még valószínűleg alfa-részecske is, ám ezeket már a vékony üveglap is teljesen leárnyékolja, így ezeket biztosan nem detektáltuk mérésünk során.

Kiszámolható továbbá az is, mennyi időt tölthetünk az ásványtól mért fix távolságokban anélkül, hogy a kapott dózis elérné az egészségügyi határértéket. Ehhez egyszerűen azt vizsgáltam meg, mennyi idő kellene ahhoz, hogy adott dózisteljesítmény mellett elérjük az 1 mSv-et, mely a lakosságra vonatkozó egészségügyi határérték. A kapott időértékek a 5. táblázatban láthatók.

Távolság [cm]	Határérték eléréséhez szükséges idő [h]
4.0 ± 0.2	15.889 ± 0.131
11.4 ± 0.2	29.252 ± 0.260
17.1 ± 0.2	37.189 ± 0.344
22.8 ± 0.2	44.842 ± 0.430
28.5 ± 0.2	53.560 ± 0.534

5. táblázat. Az egészségügyi határérték dózis eléréséhez szükséges idő

Az adatokból látszik, hogy az ásványok sugárzása meglehetősen erős, így a hosszas közel tartózkodás nem ajánlott, ez esetben relatíve rövid időn belül meghaladhatja a kapott dózis az egészségügyi határértéket.

4. Termolumineszcens dozimetria

A mérés fennmaradó részében nem GM-számlálót, hanem termolumineszcens dózismérőket (röviden TLD) használtunk. Ezek működésének alapja, hogy az ionizáló sugárzás hatására a TLD-t alkotó kristályokban némely elektronok gerjesztetett állapotba kerülnek, ahonnan csak melegítés hatására térhetnek vissza alapállapotba. Részletes működésük megtalálható [1] jegyzetben. A műszer működési elvéből adódóan csak egyszeri kiolvasásra ad lehetőséget. Ezen műszer előnye a gyors kiolvashatóság és a digitális adatrögzítés lehetősége.

Mérésünk során három TLD patronnal dolgoztunk. Először az előző mérés óta csupán háttérsugárzást mérő patronokat kifűtöttük, ezzel információt kapva a háttérsugárzás értékére. A kifűtés során a doziméterekből kiolvasott értékek a 6 táblázatban találhatók:

Időpont	Kulcs	Blokk	D [μ Sv]	Expóziós idő [h]
9:17	D0202	1379	6.980 ± 3.650	142.5
9:21	D0203	1380	11.20 ± 4.143	142.5
9:24	D0201	1381	8.98 ± 3.863	142.6
9:26	D0202	1382	0.00	
9:27	D0203	1383	2.43	
9:29	D0201	1384	0.00	
9:31	D0202	1385	1.09	
9:32	D0203	1386	1.93	
9:33	D0201	1387	0.36	

6. táblázat. Háttérsugárzás mérése TLD-vel

A hibaszámítást itt az alábbiak figyelembevételével végeztem: az [1] jegyzet szerint a doziméterek esetében a kalibráció szisztematikus relatív hibáját $\pm 20\%$ -kal becsülhetjük, a sztochasztikus relatív hiba pedig a mért dózissal csökken a következő formula szerint:

$$\Delta_{\text{Sztochasztikus,rel}} = \sqrt{1 + \left(\frac{33}{D}\right)^2} \%,$$

ahol a D dózist μSv egységekben kell megadni. A teljes relatív hibát ezen két hiba négyzetösszegének tekintem. A hibákat csak az első három mért értékre számoltam ki, a többi értékre a sztochasztikus hiba miatt nagyon nagy, a mért értéket többszörösen is meghaladó hiba jött volna ki. A háttérsugárzás valós értékét az első két mérősorozat különbségeként kapjuk, a harmadik a patronok tisztaságát szolgálja. A mérésekből kapható háttérsugárzás érték:

$$\dot{D} = 0.058 \pm 0.014 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$$

adódik. Ez az érték nagyjából feleakkora mint a dózisteljesítmény mérővel mért értékek. Ennek magyarázata abban kereshető, hogy a műszer közel volt a mérési határához, ahol nagy a mérés hibája, az esetlegesen fellépő nemlinearitások miatt.

A háttérsugárzás mérése után az Északi Tömb -1.111 Laborjában található ^{241}Am sugárforrás árnyékolásán belülre, rá illetve mellé helyeztük el a kapott dozimétereket, majd a másik épületben végzett mérés végéig ott is hagytuk őket. A mérés befejezése után (körülbelül 1.1 h-val később) visszavittük és kifűtöttük a patronokat. A kifűtésből kapott adatokat a 7. táblázat tartalmazza.

Időpont	Kulcs	Blokk	D [μ Sv]	Expóziós idő [h]
10:40	D0201	1388	2800 ± 626.108	1.1
10:41	D0203	1389	2.42 ± 3.344	1.1
10:42	D0202	1390	12.4 ± 4.310	1.1
10:44	D0201	1391	0.52	
10:45	D0203	1392	1.96	
10:46	D0202	1393	0.00	
10:48	D0201	1394	0.23	
10:49	D0203	1395	2.08	
10:51	D0202	1396	0.00	

7. táblázat. Sugárforrás mérése TLD-vel

Az egyes értékek hibáit a korábbiak alapján számoltam. A sugárforrás árnyékolásán belül a dózisteljesítmény $\dot{D} = (2544.981 \pm 569.189) \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$, ami azt jelenti, hogy azon belül tartózkodva alig 0.393 ± 0.088 h alatt elérné a kapott sugárzás az egészségügyi határértéket, 0.982 ± 0.220 h alatt a teljes évi háttérsugárzás értékét (2.5 mSv), 58.939 ± 13.182 h alatt pedig a sugárveszélyes helyen dolgozók szemlencsére vonatkozó éves korlátját (150 mSv) is.

Ugyanezen értékek az árnyékolás tetejére helyezett patron (202-es számú kulcs) esetén: $\dot{D} = (11.273 \pm 3.918) \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$. Ezzel az egészségügyi határértéket 88.708 ± 30.833 h alatt, az évi háttérsugárzás értékét 221.769 ± 77.083 h alatt, valamint a sugárveszélyes helyen dolgozó szemlencsére vonatkozó korlátozását 13306.130 ± 4624.953 h alatt lépnénk át. Az értékek hibáit itt és fentebb is a relatív hiba terjedésével számoltam.

A harmadik patron méréseiből a kapott dózisra az első két mérés különbségéből $0.46 \mu\text{Sv}$ -t kapunk mely javarészt háttérsugárzásnak tekinthető, melyet a GM-számlálóval sokkal pontosabban tudtunk mérni, mint TLD-k segítségével.

5. Diszkusszió

Mérésünk során megmértük több műszer segítségével is a háttérsugárzás értékét, megismerkedtünk a TLD működési elvével. A mérés során használt GM-számláló segítségével megmértük az uraninit minták sugárzását és megvizsgáltuk több egymás mellett levő sugárzó forrás környezetében mérhető beütésszám távolságfüggését.

Hivatkozások

[1] : *Kiadott jegyzet:*

<http://atomfizika.elte.hu/kvml/sug/sug.pdf>

[2] : *Országos Meteorológiai Szolgálat Honlapja:*

http://met.hu/levegokornyezet/gammadozis_teljesitmeny/magyar/