
Abszolút és relatív aktivitás mérése

Korszerű vizsgálati módszerek

jegyzőkönyvet készítette:

Asztalos Bogdán

mérés időpontja: 2019. 03. 14.

mérőtársak: Boldizsár Bálint, Molnár Janka

mérésvezető: Hegedűs Dávid

Tartalomjegyzék

1. Mérés leírása	2
2. A ^{22}Na minta vizsgálata	2
2.1. Spektrum mérése	2
2.2. Koincidencia szögfüggése	6
2.3. Koincidencia 90° -os szögnél	7
3. A ^{60}Co minta vizsgálata	8
3.1. ^{60}Co spektrum mérése	8
3.2. Aktivitásának mérése	10
4. Számolási feladatok	11
4.1. Kapott dózis	11
4.2. Minták élettartama	11

1. Mérés leírása

Mérésünk során radioaktív anyagok bomlását vizsgáljuk. γ -bomló anyagok sugárzását mérjük NaI-szcintillációs detektor segítségével, és ennek spektrumából szeretnénk következtetni a vizsgált bomlás energiájára, és aktivitására.

Mivel a beérkező sugárzás detektálásának hatásfoka nem 100%-os, ezért két detektorral mérünk, hogy az egyszerre beérkező fotonok számából, azaz a koincidenziából vissza tudjuk számolni a minta eredeti aktivitását. Ehhez olyan anyagot kell vizsgálni, ami egymás után rövid időn belül több γ -fotont is kibocsát.

Mi a mérésünk során kétféle izotóppal dolgoztunk: ^{22}Na -mal és ^{60}Co -tal. A ^{22}Na először β^+ bomlást végez, majd a keletkező ^{22}Ne γ -bomlik. Mivel a β^+ -bomlásban létrejövő pozitron egy elektronnal találkozva annihilálódik, a keletkező két 511 keV energiájú foton tudjuk detektálni koincidenziaként. A ^{60}Co minta esetében a két foton abból származik, hogy a β^- bomlásban keletkező ^{60}Ni mag még gerjesztett állapotban van, és a legerjesztődés nem egy lépésben megy végbe, hanem rövid időn belül két γ -bomláson megy keresztül, először egy 1173 keV, majd egy 1333 keV energiájú foton bocsát ki.

A mérőberendezésen diszkriminátorok segítségével beállíthatjuk, hogy milyen feszültségű jeleket továbbítsunk a számláló felé, így a különböző energiájú fotonok számát lehet külön-külön mérni, és ezáltal felvenni a spektrumot. A spektrumban a háttérből kiemelkedő csúcsok lesznek a kibocsátott sugárzásból detektált részecskék, vagyis a csúcsok helye alapján lehet kalibrálni a mérőeszközünket.

Az ideális az lenne, ha a mintából bármely irányba kilépő részecskét tudnánk érzékelni, de mivel csak két darab szcintillációs mérőfejet használunk, ezért a detektált részecskék száma függ attól, hogy melyik detektor hol van, illetve mivel a koincidenziák száma szögfüggő, ezért függ a mérőfejek egymáshoz képesti helyzetétől is. A mérés során ezt a tulajdonságot is vizsgálni fogjuk: megmérjük a ^{22}Na bomlás koincidenziájának szögfüggését, illetve a ^{60}Co koincidenziájából – mivel tudjuk, hogy nagyjából szögfüggetlen – visszaszámolható lesz majd a minta aktivitása.

A mérés sokkal részletesebb leírása, és elméleti háttere megtalálható a mérési leírásban [1].

2. A ^{22}Na minta vizsgálata

2.1. Spektrum mérése

Először a ^{22}Na minta γ -spektrumát mértük meg. A diszkriminátor csatornaszélességét 0,1 V-ra állítottuk, és 1,5 V-tól 2,5 V-ig megmértük, hogy milyen feszültség esetén hány foton detektál a detektor $t = 12$ s idő alatt. A kapott értékeket az 1. táblázat tartalmazza.

Feszültség [V]	N_1	N_2	Koincidencia
0,5-0,6	165	196	1
0,6-0,7	97	99	0
0,7-0,8	105	89	1
0,8-0,9	252	273	38
0,9-1	95	234	7
1-1,1	41	55	0
1,1-1,2	27	38	0
1,2-1,3	26	38	0
1,3-1,4	27	26	0
1,4-1,5	26	24	0
1,5-1,6	28	30	0
1,6-1,7	21	34	0
1,7-1,8	21	26	0
1,8-1,9	12	17	0
1,9-2	22	14	0
2-2,1	39	18	0
2,1-2,2	43	38	0
2,2-2,3	26	56	0
2,3-2,4	5	35	0
2,4-2,5	3	8	0
2,5-2,6	9	14	0

1. táblázat. A beütésszám, és a koincidenciák száma a ^{22}Na minta esetében különböző feszültségértékek mellett

	1. detektor	2. detektor
B	11,4	19,4
A_1 [V]	227	283
μ_1 [V]	0,841	0,887
σ_1 [V]	0,077	0,082
A_2 [V]	364	396
μ_2 [V]	2,10	2,24
σ_2 [V]	0,09	0,07

2. táblázat. A ^{22}Na γ -spektrumában a csúcsillesztés paraméterei

Tudjuk, hogy a ^{22}Na bomlásából származó fotonok energiái 511 keV és 1280 keV energiájúak lehetnek, ezért a spektrumban két csúcsot várunk. Tegyük fel, hogy ezek a csúcsok

$$f(x, A, \mu, \sigma) = Ae^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

alakú Gauss-görbéként jelennek meg a háttér fölött! Mivel két csúcsot várunk, ezért a spektrum pontjaira illesztett görbe egyenlete legyen a

$$g(x, B, A_1, \mu_1, \sigma_1, A_2, \mu_2, \sigma_2) = B + f(x, A_1, \mu_1, \sigma_1) + f(x, A_2, \mu_2, \sigma_2) \quad (2)$$

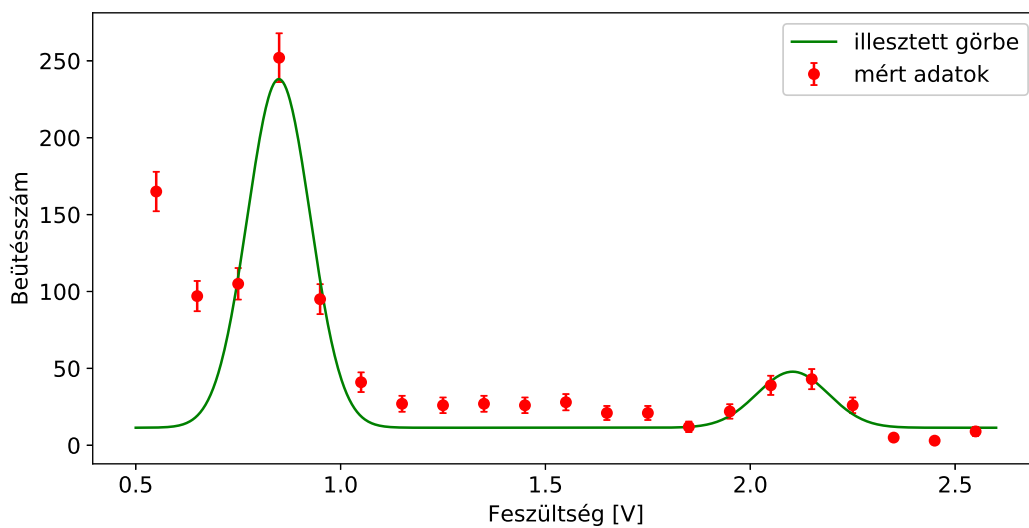
kifejezés szerinti. A mért spektrumokat és a rájuk illesztett görbéket az 1. ábra ábrázolja. Az első két csatorna jele láthatóan nem illeszkedik bele a várt alakba, így az illesztésnél ezeket nem vettük figyelembe. Ezeknél a méréseknél valószínűleg valami zavar volt a berendezésben, ami befolyásolta a mérést. Az csúcsok helye és bizonytalansága az illesztett Gauss-görbék középpontjából és félértékszélességéből, mint illesztési paramétereiből megállapíthatók. Ezeket a 2. táblázat tartalmazza. Ha úgy vesszük, hogy a valódi csúcs a két görbeillesztésből kapott értékek átlagánál van, akkor az első csúcs helye: $\mu_1 = (0,86 \pm 0,11)$ V, a másodiké pedig: $\mu_2 = (2,07 \pm 0,14)$ V. Ha ez alapján meg akarjuk határozni az összefüggést a detektált foton energiája és a diszkriminátorra kapcsolt feszültség között, akkor – feltételezve, hogy a kapcsolat lineáris – akkor az alábbi kifejezés adja meg a feszültségből energiává való átváltást:

$$E_{\text{foton}} = a \cdot U_{\text{diszkr}} + b \quad (3)$$

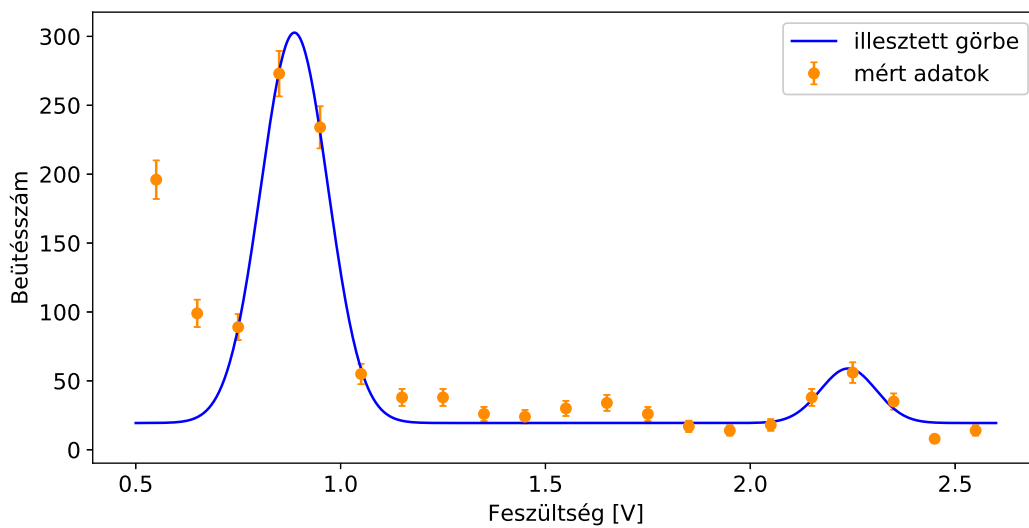
ahol a paraméterek: $a = (0,64 \pm 0,13) \frac{\text{MeV}}{\text{V}}$ és $b = (-0,04 \pm 0,18)$ MeV. Látható tehát, hogy a hiba elég nagy, de legalább nagyságrendi meg tudjuk állapítani egy detektált foton energiáját.

^{22}Na spektruma

Első detektor



Második detektor



1. ábra. A ^{22}Na minta spektruma a két detektor esetén

Szög [°]	N_1	N_2	Koincidencia
135	380	440	0
145	387	437	0
155	381	431	1
165	357	413	21
175	363	480	62
180	356	447	56
185	373	427	34
195	363	468	3
205	392	444	0
215	441	445	1
225	363	479	1

3. táblázat. A beütésszám, és a koincidenciák száma a ^{22}Na minta esetében a detektorok különböző szögállásai mellett

paraméter	érték
A	63,4
μ [°]	176
σ [°]	7,6

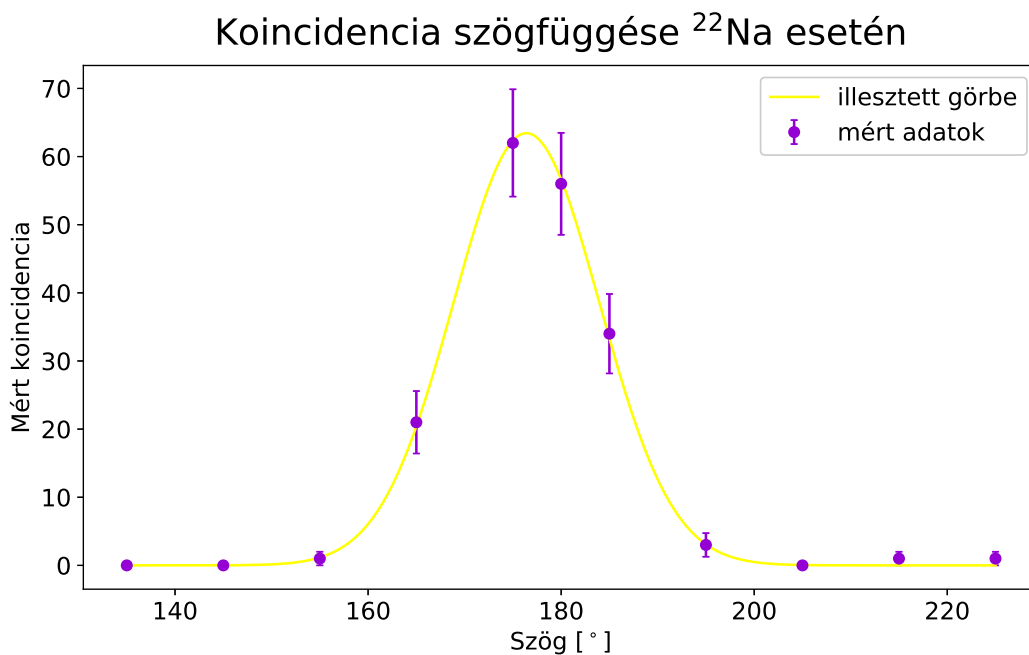
4. táblázat. A szögfüggés illesztésének paramétereit

2.2. Koincidencia szögfüggése

A spektrumból leolvasható, hogy koincidenciát gyakorlatilag csak 3 csatorna detektált. A következő részben főleg ezekre koncentrálnunk, ezért ebben a mérésben a diszkriminátor által engedett feszültség 0,7V és 1V között lesz. A mérés célja megmérni, hogy hogyan függ a ^{22}Na mintából detektált koincidenciák száma attól, hogy a detektorok egymással mekkora szöget zárnak be. Mivel a koincidencia főleg a pozitron annihilálódásakor szétrepülő fotonok miatt van, ezért a lendületmegmaradás miatt azt várjuk, hogy a legtöbb 180° esetében lesz.

A mérés megint $t = 12\text{s}$ ideig tart, viszont most a feszültségérték fix, és a detektorok által bezárt szög változik 135° és 225° között. A kapott értékeket a 3. táblázat tartalmazza. A táblázat adatai jól mutatják, hogy bár a fotonok beütésszám különböző szögek esetében nagyjából ugyanolyan érték körül ingadozik, a koincidenciák száma csak 180° körül ér el érdemi mennyiséget.

A kapott koincidenciák számát a szög függvényében a 2. ábrán ábrázoltuk. A maximális szám meghatározásához illesztettünk rá az (1) kifejezésnek megfelelő Gauss-görbét is. a görbe illesztési paramétereit a 4. táblázat tartalmazza. Az illesztett görbe középpontja 176°-nál van, és a mért adatok is azt mutatják, hogy a 175°-nál mért koincidencia több,



2. ábra. A ^{22}Na γ -spektrumában mérhető koincidenciák száma a detektorok által bezárt szög függvényében

Mérés típusa	N_1	N_2	N_k
Késleltetés nélkül	18366	22626	19
Késleltetéssel	18654	22348	0

5. táblázat. A ^{22}Na minta esetében beütéseinek száma, amikor a detektorok 90° -ot zárnak be

mint a 180° -nál lévők. Ezt valószínűleg a detektorok hibás beállítása okozza, ami miatt a 180° -ban szétrepülő fotonokat nem pontosan 180° -nál érzékeli.

2.3. Koincidencia 90° -os szögnél

Megmértük a beütésszámokat úgy is, hogy a detektorok 90° szöget zárnak be egymással. Két mérést végeztünk, mindkettőt $t = 600\text{ s}$ ideig, úgy, hogy az egyik alkalommal a két detektor jele el volt tolva egymástól, hogy a mért koincidenciákat kiszűrjük, így a kapott eredmény csakis véletlen koincidencia lehet. A mért eredményeket az 5. táblázat tartalmazza. Mivel a mérés 20-szor annyi ideig tartott, mint az eddigiek, ezért a 19 beütés egyáltalán nem számít soknak (a 180° -nél mért számhoz képest). Ez a kevés beütés azzal magyarázható, hogy bár a legtöbb esetben a kisugárzott pozitron elektronnal találkozáskor két fotonot hoz létre, amik 180° -ban reülnek szét, de néhány esetben több foton is keletkezhet, amelyek más szöget zárnak be egymással, így tapasztalhatunk beütést például 90° esetben. Ez is azt mutatja, hogy a ^{22}Na minta koincidenciája erősen irányfüggő.

Feszültség [V]	N_1	N_2
1,5-1,6	105	116
1,6-1,7	60	93
1,7-1,8	74	84
1,8-1,9	60	69
1,9-2,0	147	138
2,0-2,1	89	198
2,1-2,2	71	61
2,2-2,3	106	123
2,3-2,4	47	124
2,4-2,5	15	27
2,5-2,6	10	10

6. táblázat. A két detektor által mért beütésszám, és a koincidenciák száma a ^{60}Co minta esetében különböző feszültségértékek mellett

	1. detektor	2. detektor
B	10,5	11,0
A_1 [V]	138	176
μ_1 [V]	1,96	2,00
σ_1 [V]	0,08	0,09
A_2 [V]	95,5	147
μ_2 [V]	2,24	2,31
σ_2 [V]	0,08	0,07

7. táblázat. A ^{60}Co γ -spektrumában a csúcsillesztés paraméterei

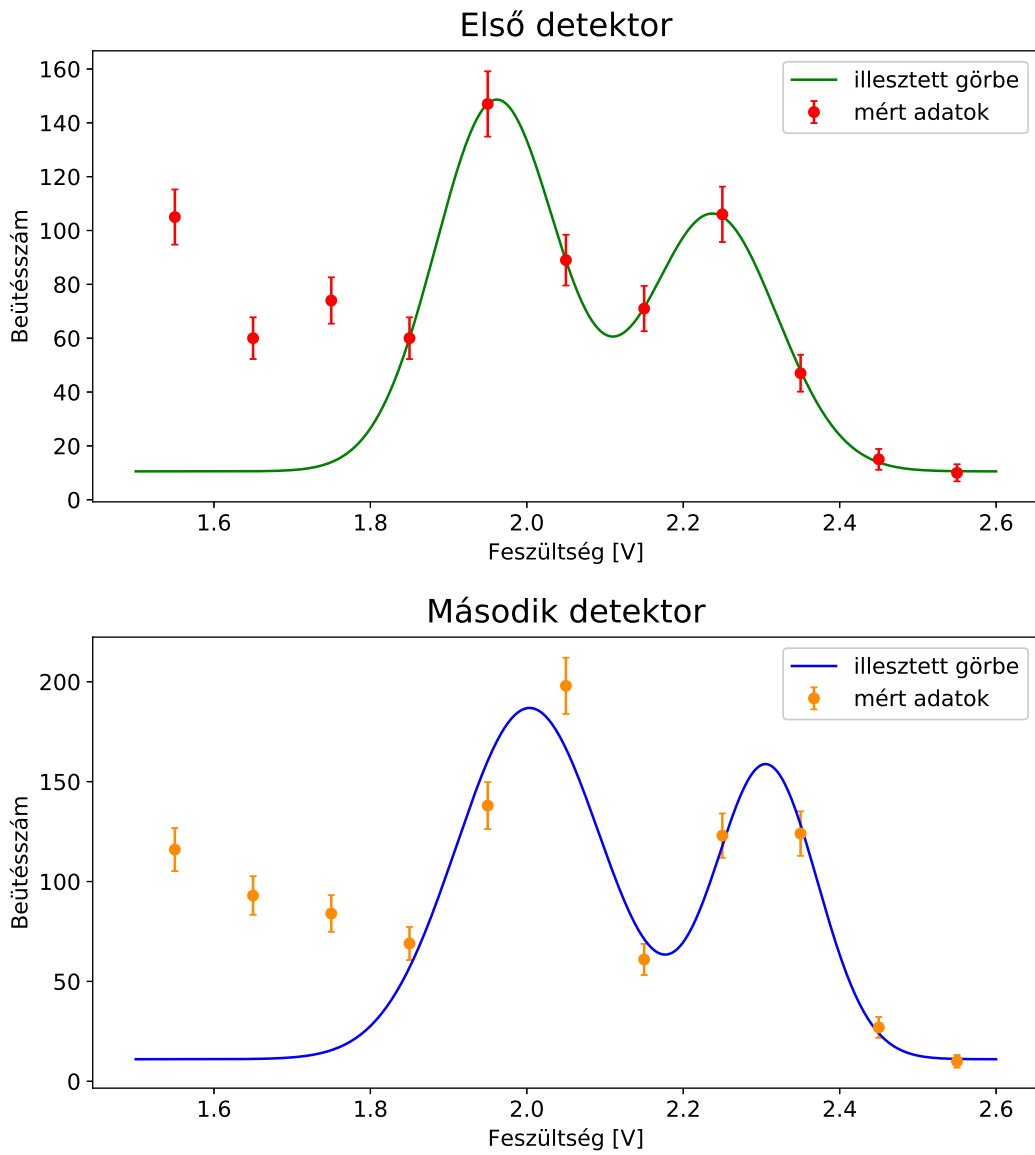
3. A ^{60}Co minta vizsgálata

3.1. ^{60}Co spektrum mérése

A ^{22}Na után a ^{60}Co minta spektrumát is megvizsgáltuk. Ezúttal is 0,1 V-os feszültségablakkal lépkedtünk felfele, és $t = 12$ s ideig tartó méréseket végeztünk. A kapott eredményeket a 6. táblázat tartalmazza (koincidenciókat ezúttal nem kaptunk, ami nem meglepő, hiszen a két foton, amit érzékelnénk, különböző energiájú). Mivel a spektrumban ezúttal is két csúcst várunk, ezért most is a (2) kifejezésben definiált függvényt illesztettük a spektrumra. Ez a 3. ábrán látható.

Mivel itt is az a helyzet állt elő, hogy az első három csatorna nem illeszkedik bele várt spektrumba, ezért az illesztésbe most sem vettük bele őket. Az illesztés paramétereit a 6. táblázat tartalmazza. Ez alapján a csúcsok helyei a $\mu_1 = (1,98 \pm 0,11)$ V és $\mu_2 =$

^{60}Co spektruma



3. ábra. A ^{22}Na minta spektruma a két detektor esetén

Szög [°]	jelkésleltetés	N_1	N_2	Koincidencia száma
180	nincs	22822	31654	40
180	van	22803	31456	2
90	nincs	23873	31772	40
90	van	23605	31438	1

8. táblázat. ^{60}Co aktivitásának mérése

($2, 27 \pm 0, 11$) V feszültségértékeknél vannak. Ha a (3) kalibráló képlet alapján szeretnénk átszámítani ezeket energiává, akkor $E_1 = (1, 23 \pm 0, 45)$ MeV és $E_2 = (1.41 \pm 0, 48)$ MeV értékeket kapunk. Figyelembe véve, hogy a várt értékek 1173 keV és 1333 keV voltak, ezek hibahatáron belül vannak, és bár a mérési hiba elég nagy (elsősorban a kalibráció miatt), de a kapott értékek valóban közel vannak a vártakhoz.

3.2. Aktivitásának mérése

Ugyan a detektorunk a forrásból származó fotonoknak csak egy adott irányba haladó részét méri, és azokat sem 100%-os hatásfokkal, a koincidenciák számának mérésével mégis ki lehet számolni a minta abszolút aktivitását. A mérési leírás [1] alapján, ha t ideig mérünk, és az egyik detektor N_1 a másik N_2 beütést mér, míg a koincidenciák száma N_k , akkor a minta aktivitása

$$A = \frac{N_1 N_2}{2t N_k} \quad (4)$$

Az észlelt koincidenciák között viszont lehetnek véletlen koincidenciák is, ezek számát le kell vonni N_k -ből. A véletlen koincidenciák számát úgy mérjük, hogy a két detektor jelét egymáshoz képest késleltetjük, így az egyszerre kisugárzott fotonokat nem fogja egyszerre érzékelni a rendszer. Összesen négy darab mérést végeztünk $t = 10$ perc ideig, miközben a diszkriminátor integráló üzemmódban volt, vagyis minden beütést számolt 1,7 V felett. Ezek eredményeit a 8. táblázat tartalmazza.

A mért értékekből le kell vonni még a háttérből érkező fotonokat, amik szintén befolyásolják a mérést. A háttér $t = 5$ percig mértük, ez alatt a két detektorba érkező beütések száma $N_{\text{háttér } 1} = 1741$ és $N_{\text{háttér } 2} = 1888$ volt. Mivel a mi méréseink 10 percig tartottak, ezért ennek a kétszeresét kell levonni a mért beütésekből.

A módosított mérési adatok (azaz levonva a háttér és a véletlen koincidenciát) a 9. táblázatban található. Mivel a mért értékek beütések, amik számát a Poisson-eloszlás határozza meg, ezért abszolút bizonytalanságuk a gyökükkel egyenlő. A (4) képletbe behelyettesítve a két szögérték mellett mért adatokat, és kiszámolva az aktivitásukat, az alábbi eredményeket kapjuk: $A_{180} = (11, 9 \pm 1, 9)$ kBq és $A_{90} = (11, 9 \pm 1, 9)$ kBq. A két mérési elrendezésben nem kaphatunk nagyban különböző eredményeket, hiszen ugyanazt a mennyiséget számoltuk, de ráadásul esetünkben pontosan ugyanazt az eredményt

Szög [°]	N_1	N_2	Valódi koincidencia
180	19331	28073	38
90	19963	27829	39

9. táblázat. A ^{60}Co aktivitásának kiszámolásához szükséges adatok átlagolva, és levonva a befolyásoló tényezők hatását

kaptuk. Így tehát a vizsgált ^{60}Co mintának a mért aktivitása:

$$A_{60\text{Co}} = (11,9 \pm 1,9) \text{ kBq} \quad (5)$$

4. Számolási feladatok

4.1. Kapott dózis

Számoljuk ki, hogy a laboridő alatt mekkora dózis ért minket a ^{60}Co mintából! Feltéve, hogy egy $F = 1 \text{ m}^2$ felületű ember $r = 1 \text{ m}$ távolságra állt a forrástól $t_{\text{labor}} = 2,5 \text{ h}$ ideig, akkor az őt érő dózis:

$$D = k \frac{F A t}{r^2} \quad (6)$$

ahol a dózisállandó értéke a ^{60}Co -ra: $k = 305 \frac{\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2}{\text{GBq}\cdot\text{h}}$. Behelyettesítve az adatokat, azt kapjuk, hogy a minket ért dózis:

$$D = (9,1 \pm 1,4) \text{ nGy} \quad (7)$$

ami nem túl számottevő, tehát a laborban való részvétel nem volt veszélyes.

4.2. Minták élettartama

Számoljuk ki, hogy mikor volt a ^{60}Co minta aktivitása 1 MBq! A 3.2. alfejezetben kiszámoltuk, hogy a minta aktivitása $A_{60\text{Co}} = (11,9 \pm 1,9) \text{ kBq}$. A radioaktív bomlástörvény következménye, hogy egy adott minta aktivitásának időfüggvénye

$$A(t) = A_0 2^{-\frac{t}{T}} \quad (8)$$

ahol T az adott mint a felezési ideje, A_0 pedig az aktivitása a $t = 0$ időpontban.

A ^{60}Co felezési ideje $T_{60\text{Co}} = 1925 \text{ nap}$ [2]. Ezt behelyettesítve az előző kifejezésbe, kiszámolható, hogy mennyi idő telt el azóta, hogy 1 MBq volt az aktivitás:

$$t_1 = T_{60\text{Co}} \log_2 \frac{A_0}{A} = (33,7 \pm 1,2) \text{ év} \quad (9)$$

Most tegyük fel, hogy ugyanekkor a ^{22}Na aktivitása is 1 MBq volt! Számoljuk ki ebből, hogy most mekkora az aktivitása! Mivel tudjuk, hogy a ^{22}Na felezési ideje $T_{22\text{Na}} = 2,6$ év [2], ezért elég ezt behelyettesíteni ugyanabba az exponenciális lecsengést leíró képletbe:

$$A_{22\text{Na}} = A_0 2^{-\frac{t_1}{T_{22\text{Na}}}} = (125 \pm 40) \text{ Bq} \quad (10)$$

Hivatkozások

- [1] Veres Gábor. *Abszolút aktivitás mérése*. Havancsák Károly. *Fizikai mérések* 2013. pp. 182-195 Elérhető [ezen a linken](#)
- [2] [NuDat 2.7](#)