Gamma-spektroszkópia

jegyzőkönyv

Zsigmond Anna

Fizika MSc I.

Mérés vezetője: Csorba Ottó

Mérés dátuma: 2010. szeptember 30.

Leadás dátuma: 2010. október 11.

Mérés célja

A gamma-spektroszkópia módszerével való megismerkedés különböző minták vizsgálatával. Homok mintában a tórium és leányelemeinek aktivitásának és koncentrációjának meghatározása, illetve talajminta kálium tartalmának meghatározása.

Mérés menete

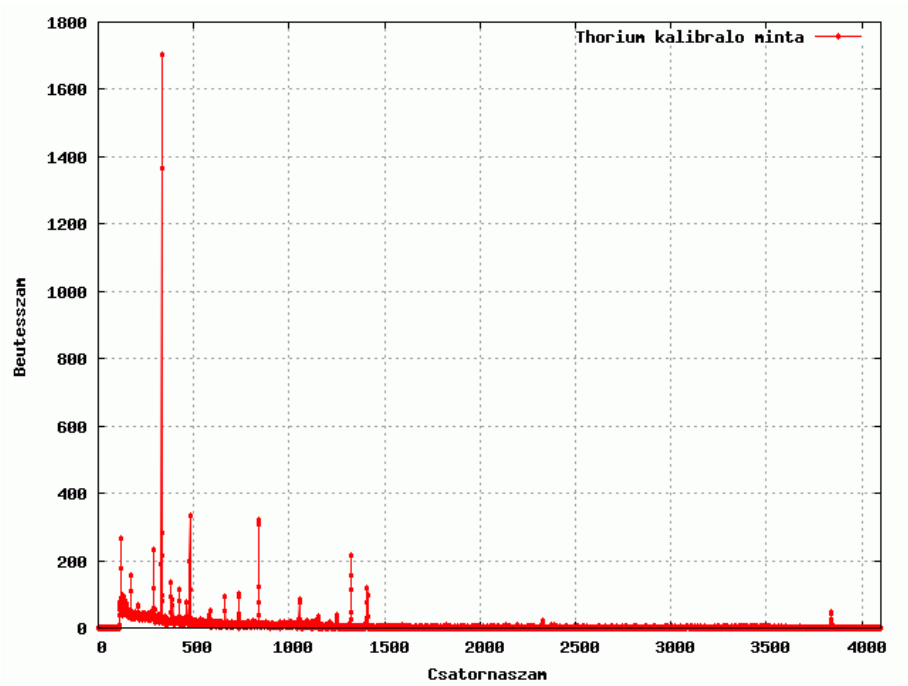
A mérés során félvezető germánium detektorral mértük a minták gamma spektrumát. A félvezető detektorban keletkező elektromos jel arányos a foton energiájával, amit egy sokcsatornás analizátor dolgozott fel, és számítógépen jelenítettük meg illetve rögzítettük.

A spektrumot először kalibrálni kellett, vagyis meg kellett határozni a csatornaszám-energia függvényt. Ez egy tórium tartalmú gázharisnyával történt (1. ábra), ahol a ^{232}Th két csúcsát vettük figyelembe. A 238,6 keV energiájú csúcs a 334. csatornára, a 2614 keV energiájú csúcs a 3842. csatornára esett. Így a mért energia a csatornaszám (x) függvényében:

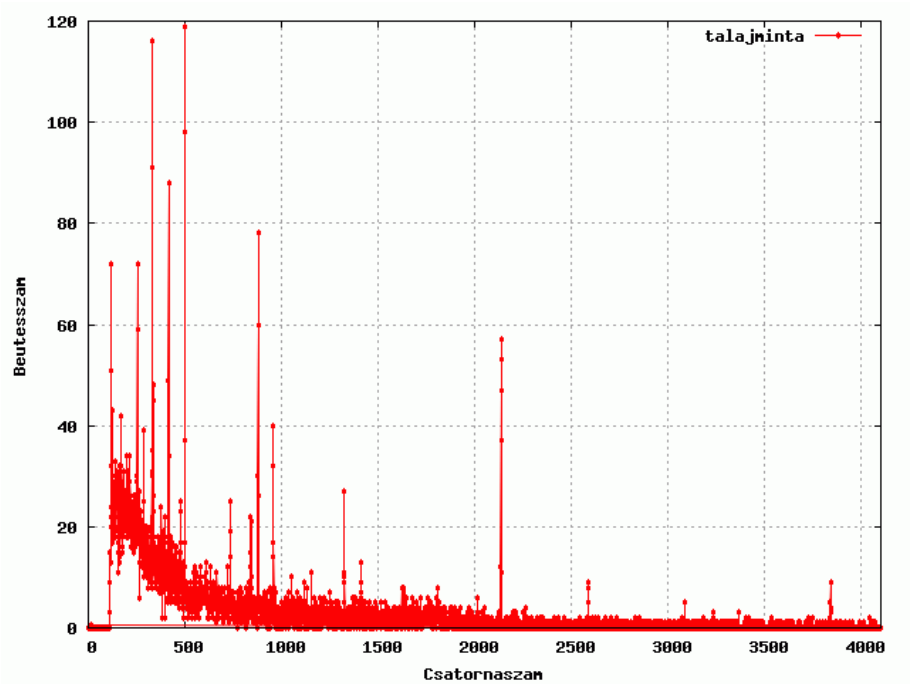
$$E = 0{,}677\text{keV} \cdot x + 12{,}417\text{keV}$$

A gyakorlat során felvettük egy talajminta (2. ábra) és egy homok minta (3. ábra) spektrumát. A spektrumok kiértékelésére egy számítógépes programot használtunk, ami a csúcsokra Gauss-görbéket illesztett, és ebből meghatározta az adott csúcs területét. Ezután a számítógépes adatbázisból meghatároztuk, melyik energiájú csúcshoz, melyik izotóp tartozhat, és melyiknek mekkora az intenzitása.

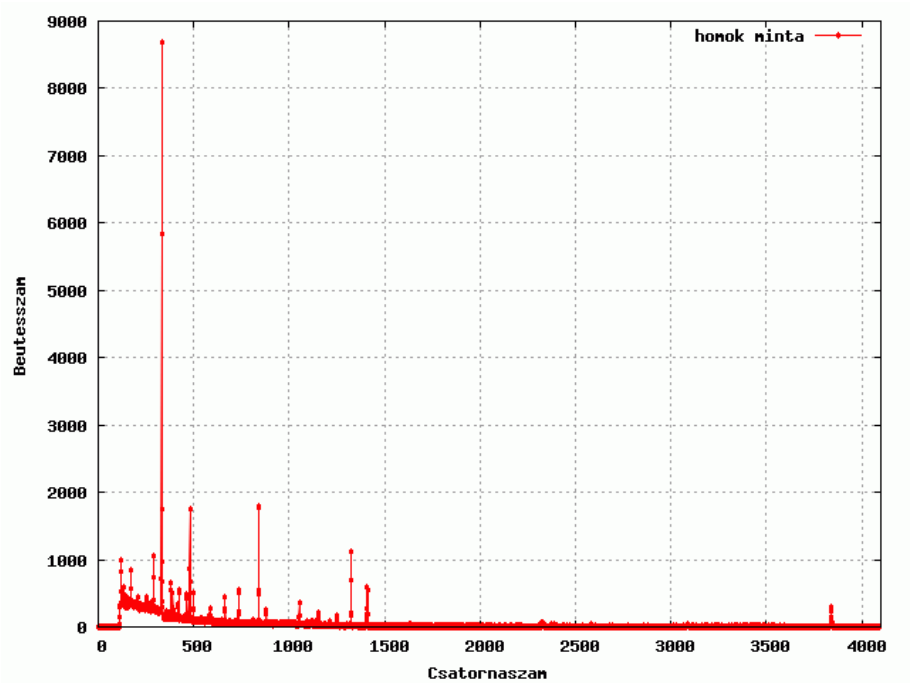
A mérés végén a detektor hatásfokát becsültük meg Monte Carlo szimulációval a megfelelő energiájú gamma fotonokra.



1. ábra Tórium kalibráló minta spektruma



2. ábra Cs1 jelű talajminta spektruma 85 perc mérés után



3. ábra Homok minta spektruma 67 perc mérés után

Homok minta tórium leányelemeinek tartalmának meghatározása

A homok minta a ^{232}Th bomlási sorának leányelemeit tartalmazza, a feladat 6 kiválasztott csúcshoz tartozó izotópok aktivitásának és koncentrációjának meghatározása. Az aktivitás a következő képlet alapján számolható:

$$A = \frac{N}{I\eta t}$$

ahol N a nettó csúcsterület, I a fotonok intenzitása, vagyis hogy mekkora valószínűséggel lépnek ki az adott bomlás során ekkora energiájú fotonok, η a detektor hatásfoka, $t = 4007$ s a mérés ideje. A koncentráció számolásához a minta össztömege $m_0 = 42{,}5$ g.

Abban az esetben, ha egy csúcshoz két izotóp is tartozik, akkor a nettó csúcsterületet fel kell osztani. Ezt egyszerűen megoldhatjuk, ha mindkét izotóp egy bomlási sorhoz tartozik, mert ekkor a csúcsterületek arányát egyenlővé tehetjük az intenzitások arányával. Ha a két izotóp különböző bomlási sorhoz tartozik, akkor ugyanezt nem tehetjük meg. Az aktivitás hibáját az alapján számoltuk, hogy a relatív hiba a relatív hibák négyzetösszegének gyöke. A relatív hibák között figyelembe vettük a feltüntettet nettó csúcsterület hibáját, illetve a hatásfok hibáját, amit egységesen 10%-nak vettünk. Végeredményben azt mondhatjuk, hogy a hibát a hatásfok becsült hibája dominálja.

energia	terület	±	η	izotóp	I (%)	N	ΔN	bomlási sor	A (Bq)	ΔA (Bq)
238 keV	15909	200	0,08210	^{212}Pb	44,646	15909	200	^{232}Th	108,3	10,9
338 keV	3012	97	0,05766	^{228}Ac	11,357			^{232}Th		
	3012	97	0,05766	^{223}Ra	2,73			^{235}U		
583 keV	4426	103	0,03457	^{228}Ac	0,144	7,6	0,2	^{232}Th	37,9	3,9
	4426	103	0,03457	^{208}Tl	84,231	4418,4	102,8	^{232}Th	37,9	3,9
911 keV	2847	79	0,02332	^{228}Ac	27,7	2847	79	^{232}Th	110,0	11,4
969 keV	1674	58	0,02212	^{228}Ac	16,62	1674	58	^{232}Th	113,6	12,0
2614 keV	1278	51	0,00937	^{208}Tl	99,8	1278	51	^{232}Th	34,1	3,7

Egy-egy izotópra a kapott aktivitások súlyozott átlagát kiszámolva (ekkor még a hatásfok hibáját nem vesszük figyelembe) és a bomlási állandóból meghatározható, hogy pontosan mennyi van a mintában az adott izotópból. A hibákat a szokásos módon számoljuk, de itt is körülbelül a hatásfok becsült hibája dominál.

	A (Bq)	ΔA (Bq)	λ (1/s)	N (darab)	m (g)	m/m_0 (%)	± (%)
^{212}Pb	108,3	10,9	$7{,}86\cdot10^{-6}$	$1{,}38\cdot10^{7}$	$4{,}87\cdot10^{-15}$	$1{,}15\cdot10^{-14}$	$1{,}15\cdot10^{-15}$
^{228}Ac	46,5164	1,26794	$1{,}34\cdot10^{-5}$	$3{,}48\cdot10^{6}$	$1{,}23\cdot10^{-15}$	$2{,}89\cdot10^{-15}$	$7{,}88\cdot10^{-17}$
^{208}Tl	36,7583	4,40285	$1{,}64\cdot10^{-3}$	$2{,}24\cdot10^{4}$	$7{,}90\cdot10^{-18}$	$1{,}86\cdot10^{-17}$	$2{,}23\cdot10^{-18}$

Talajminta kálium tartalmának meghatározása

A talajmintánál a mérési idő $t = 5090\,\mathrm{s}$, a minta tömege $m_0 = 434\,\mathrm{g}$ volt. A ^{40}K bomlásához tartozó 1460,8 keV-os csúcsot vizsgáljuk, melyhez tartozó intenzitás 10,67 %, hatásfok 0,42 % és a csúcs területe 230±22. Ezek alapján az aktivitás:

$$A = \frac{N}{I\eta t} = (101 \pm 14)Bq$$

A ^{40}K bomlási állandója $\lambda = 1{,}716 \cdot 10^{-17}$ 1/s, ami alapján a mintában található ^{40}K izotópok száma $N = A/\lambda = (5{,}89 \pm 0{,}82) \cdot 10^{18}$, ami $(9{,}8 \pm 1{,}3) \cdot 10^{-6}$ mol, vagyis $(0{,}39 \pm 0{,}05)$ mg. Tehát a ^{40}K izotóp koncentrációja $(9{,}0 \pm 1{,}2) \cdot 10^{-7}$.

Mivel a természetben a kálium tartalom 0,012%-a ^{40}K izotóp, ezért megbecsülhetjük, hogy a minta kálium koncentrációja körülbelül $7{,}5 \cdot 10^{-5}$.