

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

7. MÉRÉS – ABSZOLÚT AKTIVITÁS MÉRÉSE

LABORVEZETŐ: LÓBB HENRIETT

SZILVÁSI ÁDÁM, FIZIKA BSC
MÉRŐTÁRSAK: MÁRTON ISTVÁN,
SZIGLIGETI ATTILA
MÉRÉS DÁTUMA: 2010. ÁPRILIS 8.
LEADÁS DÁTUMA: 2010. JÚNIUS 7.

1) A MÉRÉS CÉLJA

A mérés célja a radioaktív forrásokkal való munka és a legalapvetőbb nukleáris mérés technika elsajátítása, illetve a források fizikai paramétereinek mérése, a sugárzás tulajdonságaival és a magok bomlásával való megismerkedés.

2) A MÉRÉSI MÓDSZER

A mérés során ismert ^{22}Na és ^{60}Co források aktivitását mértük. A bomlásséma ismeretében (1. ábra) a mintából időegység alatt kilépő adott típusú és energiájú részecskék számát mérjük, és ebből határozzuk meg az aktivitást.

A detektorunk két NaI(Tl) szcintillátorhoz kapcsolt fotoelektron-sokszorozó volt, az ebből érkező jeleket pedig egy differenciál diszkriminátorral válogattuk szét, hogy csak azok a jelek kerüljenek a számlálóra, amelyek a forrás által kibocsátott sugárzás energiájához tartoznak. (2. ábra) Ezzel azokat az eseményeket számláltuk, amikor a gamma-fotonok teljes energiájukat a szcintillátorban adták le. Az egyik detektort a mérés alatt nem mozgattuk, a másikat viszont ehhez képest 180° -tól 90° -ig állítottuk. A detektorok feszültségét egyetlen közös tápegység adta, értéke kb. 820 V volt. Az egyes ágak erősítése nagyjából azonosra van állítva. Az így egy detektorban detektált C beütésszámot a következőképpen lehet értelmezni:

$$C = e \times A \times t = g \times \varepsilon \times \eta \times A \times t,$$

ahol t a mérés időtartama, A a minta aktivitása és e a detektálás egyesített hatásfoka, amely az ε beeső részecske intenzitás-faktorából, a g térszög-faktorból és az η detektálási hatásfokból áll. Mivel mi a C beütésszámot és t időt mérjük, ebből az egyenletből az $e \times A$ faktor határozható meg. Ezt a problémát úgy oldjuk meg, hogy a forrásainkat koincidenziában mérjük. Ezt azért tehetjük meg, mert mind a ^{22}Na , mind a ^{60}Co forrás bomlása során legalább két részecske keletkezik rövid időn belül. Amennyiben feltételezhetjük az egyszerre kilépő bomlástermékek irányfüggetlenségét, illetve hogy energiáik nem térnek el nagyon egymástól és ezért a detektálási hatásfok a két mért bomlástermékre megegyezik detektoronként, kiejthetjük a detektálási hatásfokokat a következő összefüggés segítségével:

$$A = \frac{C_1 C_2}{2t C_k},$$

ahol C_1 és C_2 a két detektorral mért beütések, C_k pedig a koincidenzia. Ez a formula nem ad jó eredmény az aktivitásra a ^{22}Na esetében, mivel ott az 511 keV -es annihilációs sugárzás két fotonja elég pontosan 180° -ot zár be egymással, így az kapott aktivitás szögfüggő lesz.

Természetesen az összes mérési eredményből le kell vonnunk a háttér, a koincidenziákból pedig a véletlen koincidenziákat. Mivel a mérőberendezésnek van holtideje, ezért nem a mérés teljes ideje alatt áll rendelkezésre, hanem két beütés közt el kell telnie egy minimális időnek, hogy megkülönböztethetők legyenek a beütések. Ezért a mérésben szereplő időt ez alapján a következőképpen kell korrigálni:

$$t_m = t - C\tau.$$

3) A MÉRÉS KIÉRTÉKELÉSE

Az első feladatunk megállapítani a holtidőt. Ezt két forrás segítségével tettük meg, mindkét detektora egyenként. A következő alapösszefüggésekből indultunk ki:

$$N_1 = (n_1 + h)(1 - N_1\tau); N_2 = (n_2 + h)(1 - N_2\tau); N_{12} = (n_1 + n_2 + h)(1 - N_{12}\tau); N_{\text{háttér}} = h(1 - N_{\text{háttér}}\tau),$$

ahol N_1 és N_2 az egyik és másik forrás mellett tapasztalt beütések időegység alatti száma, az N_{12} a két forrás mellett detektált időegység alatti beütésszám, $N_{\text{háttér}}$ a források nélkül kapott háttérből jövő beütésszám, amelyek mind mérendő mennyiségek. Az n_1 , n_2 és h az első, a második forrásból és a háttérből érkező időegység alatti részecskeszám, τ pedig a holtidő. A fenti egyenletrendszerből kiküszöbölhetjük az ismeretleneket, hogy csak τ maradjon. Erre másodfokú egyenletet kapunk. A megoldások közül a pozitív gyök az értelmes természetesen. Az egyenlet és a megoldás:

$$0 = \frac{N_1}{1 - N_1\tau} + \frac{N_2}{1 - N_2\tau} - \frac{N_{12}}{1 - N_{12}\tau} - \frac{N_{h\grave{a}tt\acute{e}r}}{1 - N_{h\grave{a}tt\acute{e}r}\tau},$$

$$\tau = \frac{N_1N_2 - N_{12}N_{h\grave{a}tt\acute{e}r} + \sqrt{(N_1 - N_{12})(N_1 - N_{h\grave{a}tt\acute{e}r})(N_2 - N_{12})(N_2 - N_{h\grave{a}tt\acute{e}r})}}{N_1N_2N_{12} + N_1N_2N_{h\grave{a}tt\acute{e}r} - N_1N_{12}N_{h\grave{a}tt\acute{e}r} - N_2N_{12}N_{h\grave{a}tt\acute{e}r}}.$$

Ebbe behelyettesítve a mért adatokat, megkapjuk a holtidőt. A holtidő hibája úgy kapható meg, hogy feltételezzük a beütések Poisson-eloszlását, és az összes beütésszámhoz a gyökét rendeljük hibának, majd a fenti képletből kiszámoljuk a hibaterjedést.

A mérést két ^{22}Na forrással végeztük, az impulzusokat integráló üzemmódban mértük, a diszkriminátor 0,2 V-os állásban volt 1 V-os ablak mellett, az eredmények a következők lettek:

Mérés	C ₁	C ₂	C _k	t[s]	Jelölés
Forrás nélkül	32764	31627	46	300	$N_{h\grave{a}tt\acute{e}r}t$
Első forrás	165412	162199	34401	300	N_1t
Második forrás	123335	121582	21589	300	N_2t
Két forrás	244644	243160	63774	300	$N_{12}t$

A fenti eredményeket leosztottam az idővel, hogy az 1 s-hoz tartozó adatokat kapjam, majd behelyettesítettem, valamint kiszámoltam a hibát is. Mindkét detektor holtideje $\tau = 2,1 \pm 0,5 \text{ ms}$ lett.

A detektorok térszög faktorát is meghatároztuk, amihez lemértük a forrás és a detektor távolságát, valamint a detektor forrás felé eső felének felületét. A fotoelektron sokszorozó feje körlap, így a felülete πr^2 . Megmértük az átmérőjét, és $56 \pm 1 \text{ mm}$ -nek adódott, a forrás és a detektor közti távolság $140 \pm 1 \text{ mm}$ lett, így a térszög faktor:

$$g = \frac{\pi r^2}{4\pi R^2} = \frac{r^2}{4R^2} = \frac{28^2}{2^2 \times 140^2} = \left(\frac{14}{140}\right)^2 = 0,0100 \pm 0,0005.$$

A) ^{22}Na FORRÁS AKTIVITÁSA

Az első dolog, amit csináltunk, hogy pontonként felvettük a forrás spektrumát azáltal, hogy 0,5 V-tól 2,9 V-ig folyamatosan emeltük 0,1 V-tal a diszkriminátor alapszintjét, és minden pontban mértünk 12 s-ot. Ez alapján el lehet végezni a detektorok kalibrációját. A feszültség-beütésszám grafikonon 2 Gauss-t illesztettem a csúcsokra, majd ismerve a ^{22}Na bomlássémáját, beazonosítottam a két csúcsot: az első a pozitron-annihilációból származó 511 keV, a másik pedig a gammabomláshoz tartozó 1280 keV. Mivel a két detektor pontjai hibahatáron belül megegyeztek, a kettő pont átlagát vettem, és arra illesztettem egyetlen egyenest. Az illesztések a jegyzőkönyv végén találhatóak. (3. ábra, 5. ábra, 4. ábra) Az illesztett egyenes paraméterei: *meredekség*=508,82314 keV/V; *tengelymetszet*=4,57659 keV. Itt a statisztikus hiba nincs értelmezve, mivel 2 pontra egyenest illeszteni vonalzóval is lehet...

Ez után megvizsgáltuk a ^{22}Na sugárzás koincideneciájának szögfüggését. 0,9 V-tól 1,2 V-ig tartó ablakban érkező sugárzást vizsgáltuk, amelyhez az 511 keV-os annihilációssugárzás tartozik. Az elmélet szerint az ütközés hatáskeresztmetszete akkor válik jelentőssé, ha a pozitron már majdnem teljesen lelassult, így a labor rendszerében is közel nulla összipulzusú az ütközés, így a keletkező két foton impulzusa ellentétes kell, hogy legyen. Ez alapján azt várjuk, hogy 180°-nál nagy a koincidenencia, távolabb pedig nincs. A mérés során 130°-tól 220°-ig 5°-onként változtattuk a két detektor összezárt szögét, és minden pontban mértünk 12 s-ot. Ahogy vártuk, a beütések száma nem függött erősen az iránytól, de a koincidenencia igen. A koincidenenciára Gauss-görbét illesztve meghatároztam a szögfüggés tulajdonságait. (7. ábra) A csúcs adatai a következők lettek: *maximumhely*=178°, *szórás*=7°. Látható, hogy a feltételezéseink helytállóak, a csúcs 180° körül van, de mivel a detektorunk véges kiterjedésű felülettel rendelkezik, ezért nagyobb szögelfordulás esetén is van olyan bomlás, amiből mindkét detektorba el tud jutni a fotonpár.

A ^{22}Na aktivitásának megállapítására a fenti beállításokkal végeztünk egy-egy mérést is a következő eredményekkel:

Szög	C ₁	C ₂	C _k	t [s]	Késleltetés
180°	100241	103985	35557	360	1 μs
180°	100446	104419	106	360	1 ms
90°	100655	92605	430	360	1 μs
90°	100924	92756	110	360	1 ms
C _{hátér}	8666	4625	0	360	1 μs

Minden állásban kétszer mértünk, a koincidencia egység két különböző késleltetésével. A mikroszekundumos késleltetés gyakorlatilag egyidejűséget jelent, ezért, ha 1 μs-on belül érkezik a koincidencia számlálóra, akkor egyidejűnek veszi őket, ha annál később, akkor pedig nem. Mivel a részecskék között vannak olyanok, amik egyszerre keletkeztek, lesznek koincidenciák. Azonban, ha elrontjuk az időzítést, esetünkben az 1 ms-os késleltetéssel, akkor az együtt beérkező jelek biztos, hogy nem érkeznek együtt a koincidencia számlálóra. Így ha a számláló bármit megszámol, az csak véletlen esemény. Ilyen véletlen események mindig vannak, de mivel ezek nem érdekelnek minket, levonjuk őket az összes mért eseményből, hogy megkapjuk a hasznos adatokat. Tehát a módszereknél felsorolt összefüggéseket felhasználva megkaphatjuk a ^{22}Na aktivitását:

$$A = \frac{(C_1 - C_{1\text{hátér}})(C_2 - C_{2\text{hátér}})}{2(t - C\tau)(C_k - C_v)}$$

Behelyettesítve a fenti eredményeket a következőket kapjuk:

	A [Bq]	hiba [Bq]
180°	871	242
90°	81395	24383

Amint látjuk, nagyon nagy különbség van a két szög között, mivel a két gamma erősen korrelált. Ez a fenti kifejezés korlátozott alkalmazhatóságát bizonyítja. A hatalmas hiba a holtidő miatt van, mivel annak körülbelül 25% körüli a relatív hibája.

B) ^{60}Co FORRÁS AKTIVITÁSA

A ^{60}Co spektrumát is kimértük, hogy be tudjuk fogni a megfelelő csúcsokat. 0,5 V-tól 3 V-ig vettük fel a spektrumot az előző feladathoz hasonlóan. A ^{60}Co két, egymáshoz közeli csúcsot ad 1173 és 1333 keV-on. A két detektorhoz tartozó pontok ismét hibahatáron belül estek, így az átlagukat vettem, és arra illesztettem az egyenest. Az ábrák ismét a jegyzőkönyv végén. (6. ábra, 8. ábra, 9. ábra) Az egyenes paraméterei: *meredekség=507,725*; *tengelymetszet=-4,92337*.

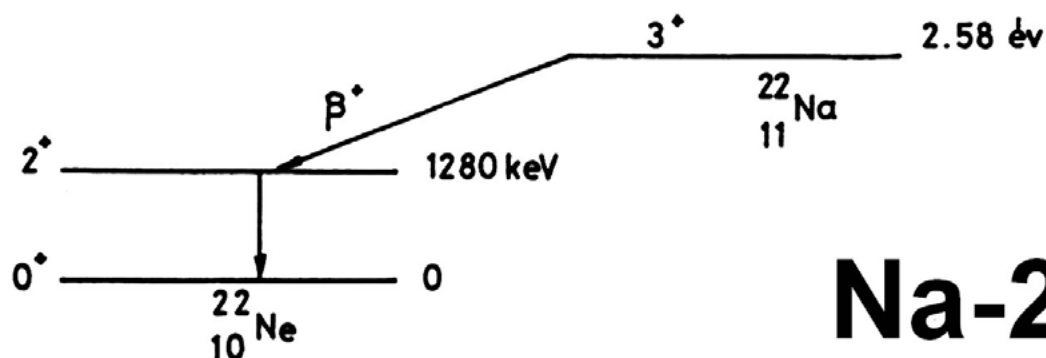
A ^{60}Co aktivitását szintén a fenti összefüggéssel állapítottuk meg, de ezúttal sokkal jobb eredmény jött ki az aktivitásra, mivel a két gamma foton kibocsátásának iránya valóban független (ugyan magasabb mágneses momentumok felfedezhetőek lennének benne megfelelően pontos mérés eredményeként). A mért adatok, ami alapján számoltunk:

Szög	C ₁	C ₂	C _k	t [s]	Késleltetés
180	35196	37185	116	300	1 μs
180	35564	37372	14	300	1 ms
90	34968	37948	104	300	1 μs
90	35186	37251	18	300	1 ms

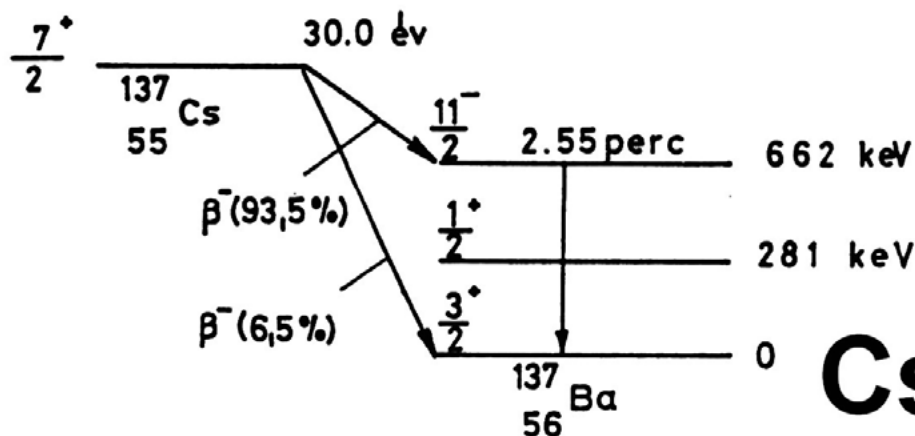
A kapott aktivitás szórása kisebb, mint a hiba. A következő eredményeket kaptuk:

	A [Bq]	hiba [Bq]
180°	28782	12155
90°	34138	15291

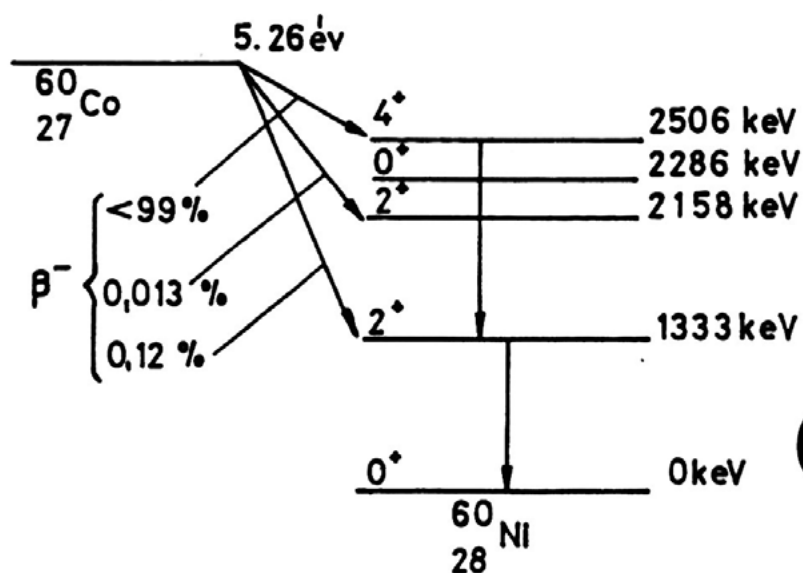
	A [Bq]
Átlag	31460
Szórás	2678



Na-22

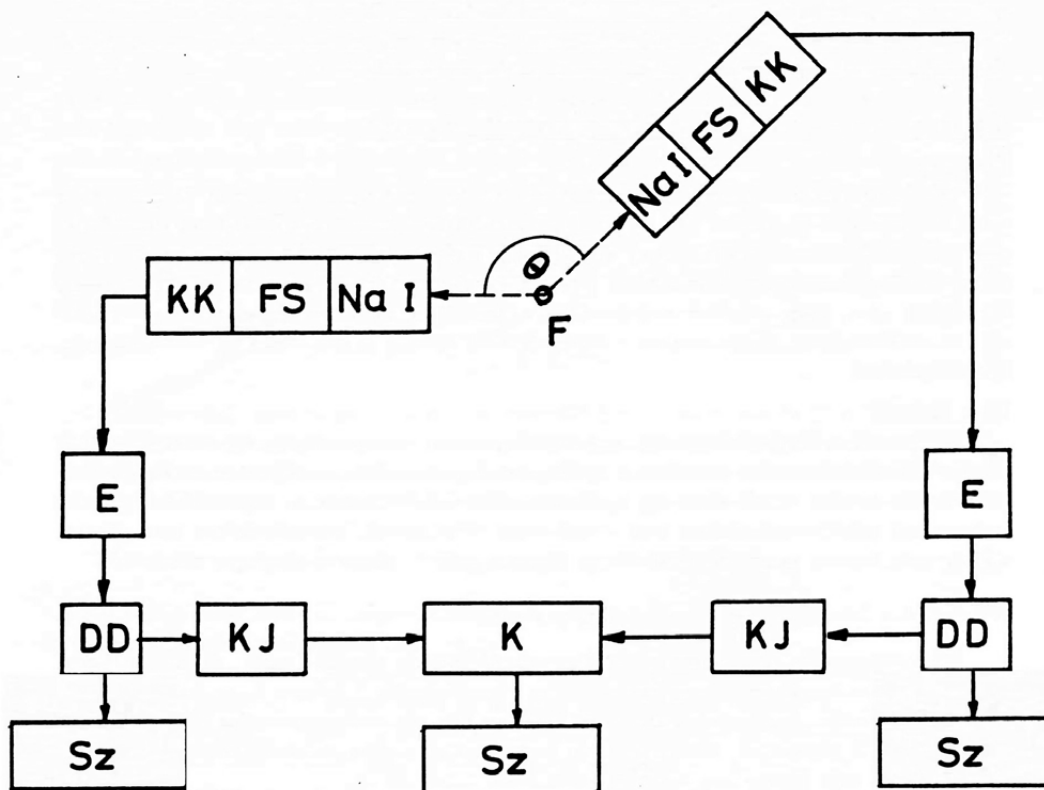


Cs-137



Co-60

1. ábra
A források bomlássémái

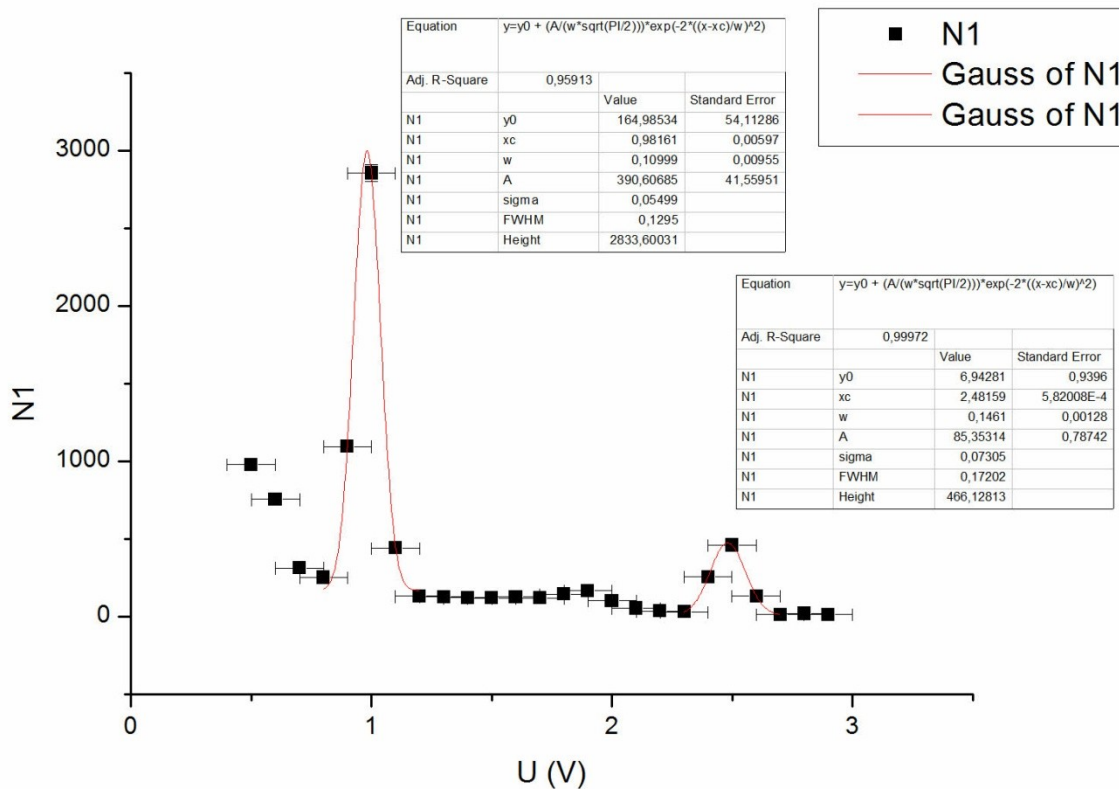


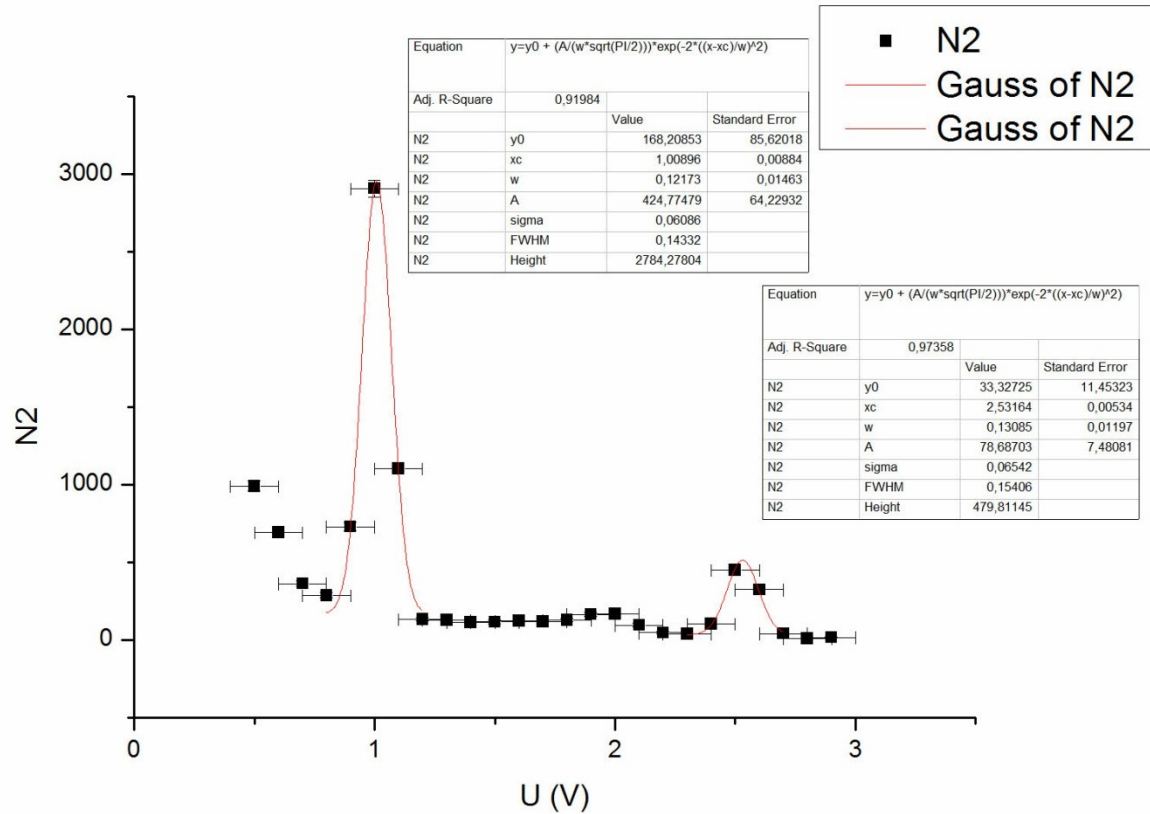
2. ábra

A mérőberendezés blokk-sémája. (F – gamma forrás, NaI – szcintillátor; FS – fotoelektron-sokszorozó; KK – illesztő áramkör; E – erősítő; DD differenciál diszkriminátor; KJ – késleltető jelformáló; K – coincidencia egység; Sz – számláló.)

3. ábra

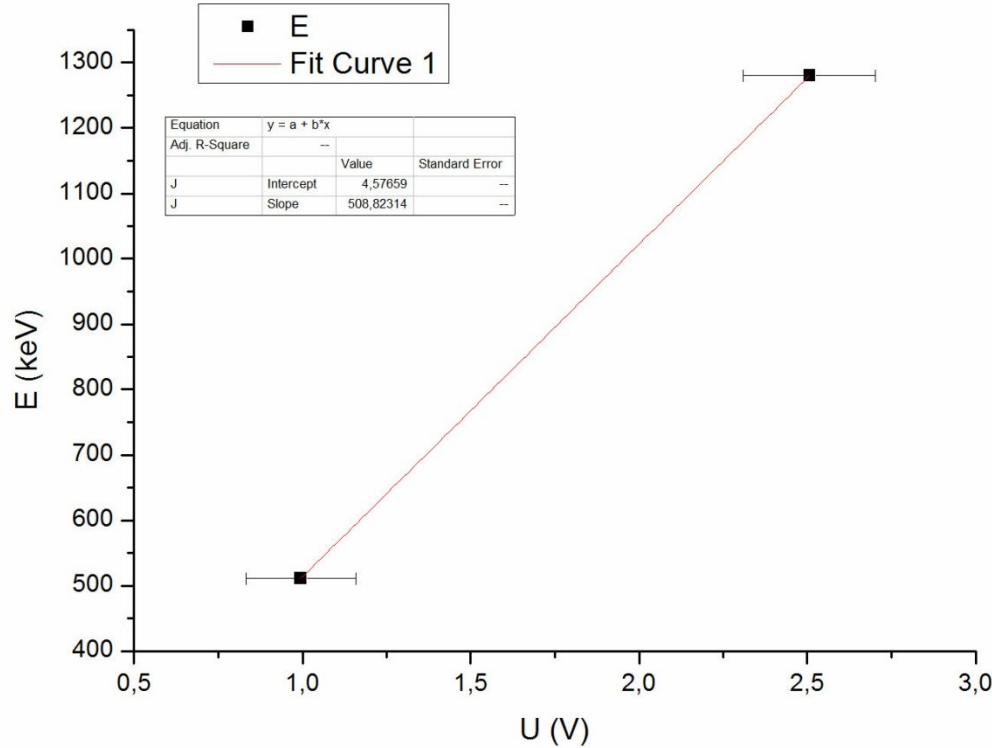
Csúcs illesztése az első detektor jelére.

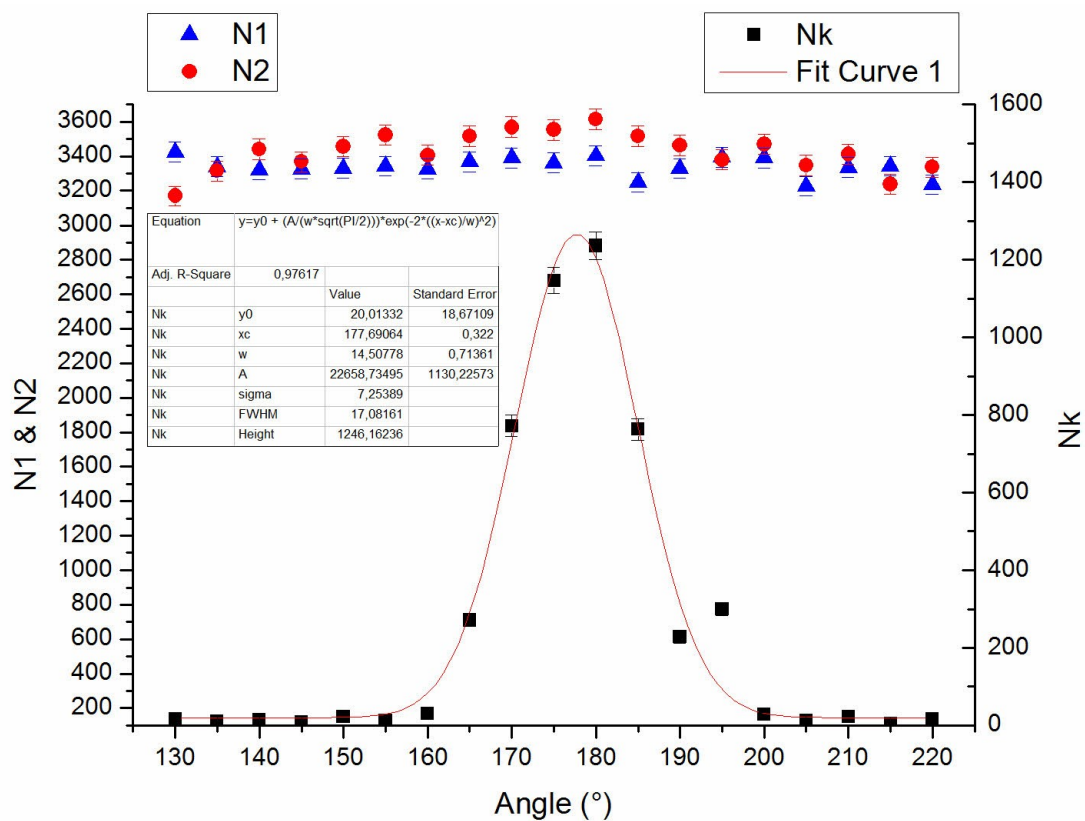




5. ábra
Csúcs illesztése a második detektor jelére.

4. ábra
²²Na kalibrációja

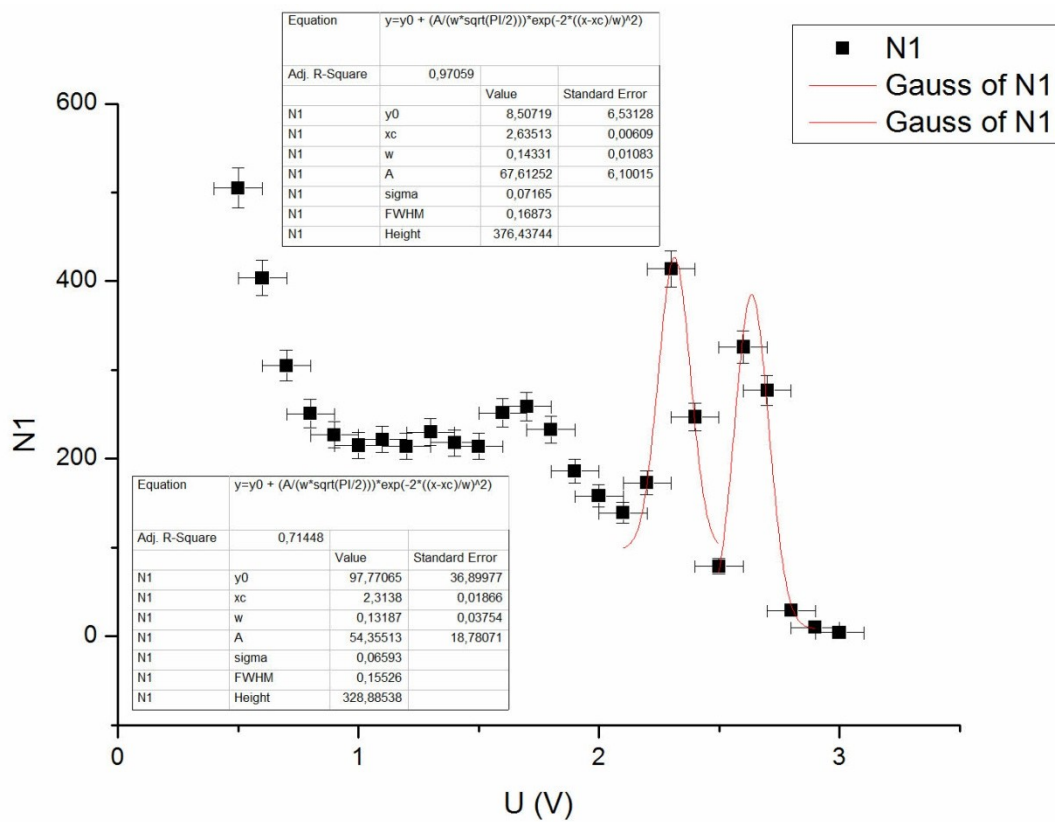


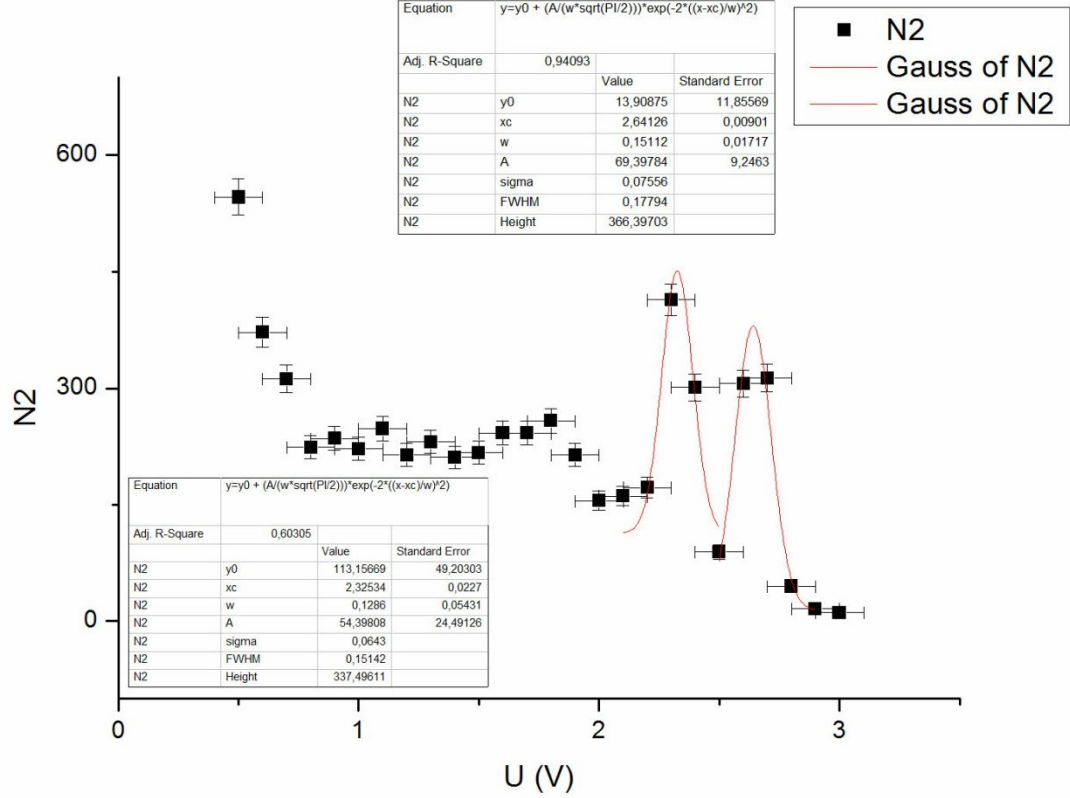


7. ábra

A koincidencia szögfüggése.

6. ábra

Csúcs illesztése a ^{60}Co jelére.



8. ábra
Csúcs illesztése a ⁶⁰Co jelére.

9. ábra
⁶⁰Co kalibrációja

