

Gyors neutronok detektálási technikái

Körtefái Dóra

Mérőtársak: Asztalos Bogdán, Kadlecsik Ármin



Tartalomjegyzék

Bevezetés:	2
Elméleti áttekintés	2
1. feladat	3
2. feladat	4
Az ng_highth mappa adatsorai	4
Az ng_lowth mappa adatsorai	5
3. feladat	8
Az ng_highth mappa adatsorai	8
Az ng_lowth mappa adatsorai	9
4. feladat - neutronok és gammák szétválogatás	10
Az ng_highth mappa adatsorai	10
Az ng_lowth mappa adatsorai	12
Diskusszió	14

Bevezetés:

Ha egy atommag neutront bocsát ki és gerjesztett állapotba kerül, akkor gyakran γ részecske viszi el a gerjesztési energiáját, ezáltal kerül alapállapotba. Ezért a neutronokat gyakran kíséri γ sugárzás, ami szintén beütéseket okoz a szcintillációs detektorokban. Ahhoz, hogy pontosan meg tudjuk határozni a neutronok számát, fontos, hogy meg tudjuk különböztetni a neutron és a γ okozta beütéseket.

Jegyzőkönyvünkben γ -neutron diszkriminációra használható technikát vizsgáltunk. A méréseket a távoktatás miatt nem mi végeztük el, az eredményeket TXT fájlok formájában kaptuk meg.

Elméleti áttekintés

A jelalakdiszkrimináció alkalmas módszer arra, hogy szétválogassuk a neutronok és a γ -k okozta beütéseket. A szcintillációs detektorba érkező részecske hatására a szcintillációs folyadék szerves gyűrűi gerjesztődnek és különböző időállandóval jutnak alapállapotba. Jelentős különbség, hogy a neutronok a protonakat löki meg az anyagban, míg a $\gamma - k$ az elektronokat.

A detektor fényhozamát a komponensek összege írja le:

$$N_f = A_1 e^{\frac{t}{\tau_1}} + A_2 e^{\frac{t}{\tau_2}}$$

Fontos információt hordoz a görbe alatti terület. A teljes töltés, jelölje Q_{tot} , ami a teljes terület, illetve a Q_{tail} , ami a gyors komponens lecsengése utáni terület. Utóbbi a meglökött protonok és elektronok esetén jó közelítéssel egyenlő, azonban előbbi az elektronok esetén körülbelül háromszor nagyobb. Ha Q_{tail} függvényében ábrázoljuk Q_{tot} -ot, akkor a neutron és γ okozta beütéseket el fognak különülni a két dimenziós ábrán. A nagyobb meredekségű csoport a γ -khoz tartozik, a kisebb meredekségű a neutronokhoz.

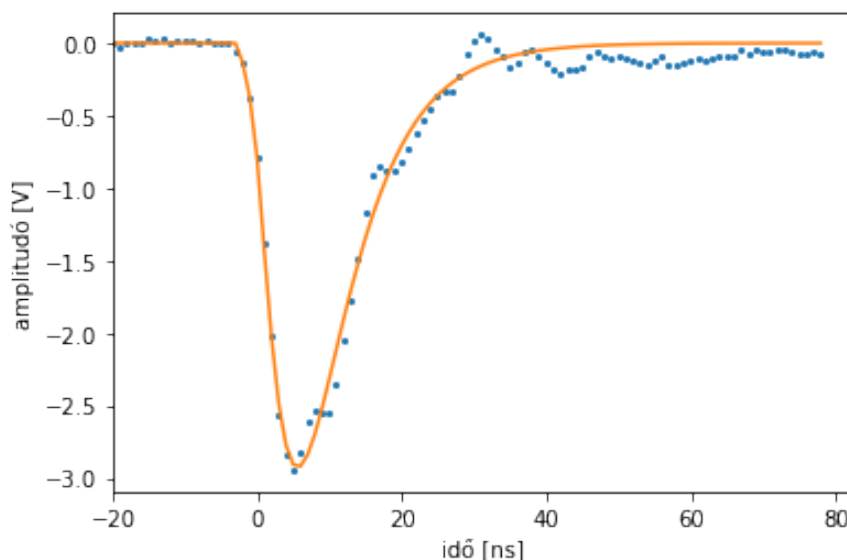
1. feladat

Illesszünk valamelyik adatsorra három exponenciális függvény összege típusú függvényt!

A feladathoz a legelső fájlt választottam, ami a ng_highth mappában volt, SC1000.TXT néven. A mérési adatok ábrázolása után láthattuk, hogy az érdekes jelalak nem kezdődik az adatpontok felvételekor, ezért meg kell szorozni egy lépcsőfüggvénnyel az exponenciálisokat. Erre a célra a Gauss-féle hibafüggvényt választottuk, így az illesztett függvény:

$$f(x) = \frac{1}{2} \left(\operatorname{erf}(10(x - t_0)) + 1 \right) \cdot (a_1 \cdot e^{-b_1 x} - a_2 \cdot e^{-b_2 x} - a_3 \cdot e^{-b_3 x}) \quad (1)$$

A mérési adatok az illesztés eredményével az 1. ábrán látható.



1. ábra. Egy mérési adatsor a ráillesztett függvénnyel

Az illesztési paramétereket a 1. táblázatban foglaltuk össze.

Azt látjuk, hogy bár vizuálisan jól illeszkedik a függvény, de a paraméterek bizonytalansága a_2 , a_3 , b_2 és b_3 esetén nagyon nagy. Az illesztéshez használt kezdeti paraméterek változtatásával ezeket a hibákat nem lehet csökkenteni, a python illesztési algoritmus az ezeket az eredményeket találja a legjobbnak. Az is rontja a pontosságot, hogy a nagy negatív csúcson kívül kisebb pozitív csúcsok vannak a lecsengés után, a mérési adatokban van visszaverődés.

illesztési paraméter	értéke	bizonytalansága
t_0	-1,99 ns	$\pm 0,05$ ns
a_1	-11,5 V	$\pm 2,1$ V
a_2	-2,23 kV	$\pm 2,77$ MV
a_3	2,22 kV	$\pm 2,77$ MV
b_1	$0,138 \frac{1}{ns}$	$\pm 0,009 \frac{1}{ns}$
b_2	$0,40 \frac{1}{ns}$	$\pm 0,54 \frac{1}{ns}$
b_3	$0,40 \frac{1}{ns}$	$\pm 0,58 \frac{1}{ns}$

1. táblázat

2. feladat

Határozzuk meg a b_1, b_2 és b_3 paramétereket! Ezek állandók, de eleinte nem tudjuk, mennyi az értékük.

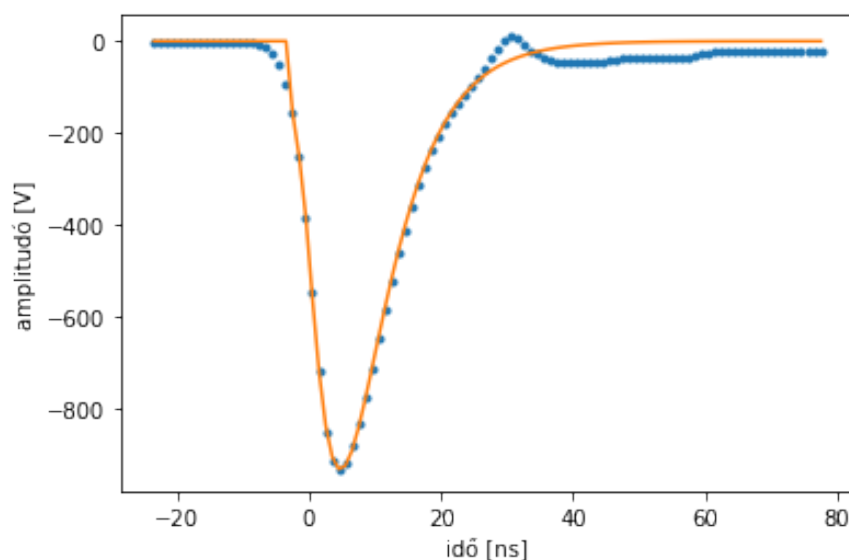
Ahhoz, hogy egyesével minden adatsorra illesszük az 1. függvényt, mindegyiknek önálló kezdeti paramétereket kellene megadni. Az illesztési algoritmus nem találja meg a paramétereket, ha ugyanazokból a kezdeti értékekből indul az illesztés minden adatsorra. Ezért az `ng_highth` és az `ng_lowth` mappa mérési adataira is összegeztük az egyes időkhöz tartozó amplitudókat és azt ábrázoltuk az idő függvényében.

Az `ng_highth` mappa adatsorai

Az összegzett amplitudók az illesztett függvénnyel a 2. ábrán látható.

Az illesztési paramétereket a 2. táblázatban láthatjuk.

A b paraméterek bizonytalansága ezzel a módszerrel csökkent egy keveset, az a -k hibája továbbra is annyira nagy, hogy nem vehetjük őket igazán komolyan.



2. ábra. Az amplitudók összege a rájuk illesztett függvénnyel az ng_highth mappa adatai alapján

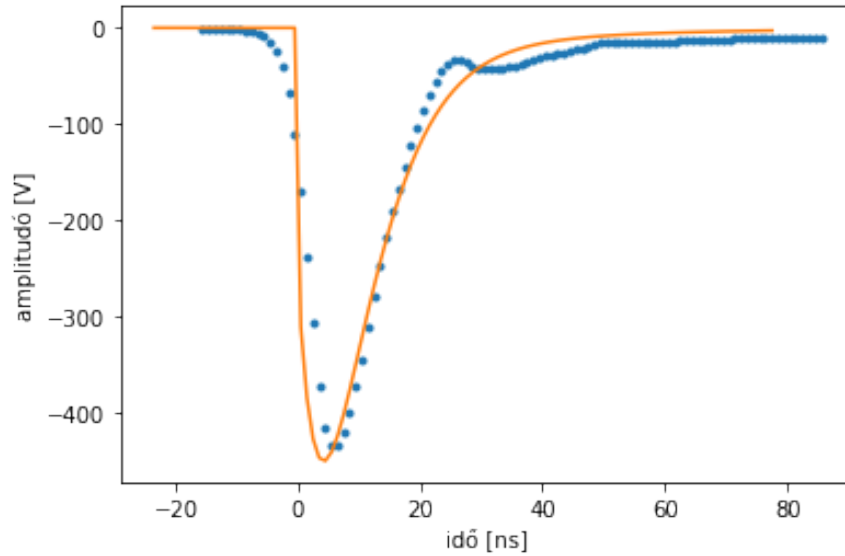
illesztési paraméter	értéke	bizonytalansága
t_0	-2,49 ns	$\pm 0,03$ ns
a_1	- 988 kV	$\pm 623 MV$
a_2	- 985 kV	$\pm 623 MV$
a_3	3,82 kV	$\pm 0,74 kV$
b_1	$0,38 \frac{1}{ns}$	$\pm 0,17 \frac{1}{ns}$
b_2	$0,38 \frac{1}{ns}$	$\pm 0.18 \frac{1}{ns}$
b_3	$0,148 \frac{1}{ns}$	$\pm 0.009 \frac{1}{ns}$

2. táblázat

Az ng_lowth mappa adatsorai

Az előzőhöz hasonlóan most is illesztettük az összegzett amplitudókra és ábrázoltuk mindezt a 3. ábrán.

Most az előzőeknél is rosszabb eredményeket kaptunk, a függvény láthatóan eltér a mérési pontoktól, a az illesztési paraméterek bizonytalansága pedig nagyságrendekkel megaladja



3. ábra. Az amplitudók összege a rájuk illesztett függvénnyel az ng_lowth mappa adatai alapján

magukat a paramétereket. Ezért megróbálkoztam úgy az illesztéssel, hogy a b értékeit az előző illesztésnek megfelelően hagytuk, de a t_0 -t és az a paramétereket illesztettem.

A felhasznált b paraméterek:

$$b_1 = 0,176 \frac{1}{ns} \quad b_2 = 0,173 \frac{1}{ns} \quad b_3 = 0,034 \frac{1}{ns}$$

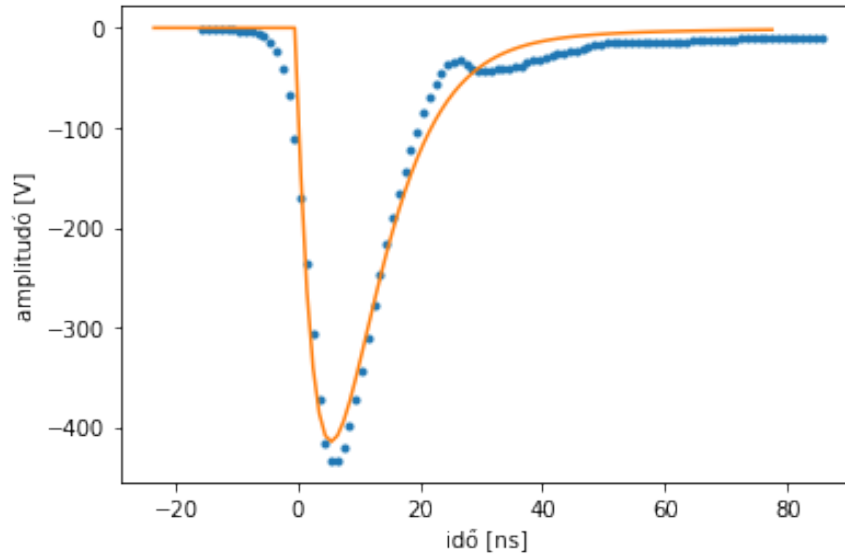
Ezzel a módszerrel kaptam a 4. ábrán látható illesztést.

Az illesztési paramétereket a 3. táblázatban láthatjuk.

illesztési paraméter	értéke	bizonytalansága
t_0	-0.2 ns	± 1492 ns
a_1	60 kV	$\pm 2kV$
a_2	60 kV	$\pm 2kV$
a_3	26V	$\pm 12V$

3. táblázat

Itt feltűnően látszik, hogy az illesztő program nem megbízhatóan végzi ezzel a függvényalakokkal és ezekkel az adatokkal a hibák meghatározását. A mérési adatok ábrázolás után



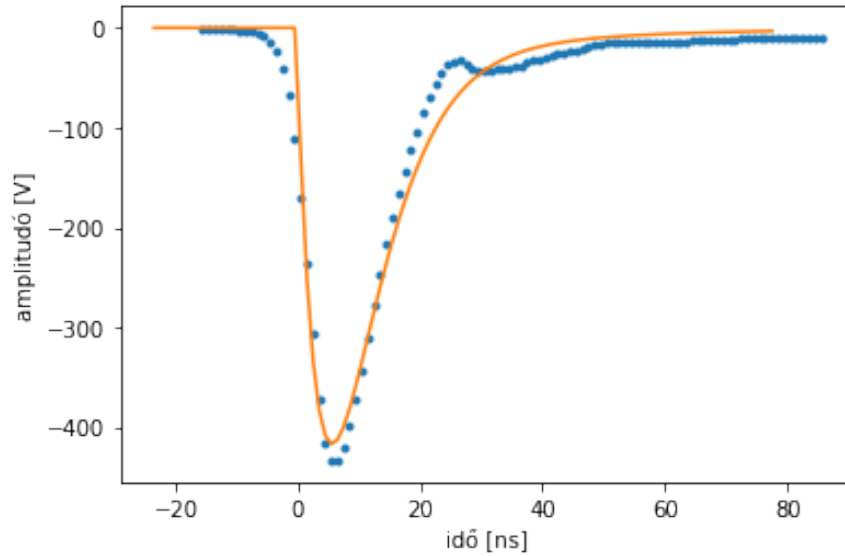
4. ábra. Az amplitudók összege a rájuk illesztett függvénnyel az ng_lowth mappa adatai alapján

biztosan megállapíthatjuk, hogy t_0 egészen biztosan a $[-10 \text{ ns}, 10 \text{ ns}]$ intervallumba esik, a program mégis 1492 ns-ot ad hibaként.

Újra illesztve az összes paramétert gyakorlatilag az előzővel megegyező eredményt kaptunk, ez a 5. ábrán látható, az illesztési paramétereket a 4. táblázatban foglaltuk össze.

illesztési paraméter	értéke	bizonytalansága
t_0	-0.2 ns	$\pm 803 \text{ ns}$
a_1	60 kV	$\pm 105 \text{ MV}$
a_2	60 kV	$\pm 105 \text{ MV}$
a_3	45 V	$\pm 169 \text{ V}$
b_1	$0,176 \frac{1}{\text{ns}}$	$\pm 2,6 \frac{1}{\text{ns}}$
b_2	$0,173 \frac{1}{\text{ns}}$	$\pm 2,6 \frac{1}{\text{ns}}$
b_3	$0,034 \frac{1}{\text{ns}}$	$\pm 0,06 \frac{1}{\text{ns}}$

4. táblázat



5. ábra. Az amplitudók összege a rájuk illesztett függvénnyel az ng_lowth mappa adatai alapján

A b paramétereket, bár egész nagy bizonytalansággal, de meghatároztuk, az a-k azonban sokkal problémásabbnak tűnnek.

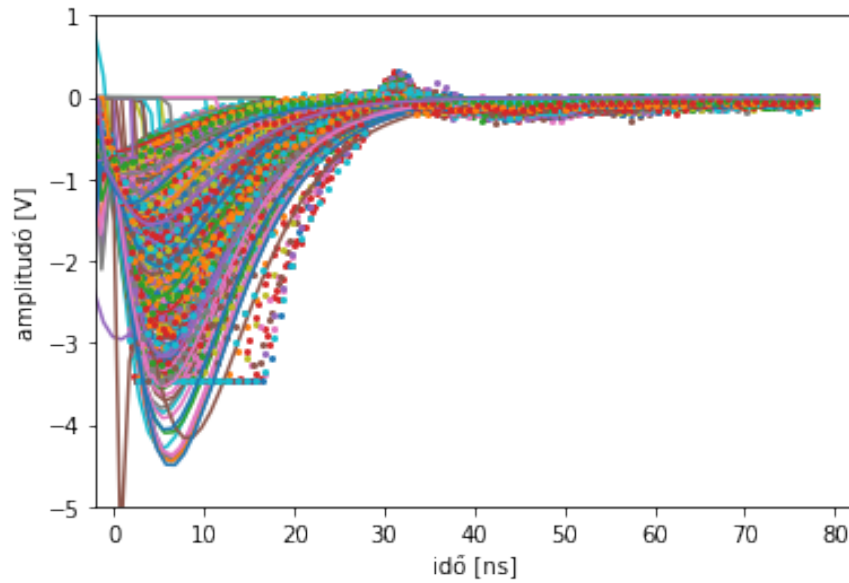
3. feladat

Határozzuk meg az a paramétereket az összes jelalakra! Ebben a feladatban az előzőben megállapított b értékeket használom az ng_highth és az ng_lowth mappa esetén is.

Az ng_highth mappa adatsorai

Nagy számú adatsort, konkrétan 575 fájlt kell ezen a ponton feldolgoznunk, ezért elkerülhetetlen, hogy automatizált eljárást találjunk rá. Az illesztés 'a' kezdőparamétereinek az összegzéssel kapott paraméterek $\frac{1}{575}$ -ét választottam. Az előbbieken látott hatalmas hibákhoz hasonlóan itt is óriási volt a bizonytalanság, sőt egyes esetekben végtelennek adódott a hiba. Ennek elkerülése érdekében csak azokat az adatsorokat tartottam meg, ahol az összes paraméter hibája 10^8 alatt van. Az illesztés eredményét a 6. ábra mutatja.

Azt látjuk, hogy általában követik az illesztett függvények a mért adatok pontjait, de



6. ábra. Az ng_highth mappa adatsorai

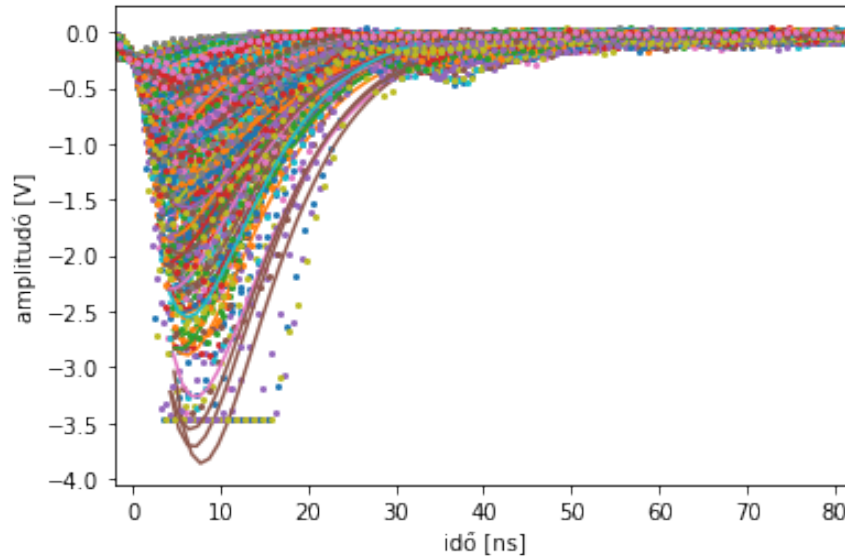
jól látható, hogy alkalmanként eltéved az illesztés. Ezen talán azzal lehetne segíteni, hogy más kezdőértékekkel próbáljuk meg az illesztést ezeken az adatsorokon, de ez nem illene az automatizált eljárásba.

Az ng_lowth mappa adatsorai

Az előzőhöz teljesen hasonló eljárást követünk az ng_lowth mappában található 566 feldolgozása során. Az eredmények a 7. ábrán láthatóak.

Ezúttal kevésbé tévednek el az illesztések az adatpontoktól, de a bizonytalanságok itt is jelentősek.

A kiértékelő program megadja az illesztési paramétereket és a bizonytalanságukat, de ez a több mint ezer (igen pontatlan) érték táblázat formájában nem alkalmas arra, hogy a jegyzőkönyvbe is beleírjuk.



7. ábra. Az ng_lowth mappa adatsorai

4. feladat - neutronok és gammák szétválogatás

Kérdés, hogy az a_2 , a_3 kétdimenziós ábrán az egyes beütések két különböző csoportot alkotnak-e, vagy a beütések szimpla (illesztés nélküli) numerikus integrálása ad-e jobb eredményt a szétválogatásra.

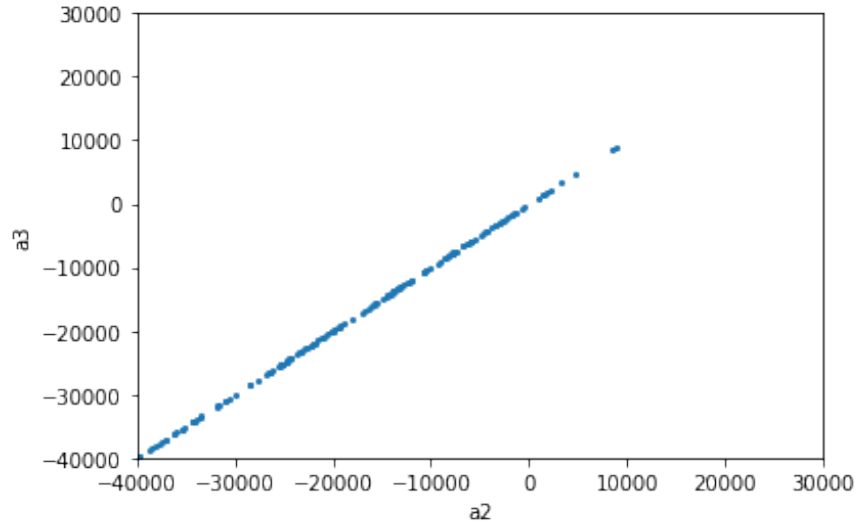
Az ng_highth mappa adatsorai

Először ábrázoljuk az a_3 -kat az a_2 -k függvényében ezt látjuk a 8. ábrán.

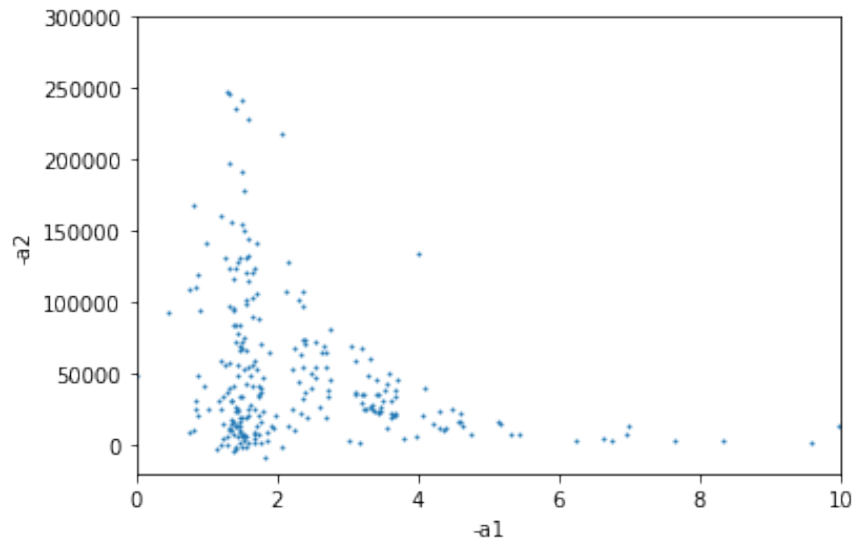
Azt látjuk, hogy a pontok egyetlen egyenesre illeszkednek. A 1. függvény 'a' paraméterei egyenértékűek, így előfordulhat, hogy az a_1 és a_2 paraméterek ábrázolása érdekesebb eredményt ad. A 9. ábrán a $-a_1$ függvényében ábrázoltuk $-a_2$ -t.

Ezen az ábrán már találhatunk különböző meredekségű foltokhoz tartozó pontokat, de ezek elkülönítése egyáltalán nem egyértelmű, ezáltal a γ -neutron diszkrimináció sem megvalósítható.

A másik lehetséges módszer, hogy numerikusan integráljuk nullától az értékeket és ennek függvényében ábrázoljuk a nagy jel lecsengésétől vett numerikus integrált. Utóbbit ott kezdem, ahol az amplitúdó már kisebb volt, mint 0,25 V. Az így kapott eredményeket a 10. ábrán



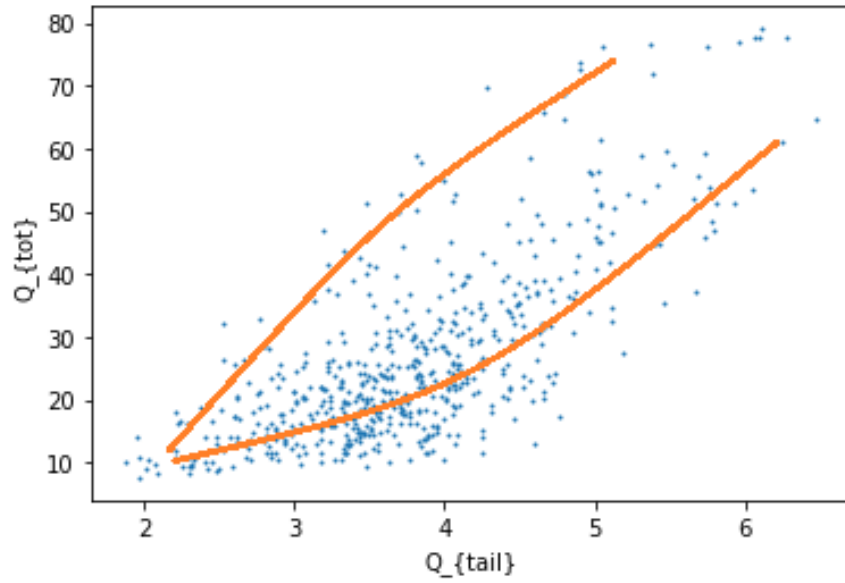
8. ábra. Az a_2 és a_3 paraméterek az ng_highth adatsorai alapján



9. ábra. A $-a_1$ és $-a_2$ paraméterek az ng_highth adatsorai alapján

látjuk.

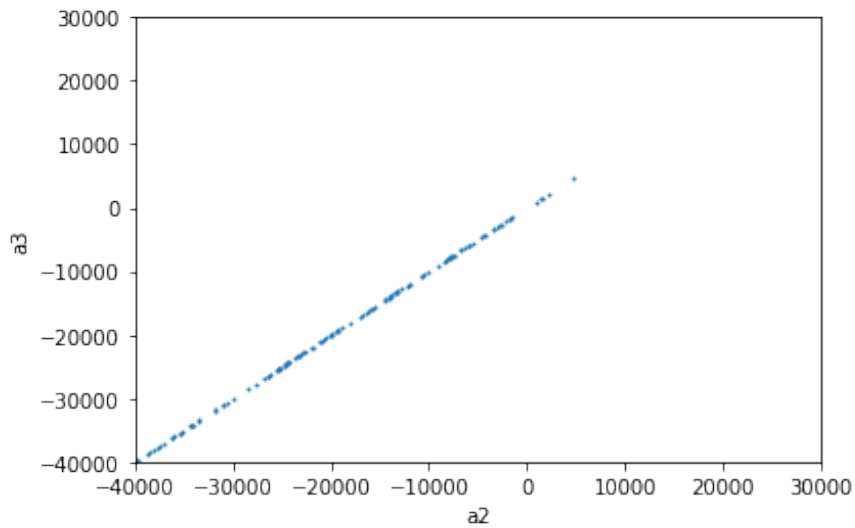
Ezen az ábrán már láthatjuk, hogy két görbére illeszkednek a pontok, de az alsó lényegesen gyengébb, bár ez a kevesebb detektált részecske miatt is lehetséges.



10. ábra. A lecsengést követő numerikus integrál a teljes integrál függvényében

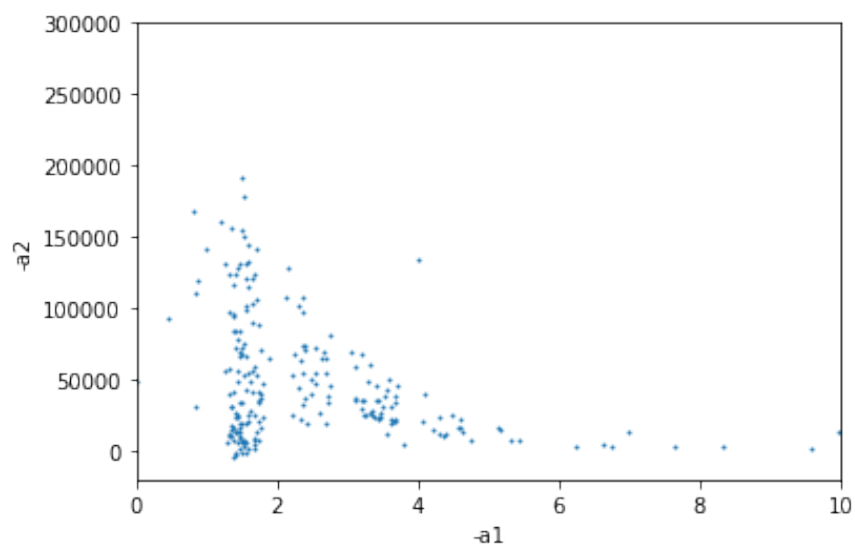
Az `ng_lowth` mappa adatsorai

Most is az előzőkhöz hasonlóan jártam el. Az a_2 - a_3 most is egy egyenest ad, ahogy a 11. ábra mutatja.



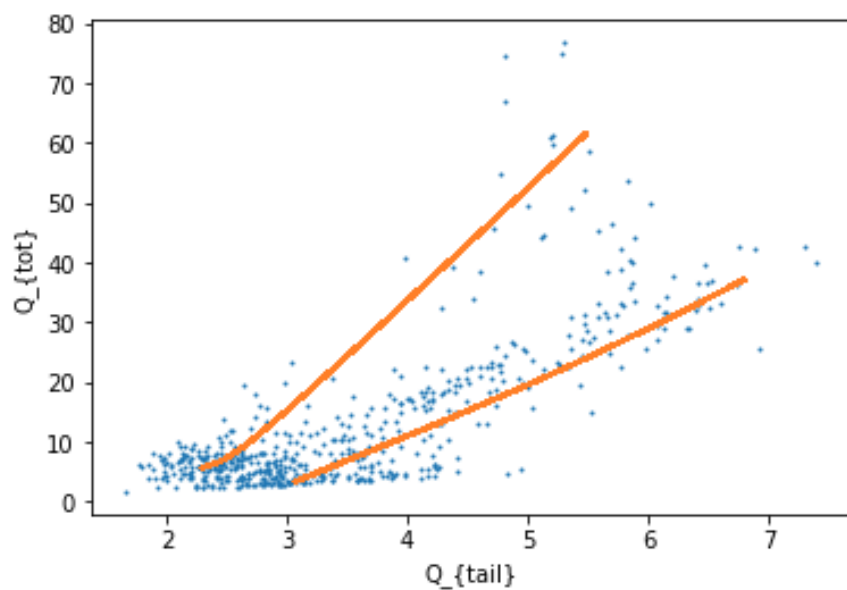
11. ábra. Az a_2 és a_3 paraméterek az `ng_lowth` adatsorai alapján

A 12. ábrán ezúttal is megjelennek a foltok, de az eddigiekhez hasonlóan itt sem elkülöníthetőek azok.



12. ábra. A $-a_1$ és $-a_2$ paraméterek az `ng_lowth` adatsorai alapján

Ezekhez az adatsorokhoz is kiszámoltam a numerikus integrálokat, a teljes integrál a lecsengés utáni integrál függvényében a 13. ábrán látható. Ezúttal is két elkülönülő görbét



13. ábra. A lecsengést követő numerikus integrál a teljes integrál függvényében

követnek a pontok, a felső most is jelentősen gyengébb.

Diszkusszió

A mérési adatok rendre követték a várt függvényalakokat, de a feladatok során nagy nehézségeket okoztak az illesztési paraméterek hatalmas bizonytalanságai. Ezek miatt az 'a' paraméterektől nem sikerült elegendően pontosan megtalálni, ezért az illesztési paramétereket használó módszer nem volt alkalmas a γ -neutron diszkriminációra. Az integrálokat használó technika sem tűnik elegendően pontosnak jelen esetben, de az valószínűleg nagyobb neutron- és γ -fluxus esetén már eredményre vezetne.