

1. félévi beszámoló

Körtefái Dóra

Részecskefizika és Atommagfizika doktori program
Témavezetők: Dr. Horváth Ákos, Dr. Kiss Gábor Gyula

2022. január 21.

1. Bevezetés

Doktori munkám célja a stabil ritkaföldfém izotópokra vezető béta-bomlási sorok elemzése lesz. Az általam analizálandó adatokat a RIKEN Kutatóintézetben sikeresen megmérték, a mérésen 2021-ben online bejelentkezéssel részt vettem. Az adatanalízis első lépése még folyik, feladatom az előfeldozott adatfajok analízise lesz. Ezért az adatfeldolgozás előkészítése érdekében a β -bomlással kapcsolatos szimulációkat készítettem ebben a félévben.

2. Kutatások ismertetése

2.1. Atommagok bomlásának szimulációja

A félév során a kutatásomhoz szükséges programokat Pythonban írtam, jupyter notebook-okat használva. Az első feladatom atommagok bomlásának időbeli szimulációja volt. Az első Monte-Carlo-szimulációt egyféle atommagra készítettük, és 10000 magra követtem végig, hogy az egyes időintervallumokban hány darab bomlik el. Egyszerűen ellenőrizhettük a kódot, hiszen tudjuk, hogy egy időintervallumban elbomló magok számát egy $A \cdot e^{-\lambda t}$ függvénnyel írhatjuk le. Meghatároztuk a szimulációból a bomlási állandót, és ezt összehasonlítottuk az általunk megadott felezési időből számolt λ -val. A kapott bomlási állandó bizonytalanságát is megbecsültük, amely két forrásból származott: az illesztés után meghatározható illesztési bizonytalanságból és a véletlen számok generálása során fellépő statisztikus bizonytalanságból. Utóbbihoz többször kellett futtatni a szimulációt, és az eredmények szórása adta a bizonytalanságot.

Ezt követően kibővítettük a szimulációt, hogy az már ne csak egyetlen atommag, hanem a bomlásból származó leánymagok közül elbomlóakat is számolja. Ebben az esetben ismerjük a görbe alakját: $A \cdot \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$, így most is ellenőrizhettük a szimulációt.

A RIKEN kísérletben mért izotópok ennél is több lépésben jutnak el a stabilitás völgyéig, ezért hosszabb bomlási sorokra is elkészítettük a szimulációt. Az anyamagon kívül négy leánymag bomlását követtük nyomon, az eredményt pedig a 1. ábra mutatja.

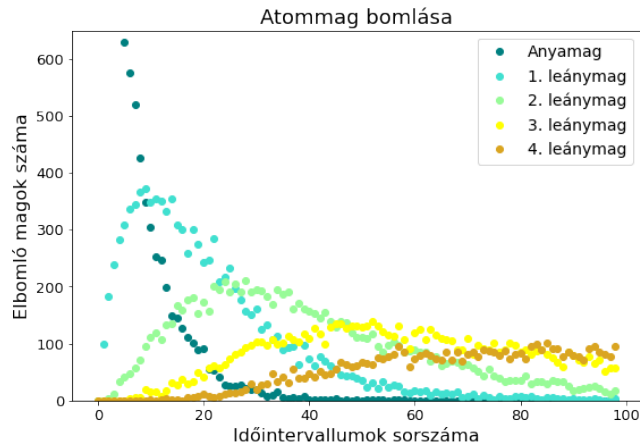
2.2. Az időfüggések illesztése Bateman-egyenlet felhasználásával

Ebben a feladatban az volt a célom, hogy egy olyan függvényt írjunk fel, aminek segítségével illeszteni tudjuk az $(n+1)$ -edik leánymag szimulált időfüggését abban az esetben, ha ismerem az n -edik leánymaggal bezárólag a bomlási sor korábbi tagjainak paramétereit.

Az i -edik mag számát t időpillanatban 1. összefüggés adja meg.

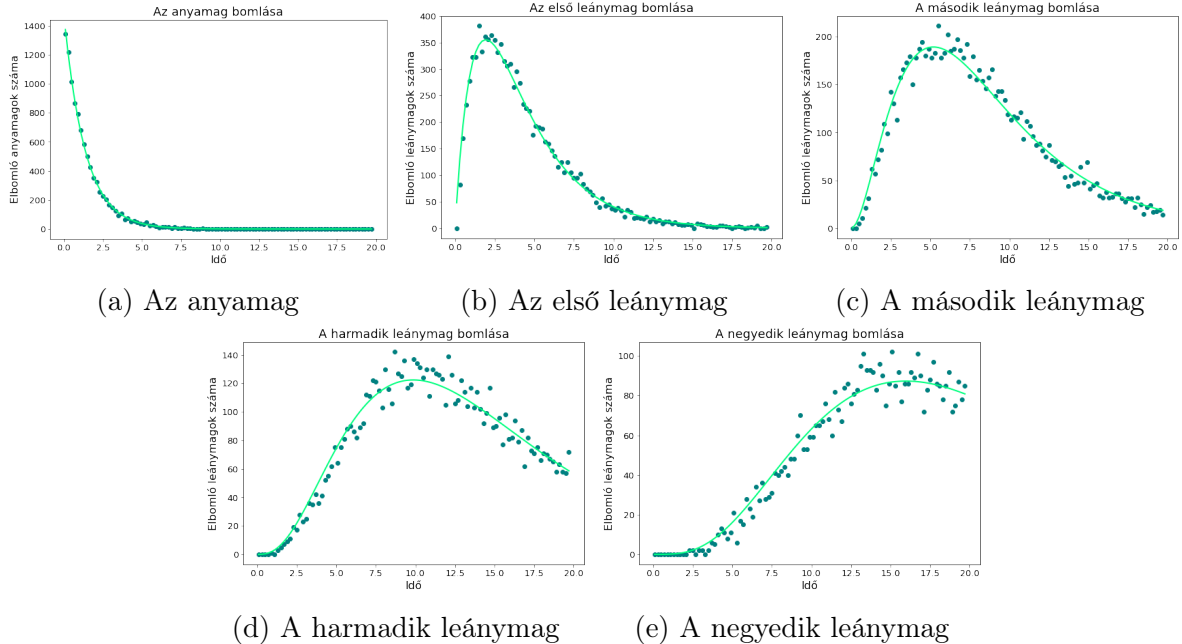
$$N_i(t) = \sum_{k=0}^{i-1} a_{ik} e^{-\lambda_k t} + a_{ii} e^{-\lambda_i t} = \sum_{k=0}^{i-1} \frac{\lambda_{i-1}}{\lambda_i - \lambda_k} a_{i-1,k} e^{-\lambda_k t} - \sum_{k=0}^{i-1} \frac{\lambda_{i-1}}{\lambda_i - \lambda_k} a_{i-1,k} e^{-\lambda_i t} \quad (1)$$

Az aktivitást a magok számából már egyszerűen, az $A_i(t) = \lambda_i \cdot N_i(t)$ egyenlet alapján ki tudtuk számolni, illetve szükségünk van még az a tömb elemeit megadó rekurzióra: $a_{ik} = \frac{\lambda_i}{\lambda_i - \lambda_k} a_{i-1,k}$. Első lépésben a korábbiaknak megfelelően meghatároztuk az anyamag bomlási állandóját. Ezt



1. ábra. Az egyes időintervallumokban elbomló anyamagok és különböző leánymagok száma

követően az 1. szerinti függvényt illesztettük az első leánymag adatpontjaira úgy, hogy csak az új bomlási állandó legyen illesztési paraméter. Az illesztést követően feltöltöttük az a tömböt az 1,1-es eleméig. Ezután már illeszthettük a második leánymag bomlására is, szintén csak az új bomlási állandót keresve, amivel már a 2,2-es eleméig ki tudtuk számolni az a tömböt. Ezeket a lépéseket folytatva eljutottunk a negyedik leánymaghoz és annak bomlási állandójához. Ezzel a módszerrel jó illeszkedéseket, és a felezési időből számolttal egészen szépen egyező bomlási állandókat kaptunk.



2. ábra. A szimulált értékek a rájuk illesztett függvényekkel

2.3. Az elektronok energiaspektrumainak számolása

Szeretnénk meghatározni az átmeneti valószínűség energiafüggését β -bomlás esetén, melynek fontos korrekciója a Fermi-függvény. Ennek az [1]. cikkben található alakját használtuk. A

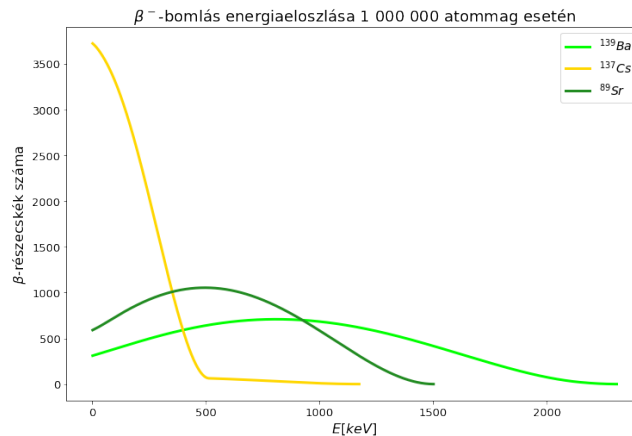
szorzótényezőket, melyekből összeáll a Fermi-függvény, külön is ábráztuk, a jobb megértés céljából, valamint megvizsgáltuk a határértékeket.

Adott energián az átmeneti valószínűséget [2]. jegyzetben leírt módon határoztuk meg, a 2 képletet alkalmazva, melyet már a mennyiségek dimenziótlanítása után kaptunk.

$$w(\varepsilon) = \text{const} \cdot F(Z, \varepsilon) \sqrt{\varepsilon(2 + \varepsilon)}(1 + \varepsilon)(\varepsilon_0 - \varepsilon)^2 \quad (2)$$

2.4. Valós példák

Az előzőek felhasználásával megnézhattuk valamelyik, létező izotóp esetére a β -részecskék átmeneti valószínűségét, melyhez a szükséges adatokat a NuDat 3.0 adatbázisából vettem. Figyelembe kellett még venni azt is, hogy bizonyos atommagok a β -bomlást követően adott valószínűséggel gerjesztett állapotba kerülnek. Azaz bizonyos százalékban az alapállapotba, bizonyos százalékban a gerjesztett állapotba érkező β -részecskékkel kellett számolni, majd összegezni őket adott energián. A ^{89}Sr , ^{139}Br és ^{137}Cs esetén példaként ábrázolt spektrumok a 3. ábrán láthatóak.



3. ábra. β -részecskék energiaeloszlása ^{89}Sr , ^{139}Br és ^{137}Cs esetén

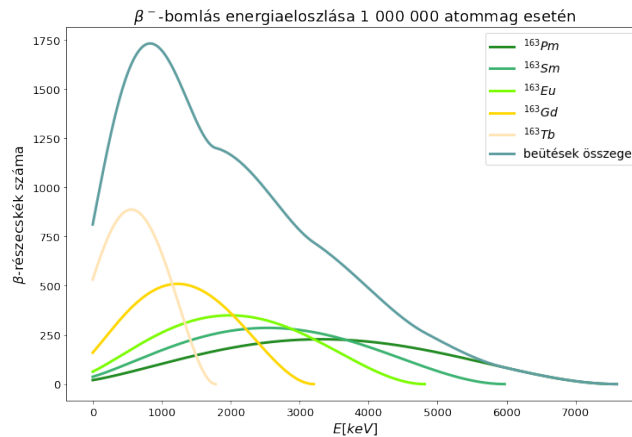
2.5. A Q-érték meghatározása

Az energiaspektrum ábrázolásához fontos adat a β -bomlás Q-értéke. Ezt is megtalálhatjuk bizonyos adatbázisokban, de az izotópok más, gyakran közölt adataiból is kiszámolhatjuk. Az egyik mód, ha ismerjük a tömegdefektust az anyamag (A) és a leányelem (B) esetén is. Ekkor a két tömegdefektus különbsége adja a reakció Q-értékét: $Q = \Delta_A - \Delta_B$

A nukleononkénti kötési energia (BE) ismeretében is kiszámolhatjuk a Q-értéket a következő összefüggéssel: $Q = (m_n - m_p)c^2 - m_e c^2 - BE_A + BE_B$

2.6. A ^{163}Pm bomlási sorának vizsgálata

A kísérletben neutronban gazdag ritkaföldfém izotópotat vizsgálunk majd, ezért kiválasztottunk közülük egyet, hogy annak a bomlási sorát kövessük. Ábrázolva az energiaeloszlást az 4. ábrát kapjuk.



4. ábra. β^- -részecskék energiaeloszlása a ^{163}Pm bomlási sorában, a beütések összegével

3. Tanulmányi tevékenység

Ebben a félévben két kurzust vettem fel. Az egyik a Válogatott fejezetek a nagyenergiás kísérleti fizikából volt, melynek előadásain néhány kivételtől eltekintve részt vettem, a vizsgán jeles érdemjegyet kaptam. A másik, bár szerepelt az én doktori képzésem kurzuskínálatában is A magfizika kísérleti eljárásai néven, az ATOMKI-ban volt megtartva. Nigel Mason, a Kenti Egyetem professzora tartott egy hetes intenzív kurzust asztrofizika, asztrokémia és asztrobiológia témában. Az utolsó napon a szóbeli vizsgán jeles osztályzatot kaptam.

A januári SNAQs (Schools on Nuclear Astrophysics Questions) előadásai közül részt vettem azokon, amelyek köthetőek a PhD témámhoz.

4. Oktatási tevékenység

A Klasszikus fizika laboratórium kedd délelőtti csoportjában az optika témakörébe tartozó méréseket vezettem. A laborgyakorlatokat megtartottam, a jegyzőkönyveket a megadott határidőre kijavítottam.

Ezen kívül részt vettem az alapszintű mechanika kurzus tutorprogramjában, mint az egyik csoport tutorja. Ennek értelmében heti egy alkalommal a frontális gyakorlat kiegészítésére kisebb csoport számára tartottam interaktívabb, feladatmegoldásra specializálódott órákat. A csoport tagjainak kérdéseinek megválaszolására tartottam konzultációkat, illetve javítottam a beadandókat.

Hivatkozások

- [1] I. Feister: Numerical Evaluation of the Fermi Beta-Distribution Function*, Physical Review Volume 78, Issue 3 (1950)
- [2] Horváth Ákos: A gyenge kölcsönhatás az atommagokban
http://atomfizika.elte.hu/akos/orak/mfe/bb_ea.pdf