

Atommag fizikája

Az atommag felfedezése Ernest Rutherford angol fizikus nevéhez fűződik. 1911-ben végezte híres α szórás kísérletét. Nagyon vékony arany lemezt nagy energiájú α részecskékkel bombázott. Megfigyelése szerint a részecskék áthaladtak a fólián de voltak olyan részecskék is melyek 180° -os fordulatot vettek, tehát visszafordultak. Az α részecskék, mint utólag kiderült ${}^4_2\text{He}$ atommagok voltak. Ezt a nehéz, erősen pozitív részecskét csak egy nagy tömegű erősen pozitív részecske fordíthatja vissza \rightarrow atommag. Pontos mérések azt igazolják, hogy az atommag mérete nem lehet nagyobb 10^{-14} m-nél. Ez utólag bebizonyosodott.

Az atommag alkotórészecskéi a nukleonok. Kétféle részecskét különböztetünk meg:

- Proton (pozitív elemi töltésű részecske, tömege $1,672658 \cdot 10^{-27}$ kg)
- Neutron (elektromosan semleges részecske, tömege $1,674953 \cdot 10^{-27}$ kg)

Egy atommag jelölése ${}^A_Z X$, ahol **A** a tömegszám (nukleonok száma), **Z** a rendszám (protonok, elektronok száma). Azonos rendszámú, de különböző tömegszámú atommagokat izotópoknak nevezünk. Egy elemnek több izotópja lehet. (pl. az urán nevezetes izotópjai: ${}^{235}\text{U}$, ${}^{236}\text{U}$, ${}^{238}\text{U}$.)

A kísérletek azt igazolják, hogy általában az atommag nagyon stabil rendszer, és ha netán széthasad, akkor óriási energia szabadulhat fel. Mindez azt bizonyítja, hogy a nukleonok között óriási összetartó erők működnek. Az erők eredetét mai napig sem ismerik, egyszerűen erős kölcsönhatásnak (magerők) nevezik.

Úgyszintén nincs egy egységes modell, mely leírná az atommagok összes tulajdonságát.

Tömeghiány, kötési energia.

Vegyük példának a ${}^4_2\text{He}$ atommagot. Nyugalmi tömege 4 tömegegység, tehát $6,6447 \cdot 10^{-27}$ kg. Az alkotó nukleonok összes nyugalmi tömege $2(m_p + m_n) = 6,6952 \cdot 10^{-27}$ kg. Ez az érték nagyobb, mint az eredeti mag tömege. Ezek szerint a parányi részecskék világában nem érvényes a tömeg-megmaradás törvénye. A két tömeg közötti különbséget **tömeghiánynak** nevezzük.

$\Delta m = \text{atommag alkotóelemei tömegének összege} - \text{atommag tömege}$

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{atommag}}$$

A mi esetünkben $\Delta m = 2(m_p + m_n) - m_{\text{He}} = +5,052 \cdot 10^{-29}$ kg.

Einstein szerint egy mikrorészecske nyugalmi összes energiája $E = mc^2$. Ezt az összefüggést tömeg-energia ekvivalenciának (tömeg energiává való alakulása és fordítva) is szokták nevezni. A mi esetünkben ennek a tömeghiánynak $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 4,546 \cdot 10^{-12}$ J energia felel meg. Ezt az értéket nevezzük **kötési energiának**.

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Ezt úgy kell értelmezni, hogy amennyiben a He atommagot alkotóelemeire szeretnénk szétrombolni, ΔE energiára (munkára) van szükség.

Fordítva, ha az alkotóelemek egyesülnének (fúzió), akkor az atommag létrejöttkor ennyi energia szabadulna fel, például kibocsátott elektromágneses sugárzás formájában. Ez az energia mennyiség nagyon elenyészőnek tűnik, de ha figyelembe vesszük, hogy 4g hélium $6 \cdot 10^{23}$ atomot tartalmaz, tehát ugyanennyi atommagot, akkor 4g He létrejöttkor a felszabaduló összes energia $6 \cdot 10^{23} \cdot 4,546 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 2,727 \cdot 10^{12} \text{ J}$. Ennyi energiát kapnánk akkor, ha 85000 liter benzint égetnénk el!!!

Tehát, ha $\Delta E > 0$, akkor az illető atommag stabil, alkotóelemeire való szétrombolás esetén ΔE energiára van szükség. Ha $\Delta E < 0$, akkor az atommag nem stabil, fenn áll a lehetősége annak, hogy a mag spontán módon alkotóelemeire bomoljon, ekkor a $|\Delta E|$ energia a szétváló mag nukleonjainak mozgási energiájaként jelenik meg.

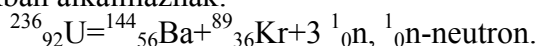
Az atommagokban a nukleáris kötések erősségét jobban jellemezhetjük az **egy nukleonra jutó kötési energiával**:

Nukleonra jutó kötési energia: $\frac{\Delta E}{A}$

Ezt az energiát fajlagos energiának is szokták nevezni. A természetben lejátszódó magátalakulások során az atommagok nagyobb fajlagos kötési energiájú állapotra törekednek.

A maghasadás.

Vizsgálhatnánk annak a lehetőségét is, hogy egy atommag nem alkotóelemeire, hanem például két vagy több nehezebb magra hasadjon (hasadványok). Íme egy olyan magreakció melyet az uránnal működő hasadásos reaktorokban alkalmaznak:



Ebben az esetben a kötési energia:

$$\Delta E = (m_{\text{Ba}} + m_{\text{Kr}} + 3m_{\text{n}} - m_{\text{U}})c^2 = -3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

A negatív előjel azt jelenti, hogy az urán széthasadása spontán, külső beavatkozás nélkül végbemehet, sőt energia szabadul fel. Ha 1 kg tiszta urán hasadna, akkor a felszabaduló energia kb. $8,13 \cdot 10^{13} \text{ J}$ lenne (=2535847 liter benzin energiája!!!). Ez az energia elsősorban a szétlökődő atommagok mozgási energiája. Ha a szétlökődő magokat például egy folyadékkal lassítjuk le, akkor a folyadék belső energiája jelentősen megnövekedhet → hőenergia. Leegyszerűsítve így működne egy maghasadásos hőreaktor. Persze a dolgok nem ennyire egyszerűek. Az uránérc ${}^{235}\text{U}$ izotópot tartalmaznak nagyon csekély százalékban. Ez az elem csak akkor hasad, ha lassú neutronokkal bombázzuk. Tehát meg kell oldanunk, hogy a reaktorban lassú neutronok keletkezzenek, melyek újabb és újabb hasadásokat idéznek elő. Észrevehető, hogy az ${}^{236}\text{U}$ hasadásakor 3 neutron keletkezik. A probléma az, hogy ezek nagyon gyors, nagy energiájú neutronok, melyek nem képesek új hasadást létrehozni. Ezért meg kell oldanunk, hogy lelassítsuk ezeket a neutronokat, hogy újabb hasadások keletkezzenek → láncreakció. Ezenkívül ügyelnünk kell arra, hogy a folyamatok a reaktorban ne gyorsuljanak nagyon fel, mert a hirtelen, hatalmas energia felszabadulás robbanáshoz vezethet. Amennyiben így történne akkor nem atomreaktor, lenne, hanem hasadásos atombomba.

A magfúzió.

A maghasadás fordított folyamata a magfúzió. Ilyenkor két könnyebb atommag egyesül és egy stabil magot képez. Természetesen ilyen folyamat magától nem mehet végbe, mivel az egyesülő atommagok között erős elektromos taszítás létezik. A fúzió csak energia befektetéssel megy végbe. Egy ilyen folyamat megy végbe a Napban, ahol a hőmérséklet eléri a 20 millió $^{\circ}\text{C}$ -t. Ez a hőenergia elég ahhoz, hogy két könnyű részecske például ${}^1_1\text{H}$ és ${}^3_1\text{H}$ (trícium), vagy két ${}^2_1\text{H}$ (detérium) egyesüljön. A fúziós reakcióban sokkal nagyobb energia szabadul fel, mint a hasadásos folyamatokban. Nem ellenőrzött fúziós láncreakciót már létrehoztak a hidrogénbombában (${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} = {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + 2,8 \cdot 10^{-12} \text{ J}$). A XXI század feladata, hogy kontrolált fúziós láncreakciót hozzanak létre, mely működtethet egy fúziós reaktort. Így kevesebb anyag és energia befektetéssel nyerhetünk óriási energiát.

Egy szerzői kérdés: vajon megéljük, hogy magfúziós autóval közlekedjünk, amibe havonta beleteszünk egy pár deka anyagot, nyomjuk a pedált és még csak nem is szennyezzük a természetet gázokkal?!

A természetes rádióaktivitás.

A rádióaktivitás története talán 1896-ban kezdődött, amikor Henri Becquerel francia fizikus hanyagul ráhelyezett egy darab uránércet egy fényérzékeny fényképlemezre és becsukta a sötét fiókba. Nagy meglepetésére egy éjszaka után, mikor előhívta a lemezt, megfigyelhette az érc körvonalait a filmen. Ez nem tulajdonítható a fiókba bejutó fénysugaraknak, mert ott sötét volt. Tehát az urán só spontán módon sugároz elektromágneses vagy netán más eredetű sugarakat is melyek hatással vannak a filmre.

Bebizonyosodott, hogy a spontán (természetes) rádióaktivitás négyféle részecske kisugárzásában nyilvánul meg:

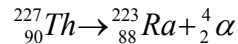
α (nagy energiájú (4 - 7,5 MeV) He atommag)

β^- (nagy energiájú elektronok \rightarrow fel lehet tenni a kérdést: hogy kerülhet ki az atommagból elektron?...)

β^+ (nagy energiájú pozitronok \rightarrow az elektron antirészecskéje, mely pozitív és ugyanakkora tömegű és töltésű)

γ (a Röntgen sugarakénál nagyobb frekvenciájú foton)

Egy ilyen kisugárzás esetén az atommag átalakul. Pl. a tórium α bomlását leíró egyenlet:



Ezek a sugarak nagyon ártalmasak lehetnek az élő világra. A nagy energiájú részecskék bejutnak a szervezetbe, lerakódnak, és különböző szövödményeket okozhatnak, főleg rákos megbetegedéseket. A maghasadás során is létrejönnek radioaktív sugarak, ugyanis a láncreakció során sokféle átalakulás megy végbe, amíg a reakció végeredménye egy stabil elem lesz. Ezért a reaktorok felépítésekor biztosítani kell a környezet védelmét a keletkező sugárzásoktól. A magfúziós reakció során stabil elem keletkezik, így ilyenkor nem jön létre általában radioaktív sugárzás, ilyenkor nincs úgynevezett radioaktív szenny. Ezért is küszködnek a fizikusok a fúziós atomreaktor (láncreakció) létrehozásában.

A radioaktív bomlás törvényei.

Legyen egy adott mennyiségű radioaktív anyagmennyiség.

Tételezzük fel, hogy **kezdeti (t=0)** pillanatban az anyag egyfajta radioaktív izotópjainak száma N_0 . Bebizonyosodott, hogy a radioaktív atommagok mennyiségének csökkenése mértani haladvány szerint történik.

Tételezzük fel, hogy kezdeti **t** pillanatban az anyag egyfajta radioaktív izotópjainak száma **N** (ennyi darab izotóp maradt még az anyagmennyiségben **t** idő után, ennyi nem bomlott még el).

Legyen λ a **bomlási állandó**, mely megadja, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy a radioaktív izotóp időegység alatt elbomoljon.

Legyen τ egy mag **átlagos élettartama**, mely megadja, hogy egy radioaktív izotóp átlagosan mennyi idő után bomlik.

A bomlási törvény:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Egy radioaktív izotóp **felezési ideje (T_{1/2})** az az idő, amely alatt a radioaktív anyagban a radioaktív magok száma a kezdeti érték felére csökken. Ez az idő egy izotóp fajta esetén állandó.

$$N = \frac{N_0}{2} \Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\frac{T_{1/2}}{\tau}} \Rightarrow T_{1/2} = \tau \cdot \ln 2 = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

A bomlási törvény a következőképpen is felírható:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Az **aktivitás (A)** vagy a szétbomlási sebesség, megadja, hogy hány atommag bomlik szét időegység alatt.

$$A = \left. \frac{N_0 - N}{\Delta t} \right|_{\Delta t \rightarrow 0}, \Delta t = t - 0.$$

Egy radioaktív anyag aktivitása időben csökken. Az aktivitás tehát egy pillanatnyi mennyiség.

$$[A]_{SI} = \frac{1 \text{ bomlás}}{\text{sec}} = 1 \text{ Bq (becquerel)}$$

Megtúrt egység a Ci (curie): $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.

$$A = \lambda \cdot N$$

Az aktivitás időbeli csökkenése:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

A ^{14}C izotópnak hasznos szerepe van az elpusztult élő szervezetek kórmeghatározásában.

Nagy nevek az atomfizika fejlődésében

Szilárd Leó 1934-ben elméleti megfontolással felvetette az ^{235}U hasadásának lehetőségét. Arra is rájött, hogy az elszabaduló neutronok újabb hasadásokat képesek előidézni. Rutherford elvetette Leó elméletét, azt mondta teljesen lehetetlen. A következő 5 évben mások is dolgoztak ebben a témában (E. Fermi, F. Currie, I. Curie) míg végül Otto Hahn és Fritz Strassmann 1939-ben létrehozták laboratóriumban a hasadást. Einstein 1939 aug 2-án írta meg Rosevelt elnöknek a levelét, amiben felhívta figyelmét, hogy a hasadás háborús célokra is felhasználható → Németország készül erre. 1945 tavaszán Einstein és Leó egy újabb levélben felhívták az elnök figyelmét az atombomba pusztító hatásaira.

Teller Ede az USA-ban Gamow-al kidolgozták a β bomlás elméletét. 1945-ben javaslatot tett a hidrogénbomba kidolgozására. A hidrogénbomba „aty”-jának is nevezik.

És természetesen nem hagyhatjuk ki a Curie hazaspárt sem, (Pierre és Marie) akik egész életüket szinte a radioaktivitás kutatásának szentelték. Több radioaktív elem felfedezése fűződik a nevükhöz : Po (polonium - Marie lengyel származású volt), Ra (rádium- innen a rádióaktivitás kifejezés), To (torium). Elég mostoha körülményekben dolgoztak egy huzatos, nedves laborban. Nem voltak tisztában a rádióaktivitás káros hatásaival. Marie az erős sugárzás miatt rákban halt meg. Mindketten Becquerel-el együtt Nobel díjat kaptak.

Összeállította
Varga Zsolt