

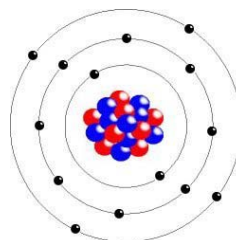
MAGFIZIKA

Az atom áll:

Z számú elektronból

Z számú protonból

A-Z számú neutronból



A proton és a neutron közös neve *nukleon*.

A - az atom tömegszáma.

Z – az atom rendszáma

Az atomok atommagból és az azt körülvevő elektronfelhőből állnak. Az atomok átlagos mérete 10^{-10} m, az atommagok átlagos mérete néhányszor 10^{-15} m (Rutherford). Az elektronfelhőben található a negatív töltésű elektronok. **A pozitív töltésű atommagot protonok és neutronok, együttes néven nukleonok alkotják.** A proton és az elektron töltése egyenlő nagyságú, de ellentétes előjelű, ezt nevezzük elemi töltésnek. A magban található protonok száma megegyezik az elektronfelhőt alkotó elektronok számával, tehát az atom elektromosan semleges.

Egy elem jellemzője, kémiai tulajdonságainak meghatározója a protonok száma, azaz a rendszám.

Ugyanannak a kémiai elemnek több **izotópja** is lehet, ezek atommagjai a neutronok számában különböznek. Tehát az izotópok rendszáma azonos, de tömegszáma különböző. Az izotóp latin szó, jelentése: azonos hely. Az izotópok atommagja eltérő belső szerkezetű, ezért különböző magfizikai sajátosságokkal rendelkeznek például a stabilitás vagy a radioaktív bomlás tekintetében.

Az atom tömegeloszlása rendkívül egyenetlen, hiszen az atommag tömege sokszorosa az elektronfelhő tömegének, az anyag igen szellős felépítésű. Tömegének 99,98%-a az atomok magjában, nagyon kis helyen van összesűrítve. A mag 16 nagyságrenddel sűrűbb, mint az elektronburok.

Ha az atommag egy stadion közepére helyezett meggy lenne, akkor az atommagot körülvevő elektronok pályái a stadion lelátójára esnének.

- ❖ A proton kísérleti kimutatása Rutherford nevéhez fűződik (1919). Nitrogénmag elnyelte az ütköző részecskét, s protonkibocsátás mellett oxigénmaggá alakult át.
- ❖ Lenni kell az atommagban egy semleges töltésű részecskének, amelyet 1932-ben Chadwick fedezett fel. A berillium és a hélium atom találkozásakor szén és egy eddig ismeretlen részecske keletkezett. Ezt a részecskét nevezték neutronnak. A neutron tömege kicsit nagyobb a proton tömegénél.

A hidrogént kivéve az atommag több protont is tartalmaz. Ezek azonos töltésűek, tehát kölcsönösen taszítják egymást. Emiatt ki kellene lökődniük a magból, a tapasztalat szerint azonban az atommagok stabilak. Ezt nem okozhatja a gravitációs kölcsönhatás, mert két proton között ható gravitációs vonzóerő mindig kisebb, mint az elektromos taszítóerő. A neutron semleges részecske, tehát elektromos kölcsönhatás nincs is közöttük. Az atommagot összetartó erőhatás természetének teljes megértése az elméleti fizikusok számára a mai napig sem lezárt problémakört képez.

Egy új típusú kölcsönhatás jelenik meg tehát a nukleonok között, melyet **erős kölcsönhatás**nak nevezünk.

Jellemzői:

- ◆ Töltéstől független.
- ◆ Mindig vonzó jellegű.
- ◆ Erősebb, mint az elektromos vagy gravitációs kölcsönhatás.
- ◆ Igen kis hatótávolságú, csak a közvetlenül szomszédos néhány nukleonra hat.

Ha a magot alkotó nukleonok saját tömegét összeadjuk, akkor nagyobb értéket kapunk, mint a mag tömege. Ez a jelenség a **tömegdefektus** vagy tömeghiány. $Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n > M$

A defekt német szó, jelentése hiányos.

Az atommag keletkezésekor, amikor a nukleonok kölcsönhatásba kerülnek egymással, akkor nagy energiájú elektromágneses foton szabadul fel.

Ha a nukleonokat újra szét akarjuk szakítani, akkor ehhez energiát kell befektetni. Az atommagot felépítő, egymáshoz kötött nukleonok energiája a **kötési energia**.

$$E = \{M - [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n]\} \cdot c^2$$

A magyarázat az **Einstein** által a relativitáselméletben megfogalmazott **tömeg - energia** kapcsolat segítségével adható meg. Amikor az atommag a részeiből összeáll, akkor a felszabadult energiának megfelelő tömeg foton alakjában távozik a rendszerből. Amikor pedig a magot alkotórészeire bontjuk, akkor nagy energiájú foton formájában a kötési energiának megfelelő tömeget közlünk a rendszerrel.

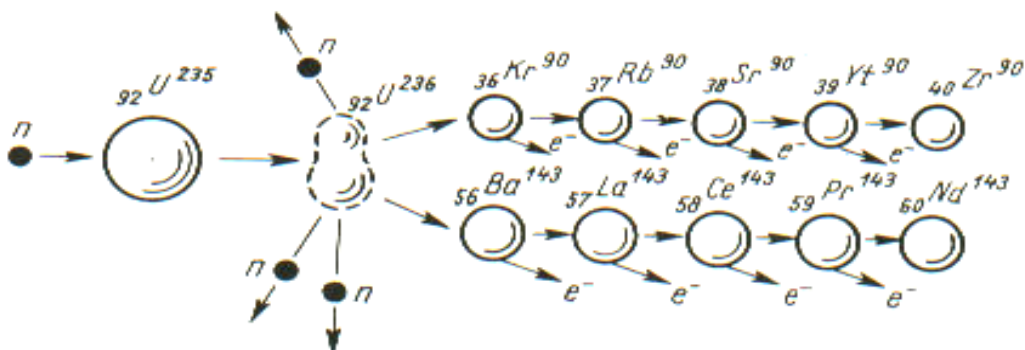
A tömeghiánynak megfelelő energia a kötési energia. A kötési energia tehát az az energia, melynek befektetésével egy atommag teljesen alkotórészeire bontható.

A vas atommagjában kötődnek legerősebben a nukleonok egymáshoz, tehát a vasatom magja a legstabilabb. Ezért a vasnál kisebb tömegszámú magok tömegszám növekedéssel járó folyamatai (egyesülés vagy fúzió) és a vashoz viszonyítottan nagy tömegszámú magok tömegszám csökkenéssel járó (bomlás, hasadás) folyamatai egyaránt energia felszabadulással járnak.

MAGHASADÁS

A neutronok által kiváltott magreakciók közül találtak olyanokat, amelynél a neutron hatására az atommag két kisebb részre hasad, miközben további neutronok szabadulnak fel. Ezt a folyamatot **maghasadás**nak nevezzük.

Ilyen hasadás jön létre például az urán 235-ös izotópjának a termikus neutronnal való kölcsönhatásakor. A termikus szó arra utal, hogy a neutron mozgási energiája, azaz sebessége kicsi (lassú neutron), és összemérhető a hőmozgásból származó energiával.



A folyamat során, atomi méretekben, jelentős energia szabadul fel. (32pJ). Ez azt jelenti, hogy mólnyi mennyiségű (0,25 kg) maghasadás esetén a kinyert energia 20 millió MJ. (1000 tonna szén)

A 235-ös urán atommag a neutron befogásával rövid ideig 236-os tömegszámú uránmaggá alakul. Eközben a neutrontól befogott energia hatására az egész mag rezgésbe jön. A rezgés közben létrejött súlyzóalaknál az elektrosztatikus hatást a magerők már nem tudják kompenzálni, mert a nukleonok egy része túl messze kerül egymástól.

A mag ilyenkor két részre hasad, és a két pozitív töltésű rész nagy erővel szétlökődik.

A hasadáskor keletkező két izotóp magja viszonylag sok neutronot tartalmaz, ezért ezek β -bomlással tovább bomlanak. A keletkező hasadványmagok tehát radioaktívak, így sugárzás útján további energia szabadul fel.

Amennyiben biztosítható, hogy a keletkező neutronok újabb maghasadást idézzenek elő, akkor a folyamat önfenntartóvá válik, és létrejön a **láncreakció**.

Az urán 235-ös izotópján kívül a plutónium 239-es is képes maghasadásra, így benne is létrejöhet a láncreakció.

A természetes urán 99,3%-át kitevően 238-as uránizotóp csak nagyon ritkán hasad így nem hozható benne létre láncreakció.

Annak a hasadóanyagnak a tömegét, amelyben már létrejöhet a láncreakció, **kritikus tömegnek** nevezzük. A toszta 235-ös uránizotópból készült gömbnél a kritikus tömeg 10 kg körül van. A gömb térfogata $0,5 \text{ dm}^3$.

A láncreakció elvét **Szilárd Leó** dolgozta ki 1933-ban. Az első láncreakciót egy kísérleti atomreaktorban hozták létre 1942. december 2-án, Chicagóban Enrico Fermi és Szilárd Leó közös szabadalma alapján.

A láncreakció alapvetően kétféle módon mehet végbe: robbanásszerűen az atombombában, vagy szabályozottan az atomerőművekben.

Az **ATOMBOMBA** a kritikus tömegnél nagyobb mennyiségű hasadóanyagot (uránt vagy plutóniumot) tartalmaz. Itt erősebb a dúsítás, akár 90% feletti is lehet. Ezt azonban több részre osztva úgy helyezik el, hogy az egyes részek tömege a kritikus tömegnél kisebb legyen.

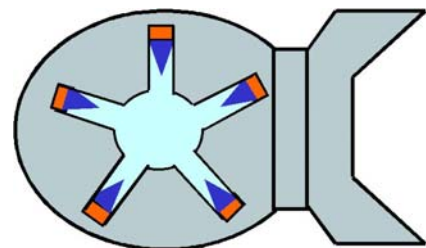
Az atombomba felrobbantásakor ezeket a részeket hagyományos robbanótöltet segítségével egymásba lövik.

A láncreakciót ilyenkor a kozmikus sugárzásból származó neutronok indítják el.

A hasadási termékek mozgási energiája sorozatos ütközésekkel felmelegíti a bomba anyagát. A kialakuló hőmérséklet meghaladja a 10 millió fokat is.

Az első kísérleti atomrobbantást az USA-ban végezték az Új-Mexikó szövetségi államban lévő Alamogoro közelében, 1945. július 16-án.

A következő két bombát már katonai célokra használták a II. világháború végén Japán ellen vetette be az USA. Hirosima fölött 1945. augusztus 6-án, Nagaszaki fölött 1945. augusztus 9-én robbantottak atombombát. A Hirosimai bomba töltete urán, a Nagaszakira ledobott bombáé plutónium volt. Az áldozatok száma 112 000 halott és 105 000 sebesült.



Az amerikai atombomba előállításának kezdeményezője Szilárd Leó (1898-1964) volt. Kérésére Einstein levélben fordult Roosevelt elnökhöz. Ebben azt kérték, hogy az USA a hitleri Németországot megelőzve fejlessze ki az atombombát.

A bomba kifejlesztésére Los Alamosban kutatócsoportot hoztak létre. A Manhattan-terv fedőnevű akció vezetője Robert Oppenheimer (1904-1967) lett. Tagjai pedig: Enrico Fermi (1901-1954), Teller Ede (1908-2003), Wigner Jenő (1902-1995) és Neumann János (1903-1957).

Mivel a bomba kifejlesztésekor a háború már befejeződött, ezért a tudósok többsége ellenezte annak bevetését.

Az **ATOMREAKTOR**ban szabályozott láncreakció jön létre, ilyenkor az adott idő alatt bekövetkező hasadások száma, és ezzel a reaktor teljesítménye állandó.

Az atomreaktoroknak több típusa is van, ilyen reaktor működik Pakson is. A reaktor üzemanyaga urán. A természetes uránban a hasadásra képes 235-ös tömegszámú izotóp csak 0,7%-ban fordul elő, a 99,3%-át 238-as uránizotóp alkotja, amely azonban nem hasad, sőt elnyeli a lassú neutronokat. 235-ös uránizotóp arányát dúsítással 3-5%-ra növelik.

A szabályozott láncreakcióhoz a következőket kell biztosítani:

1. A hasadáskor keletkező gyors neutronokat ideiglenesen ki kell hozni az uránból, mert lelassulva a 238-as uránmag elnyelné őket.
2. A gyors neutronokat le kell lassítani, mert csak a termikus neutronok hoznak létre hasadást. A neutronlassító anyagot moderátornak nevezzük.
3. A felesleges neutronokat neutronelnyelő anyagban el kell nyeletni. Ezek számával szabályozható a hasadások száma.
4. Megfelelő számú termikus neutront vissza kell juttatni az uránba, hogy ott újabb hasadást hozzanak létre.
5. A láncreakció során fejlődő hőt valamilyen hűtőközeg átáramoltatásával el kell vezetni.

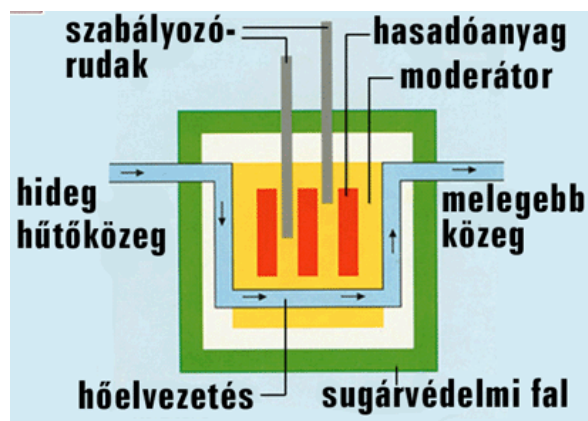
A reaktorban a kritikus tömegnél nagyobb mennyiségű hasadóanyag van, ezt azonban itt is szétosztva, üzemanyagrudakban helyezik el. Az üzemanyagrudak uránoxid fűtőelemeket tartalmazó cirkóniumcsövek.

Az üzemanyagcsövek között neutronelnyelő anyagból (kadmium) készült mozgatható szabályozórudak vannak.

Az üzemanyag- és a szabályozórudak közötti teret víz tölti ki, ez a moderátor (neutron lassító) és a hűtőközeg is egyben.

A szabályozórudak mellett további elnyelőrudak (biztonsági rudak) szolgálnak arra, hogy üzemzavar vagy veszély esetén leálljon a reaktor.

Az üzemanyagrudak által elfoglalt térrészt aktív zónának nevezzük. Az aktív zónát és a szabályozórudakat az acéllemezéből és betonból készült reaktortartály veszi körül.

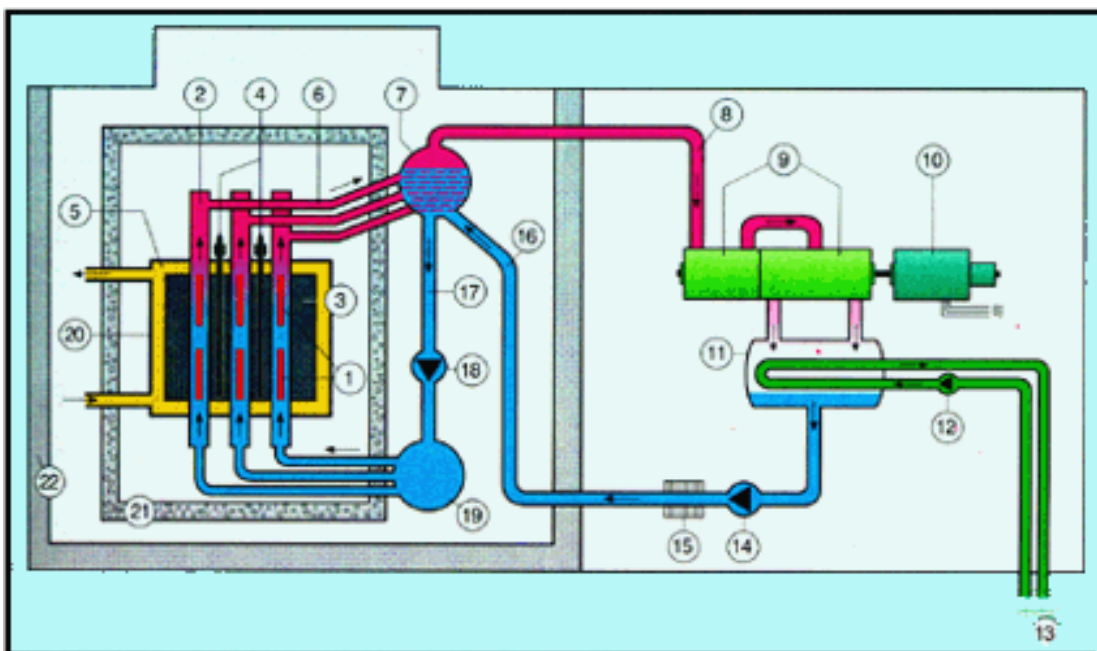


A láncreakció beindítása úgy történik, hogy a neutronelnyelő rudakat lassan kihúzzák az aktív zónából. A kozmikus sugárzásban lévő neutronok indítják be az első hasadást. A keletkező gyors neutronok többsége a vékony fűtőelemekből úgy jut ki, hogy közben alig ütközik 238-as uránatommal. Ezért nem veszítenek sebességükből, így a 238-as urán nem tudja őket elnyelni. A vízben lévő hidrogénatomokkal ütközve azonban mozgási energiájuk nagy részét leadják, ezáltal termikus neutronokká válnak. A termikus neutronok nagy része visszajut a fűtőelembe, és ott újabb reakciót hoz létre.

A fejlődő hő felmelegíti az aktív zónán átáramló hűtővizet. Ezt a hőt az atomerőműben villamos energia termelésére használják. 1988-tól Magyarország energiaszükségletének 40%-át, évi 14 000 GWh-t Pakson állítják elő.

Az első kísérleti reaktort Chicagóban építették meg 1942-ben a Manhattan program keretében. Az első energiatermelő reaktort is az USA-ban építették 1951-ben, melynek teljesítménye 250kWh volt.

A paksi erőműnek négy, egymástól független reaktorblokkja van. Az aktív zóna töltete 42 tonna urán-oxid (UO_2). Egy-egy feltöltéssel 250-300 napig üzemelnek, utána a rudakat átrakják, mert a közepén lévő rudakban több hasadás történik, így onnan hamarabb elfogy az urán.



A reaktor aktív zónájában az urán hasadásából felszabaduló hőt a zárt primer kör hűtőközege szállítja az ugyancsak zárt szekunder kör gőzfejlesztőjéhez.

A szekunder kör gőzfejlesztőjében a nagynyomású gőz turbinákat hoz mozgásba.

A turbinák mozgási energiája alakul át a generátorokban elektromos energiává.

A Duna vize a harmadik nyitott körben hűti a turbinák gőzlecsapató kondenzátorait.

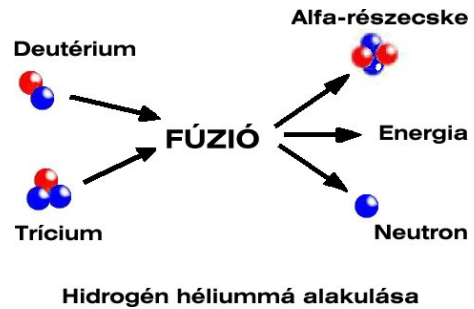
MAGFÚZIÓ

Magfúzióknak nevezzük az olyan magreakciót, amelyben két könnyű atommag egyetlen maggá egyesül. A vasnál könnyebb magokban a tömegszám növekedésével a nukleonok kötési energiája csökken, tehát a fúzió során energia szabadul fel. Az energia nagy része a folyamatban keletkező elemi részek mozgási energiájaként jelenik meg, de mindez a sorozatos ütközések következtében a környezet belső energiáját növeli.

A fúzió létrejöttét gátolja, hogy az atommagoknak a magterők hatótávolságán belülre (10^{-15} m-nél közelebb) kell kerülnie. Ez csak akkor lehetséges, ha elegendően nagy a mozgási energiájuk ahhoz, hogy legyőzzék a pozitív töltésükből adódó elektrosztatikus taszítóerőt.

A fúzióhoz szükséges sebesség a hőmérséklet növelésével elérhető, a magasabb hőmérsékletű anyagban ugyanis nagyobb sebességű a hőmozgás.

A magfúzióhoz 10 - 100 millió °C körüli hőmérséklet szükséges. Az így megvalósuló fúziót **termonukleáris reakciónak** nevezzük.



A Nap energiatermelése a hidrogén termonukleáris fúzióján alapul. A Nap felszíne csak 5500°C -os, a belsejében azonban 15 millió °C hőmérséklet és $2 \cdot 10^{15}$ Pa nyomás uralkodik.

A hidrogénbomba szintén termonukleáris fúzióval működik. A fúzióhoz szükséges hőmérsékletet egy atombomba felrobbantásával állítják elő.

A hidrogénbomba kidolgozására **Teller Ede** 1945-ben tett javaslatot, és tevékenyen részt vett a terv megvalósításában. Az amerikaiak 1952. november 1-jén robbantották fel az első hidrogénbombát a csendes óceáni Eniwetok sziget együttes egyik korallszigetén. A felszabaduló energia 700-szor nagyobb volt mint a Hirosimára ledobott bombáé. A robbantás következtében a teljes sziget eltűnt.

A szabályozott termonukleáris reakció huzamosabb ideig történő megvalósítása számos nehézségbe ütközik. Nincs olyan reaktortartály, ami kibírná a magas hőmérsékletet.

Egy gyűrű alakú tartályban lévő ionizált gázkeverékben (plazmában) a gyorsan változó mágneses mezővel áramot lehet indukálni. Az áram hatására a plazma hőmérséklete eléri a fúzióhoz szükséges értéket. A forró plazmát a mágneses mező a tartály középvonala mentén tartja, így a tartály nem olvad meg. A mágneses tér által stabilizált plazmával működő kísérleti fúziós reaktortípus neve **Tokamak**. Az első ilyen berendezést a Szovjetunióban készítették.

Az eddig előállított legmagasabb hőmérsékletet 1994-ben egy amerikai egyetemen állították elő: 510 millió °C.