

Fizika mérnököknek 2.

13. előadás - Atomfizika

Mingesz Róbert

Szegedi Tudományegyetem

2010. május 10.

- 1 Részecskegyorsítók
- 2 Magreakciók
- 3 Az atommag szerkezete
A radioaktivitás értelmezése
- 4 A maghasadás
- 5 A fúzió

Az atommagok és részecskék vizsgálatának legfontosabb módszere: részecskék közötti ütközések létrehozása, majd a szétrepülő részecskék vizsgálata

Megfelelő energiájú részecskenyaláb ütköztetése a céltárggyal

Kezdetek: természetes radioaktív bomlás felhasználása

Részecskegyorsító: elektromos terek segítségével töltött részecskék nyalábját nagy energiára gyorsítjuk fel

- folytonos/impulzusüzemű

- lineáris/ciklikus

Ionforrás

További alkalmazások

- orvosi alkalmazások (radioterápia)

- anyagszerkezeti vizsgálatok

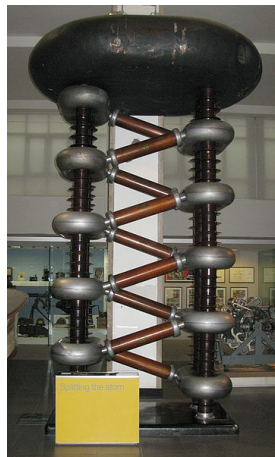
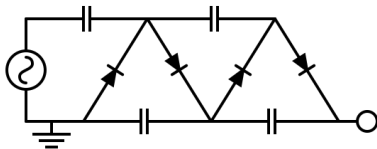
- ipari alkalmazások (anyagszerkezet átalakítása, kutatás)

- biológiai kutatások

Cockcroft-Walton-gyorsító

Nagyfeszültség létrehozása:
kaskádgenerátor

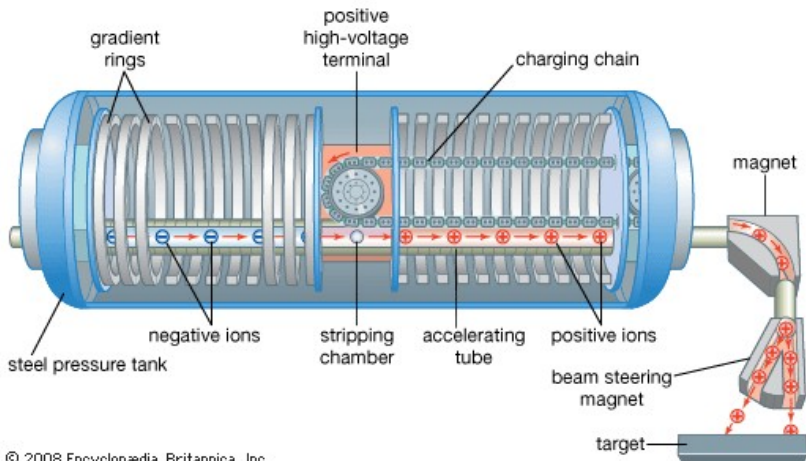
$$E_{\max} \approx 1 \text{ MeV}$$



Van de Graaff-generátor

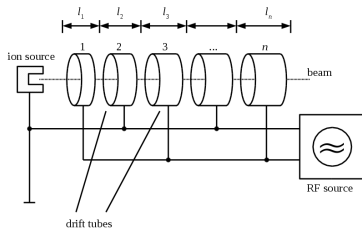
$$E_{\max} \approx 20 \text{ MeV}$$

Energia kétszerezése: tandem elrendezés



© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

Lineáris részecskegyorsító

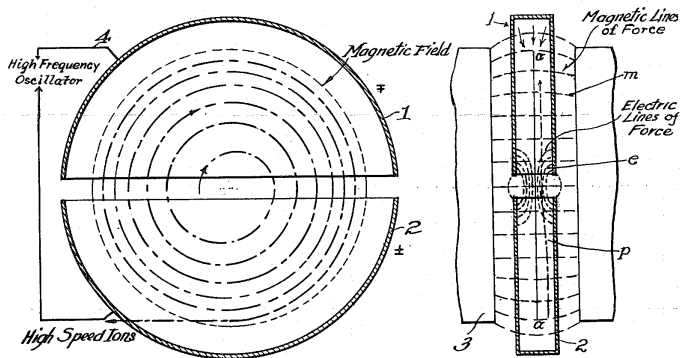


SLAC: 3km, 50 GeV



Elektronnyaláb létrehozása

$$E_{\max} \approx 20 \text{ MeV}$$



$$E_{\text{max}} \approx 7000 \text{ GeV}$$

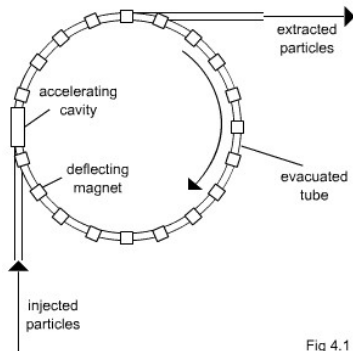
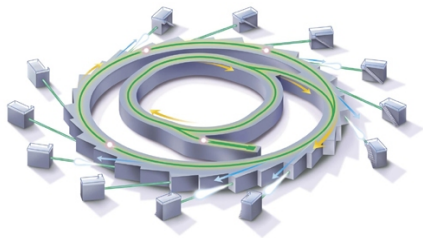
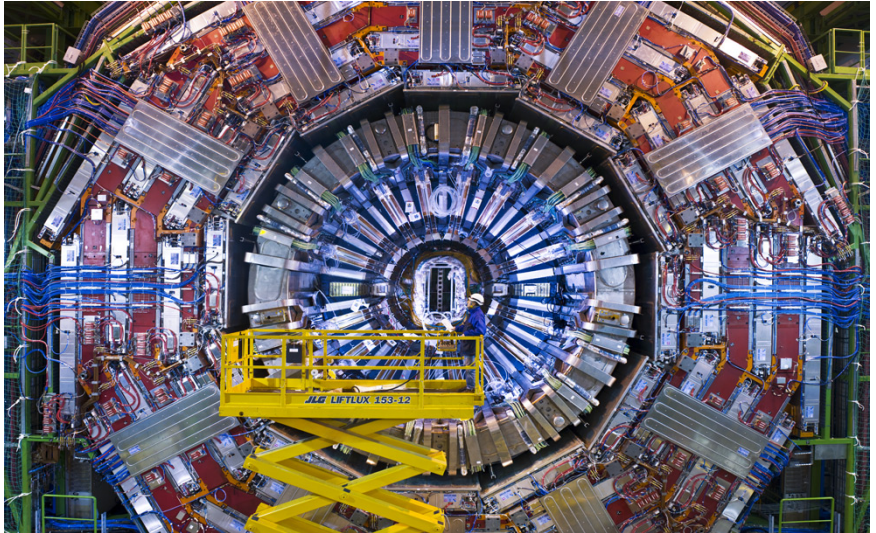
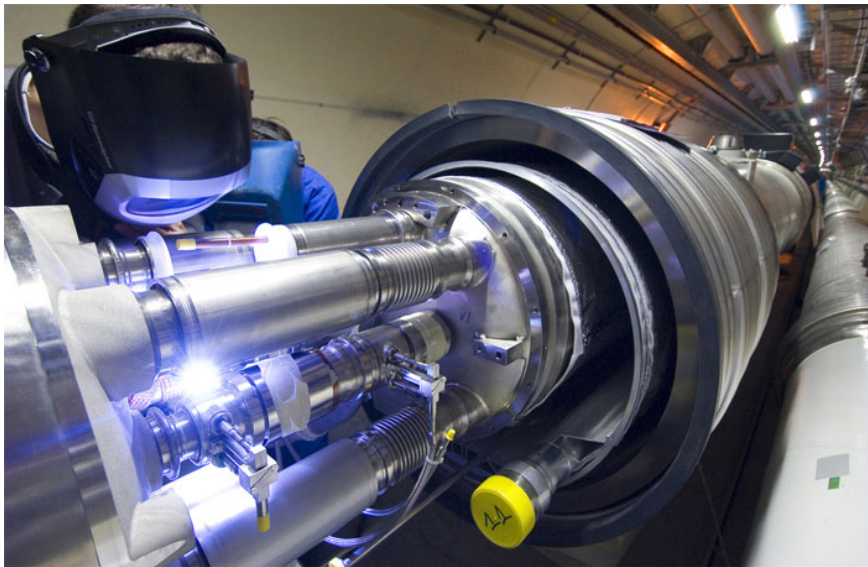


Fig 4.1









1977 Rutherford:

α -részecske + $^{14}\text{N} \Rightarrow$ proton lépett ki

Az atommagok át tudnak egymásba alakulni, a természetben elő nem forduló részecskéket is létre lehet hozni

Megmaradási tételek:

- töltésmegmaradás

- nukleonszám-megmaradás

- perdület

- energia

- paritás (néha sérül)

- leptonszám (könnyű részecskék: elektron, neutrínó, ...)

Rugalmas szórás

Rugalmatlan szórás

Sugárzásos befogás

Fotoreakciók

Stripping

Picking up

Nukleoncserék

Többrészecske-reakciók

Hasadás

Fúzió

Nehézion-reakciók

Az atommag felépítése

Protonok + neutronok
(a tömegük közel azonos)

Tömegszám (A): protonok és neutronok száma

Rendszám (Z): protonok száma (a mag töltése)

Neutronok száma (N): $A - Z$

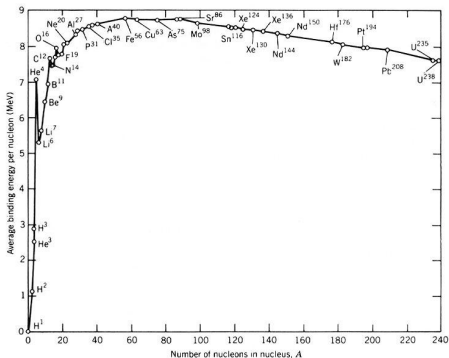
Az atommag tömege minden esetben kisebb, mint a magot alkotó protonok és neutronok tömegének összege \Rightarrow tömeghiány

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_{\text{mag}}$$

$\Delta m \cdot c^2$: ez az energia szabadul fel, amikor a magot az alkotóelemekből összerakjuk \Rightarrow **kötési energia**

Tömeg-energia ekvivalencia:

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

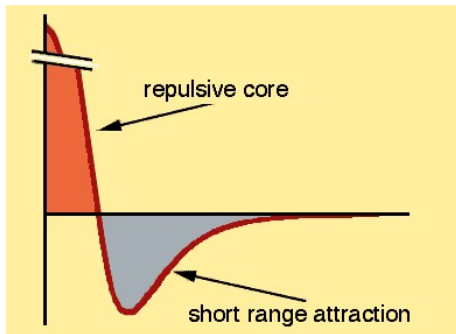


Vonzó kölcsönhatás, amely a nukleonok között hat

Rövid hatótávolságú ($10 \cdot 10^{-15} \text{ m}$)

Nagyon kis távolságra taszítóvá válik

⇒ a magok sűrűsége közel állandó



A cseppmodell

A mag sűrűsége állandó \Rightarrow összenyomhatatlan folyadék: egymással érintkező azonos sugarú gömbök halmaza

Félempirikus formula a kötési energiára

$$E_k = a_t A - a_f A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_{sz} \frac{A - 2Z^2}{A} - \epsilon a_p A^{-3/4}$$

térfogati tag: a kötési energia arányos a nukleonok számával

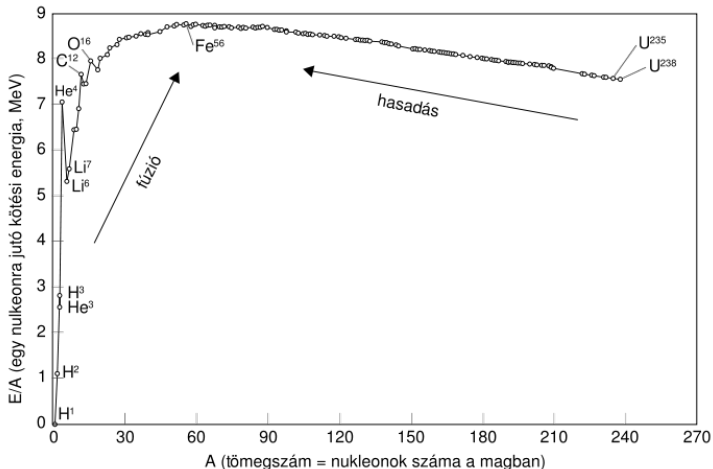
felületi tag: a felületen lévőkre kevesebb társ hat

Coulomb-tag: a protonok elektromos taszítása

szimmetria tag és párkölcsönhatási tag (\Leftarrow héjmodell)

A radioaktivitás energetikai értelmezése

Energiaminimumra való törekvés



A maghasadás felfedezése

Természetes „reaktorok” Gabon, kb 2 billió éve; 100 kW

1917 – Rutherford: $\text{Ni} + \alpha \Rightarrow$ nagy energiájú protonok

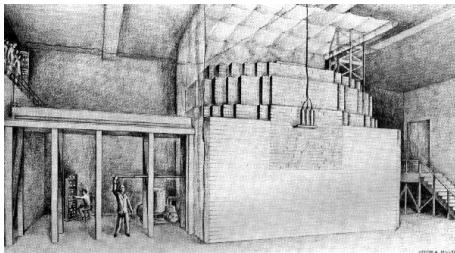
1932 – $\text{Li} + \text{p} \Rightarrow 2 \alpha$

1934 – Maghasadás (**fisszió**) gondolata

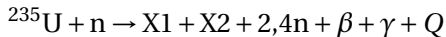
1938 – Hahn, Meitner, Strassman: $\text{n} + \text{U} \Rightarrow$ bárium

1942 – Chicago, Fermi, Szilárd, Wigner: első láncreakció

1945 – Első atombomba



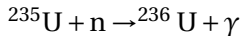
Az urán hasadása



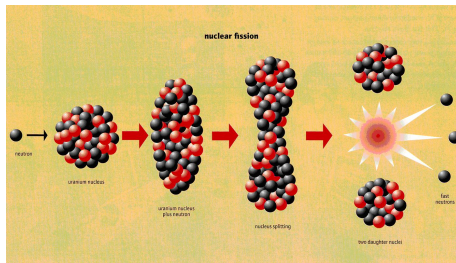
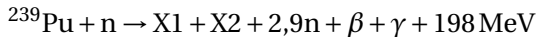
Az elsőként keletkező termékek tovább bomlanak, felezési idejük: 1 s – 10 000 év

$Q \approx 200 \text{ MeV}$ (kinetikus energia $\approx 169 \text{ MeV}$)

Az esetek 20 %-ában



Hasonló reakció:



Láncreakció

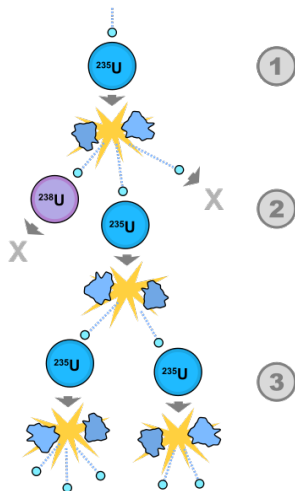
A hasadáskor keletkezett neutronok újabb hasadóképes magokkal találkozhatnak

Hatáskeresztmetszet függ a mag típusától és a neutronok sebességétől

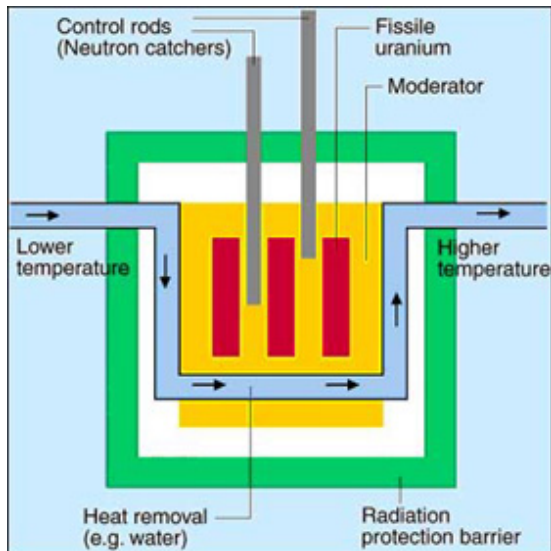
^{235}U esetén a lassú, termikus neutronokra a legnagyobb a befogás valószínűsége

Szubkritikus láncreakció: egyre kevesebb a hasadó atomok száma

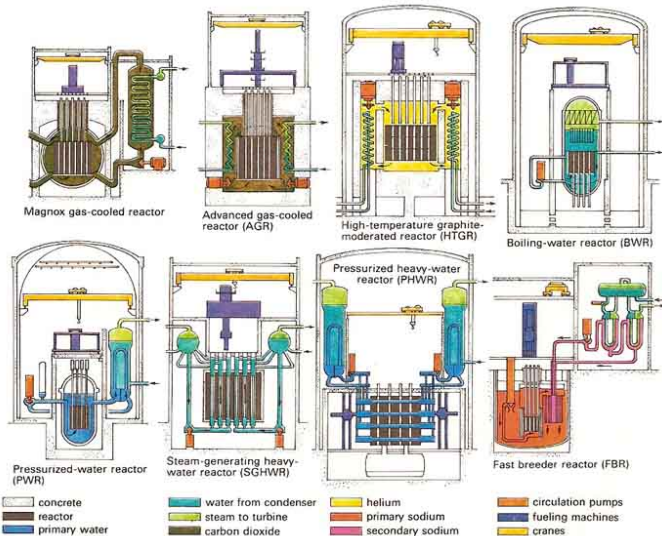
Szuperkritikus láncreakció: egyre több hasadás következik be (exponenciális növekedés)



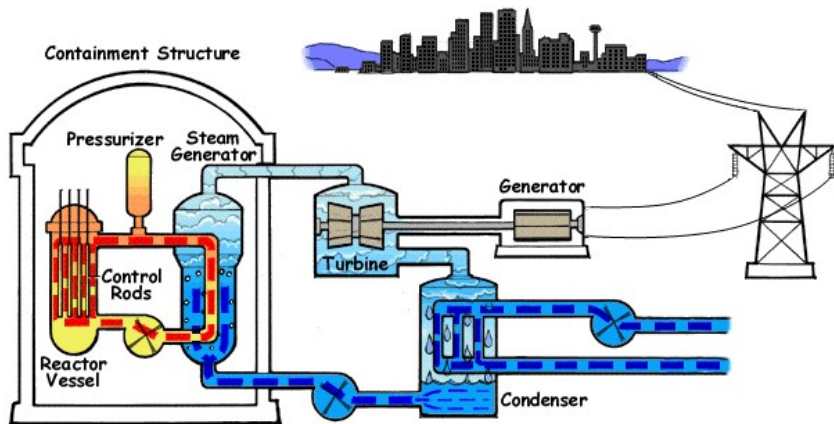
Reaktor elvi vázlata



Reaktortípusok



Nyomottvizes reaktor



Fissziós erőművek problémái

Biztonság kérdése

- megfelelő tervezés
- önszabályozó elrendezések
- megfelelő képzés
- előírások betartása

A természetes uránnak csak 0,72%-a a hasadóképes ^{235}U

Szaporító reaktorok: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Pu}$

Magasabb hatásfok (hőmérséklet növelése)

A hasadási termékek akár 10 000 évig sugároznak

Semlegesítés speciális reaktorokban?

A fúzió

Könnyű magok \rightarrow nehéz mag + energia

Le kell győzni a Coulomb tasztítást

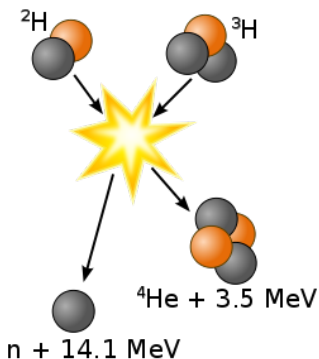
Az ehhez szükséges energia $\approx 10 \text{ keV}$.

Ez 120 000 000 K hőmérsékletnek felel meg.

Alacsonyabb hőmérsékleten:

alagúthatás \Rightarrow bizonyos

valószínűséggel bekövetkezik a reakció.



A csillagokban lejátszódó fúziós folyamatok

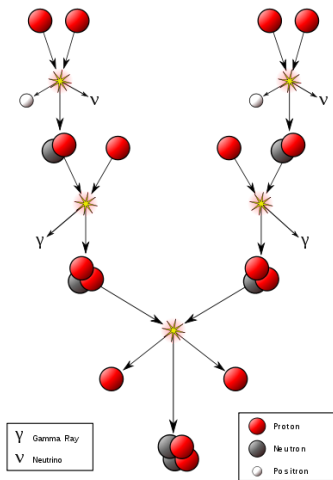
Hidrogén "égése"

Hélium "égése"

...

Nagyobb rendszámú elemek
keletkezése \Rightarrow Mg

Nehezebb elemek létrehozása:
szupernóva robbanás



Müon katalizált fúzió (akár szobahőmérsékleten)

Részecskegyorsító alapú fúziós berendezések

$$U_{\text{gy}} > 10\text{keV}$$

Alkalmazás: gyors neutronok gyártása.

Magas hőmérséklet elérése atombomba robbantásával

⇒ hidrogénbomba

Magas hőmérsékletű plazma létrehozása

mágneses készülékek (tokamak)

lézer

elektromos kisülések

Plazma lokalizálása: mágneses tér

Felfűtés: változó mágneses tér

ITER: 500 MW teljesítmény 1000 s-ig

