

# Magfizika

(Vázlat)

## 1. Az atommaggal kapcsolatos ismeretek kialakulásának történeti áttekintése

- a) A természetes radioaktivitás felfedezése
- b) Mesterséges atommag-átalakítás
  - Proton felfedezése
  - Neutron felfedezése

## 2. Az atommag jellemzői

- Az atommagok rendszáma
- Az atommagok tömegszáma
- Izotópok és szétválasztásuk
- Az atommagok mérete

## 3. Nukleonok közötti kölcsönhatás

- a) Nukleáris kölcsönhatás és jellemzői
- b) Atommag kötési energiája
- c) Fajlagos kötési energia
- d) Cseppmodell

## 4. Az atommagok radioaktív bomlása

- a) Radioaktív sugárzás fajtái
- b) A radioaktív atommagok mennyiségének időbeli változása
  - Felezési idő
  - Aktivitás
  - Bomlásállandó
- c) Radioaktív bomlási sorok

## 5. A radioaktív sugárzás hatásai

- a) Ionizáló hatás
- b) Élettani hatás
- c) Természetes háttérsugárzás

## 6. A radioaktív sugárzás gyakorlati alkalmazása

- a) Orvosi alkalmazás
- b) Sugárzás mérése
- c) Kormeghatározás
- d) Szabályozott és szabályozatlan láncreakció
  - 1.) Atomreaktor — elektromos-energia termelés
  - 2.) Atombomba

## 7. Fizikatörténeti vonatkozások

## Az atommaggal kapcsolatos ismeretek kialakulásának történeti áttekintése

Már a [Rutherford-féle szórás kísérlet](#)ből is kiderült, hogy az atom nem tömör felépítésű. Feltételezték, hogy az atom igen kicsi méretű, pozitív töltésű magból és az elektronok alkotta burokból áll.

A mag méretére öt nagyságrenddel kisebb értéket kaptak a mérések során, mint maga az atom mérete. Így érthetővé válik, hogy a mag pontszerű, pozitív töltésnek felel meg, tehát a kémiai folyamatokban az atommag nem is játszik szerepet.

A tudósok figyelmé a XX. század első évtizedeiben elsősorban az atom külső tartományára, az elektronburok leírására irányult, de ennek ellenére gyarapodtak az atom magjára vonatkozó ismeretek is.

### a) A természetes radioaktivitás felfedezése

Az atom magjával kapcsolatos jelenségek már 1896-tól, a radioaktivitás felfedezésétől kezdve jelen voltak a kutatási témákban.

- 1896-ban [Becquerel](#) (1852-1908), francia fizikus uránsókkal végzett más jellegű kísérletei során figyelt fel arra, hogy az uránsó kristályának közelében hagyott fényképlemezen előhívás után a kristály nyoma láthatóvá vált. A felfedezést tudatos vizsgálatok követték. Ő, majd később [Pierre Curie](#) és [Marie Curie](#), ill. [Rutherford](#) több radioaktív elemet is felfedeztek. Ezek vizsgálata során lassan fény derült a sugárzás természetére.
- A sugárzásokat elektromos vagy mágneses téren átvezetve, azok három különálló részre bomlottak, amelyek erősen különböző tulajdonságokat mutattak.
- Az is kiderült, hogy a sugárzások a magból erednek.
- Mivel a sugárzás spontán módon az atommagból jött, ezért a jelenséget [természetes radioaktivitás](#)nak nevezték el.

## b) Mesterséges atommag-átalakítás

Mesterséges atommag-átalakításról akkor beszélünk, ha nem spontán módon, hanem laboratóriumi körülmények között, egy atom magját egy másik atommaggá alakítjuk át.

Ilyen mesterséges atommag átalakítás során fedezték fel a protont és a neutront.

### A proton felfedezése

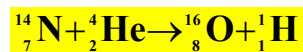
Már Rutherford feltételezte a kísérleti tapasztalatok alapján, hogy léteznie kell egy olyan részecskének, amelynek az elektron töltésével megegyező nagyságú, de pozitív töltése van.

A feltételezett részecske gondolata annyira természetes volt, s egyéb paramétereit is olyan pontosan meg lehetett határozni, hogy létezésében senki sem kételkedett. A proton elnevezést Rutherford adta.

A kísérleti bizonyítással azonban 1925-ig kellett várni.

A kísérleti kimutatás P. Brackett (1897-1974) nevéhez fűződik, aki atommagok ütközéseit vizsgálta.

Sikerült rögzítenie azt az eseményt, amikor a nitrogénmag elnyelte az ütköző részecskét, s protonkibocsátás mellett oxigénmaggá alakult át.



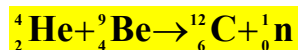
Ezzel vált bizonyítottá a proton létezése.

### A neutron felfedezése

1930-ban különös jelenségeket észleltek a kísérletezők, amikor berilliumot héliummagokkal bombáztak.

A bombázás hatására olyan áthatoló sugarat kaptak, amely vastag ólomlemezen is áthatol, és nem ionozál, vagyis töltéssel nem rendelkezik.

A jelenséget Chadwick (1891-1974) értelmezte 1932-ben, neutronok kilépésével, a következő reakció szerint:



A hélium- és berilliumatom ütközésekor tehát szén és az eddig ismeretlen sugárzást alkotó részecske, neutron keletkezett. Ez a felismerés tekinthető a neutron felfedezésének.

# Az atommag jellemzői

## a) Az atommag rendszáma

A **rendszám** az atommagban lévő protonok számával egyezik meg.

Jele:  $Z$

Az atommagban lévő protonok száma határozza meg az atommag kémiai minőségét.

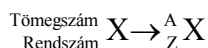
## b) Az atommag tömegszáma

A **tömegszám** az atommagban lévő protonok és neutronok együttes száma.

A protonokat és a neutronokat másképpen nukleonoknak is nevezzük. Tehát a tömegszám az atommagban lévő nukleonok számával egyezik meg.

Jele:  $A$

Rendszám és tömegszám jelölése



## c) Izotópok és szétválasztásuk

**Izotóp**oknak nevezzük az olyan atomokat, amelyek magjában a protonok száma megegyezik, de a neutronok száma különböző.

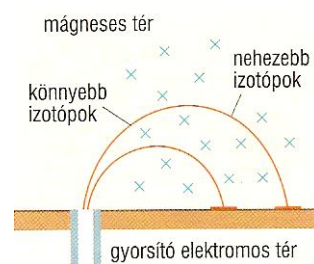
Ebből következik, hogy az izotópok *kémiai minősége megegyezik*, mivel a protonok száma azonos.

Az elektronok számának azonosságából következik, hogy az izotópok *kémiai tulajdonsága, reakcióképessége is azonos*.

A neutronszám különbözőségéből adódóan az izotópatomok tömege más. Ez az oka, hogy *fizikai tulajdonságuk különböző*.

Izotópok szétválasztása történhet:

- **tömegspektroszkóppal.** Ilyenkor valamennyi atomnak töltést adnak, és elektromos és mágneses téren vezetik keresztül. Ilyenkor a különböző tömegű részecskék az erőhatás következtében másképp térülnek el.
- **hőmozgásuk alapján.**
- **ultracentrifugálással.**



#### d) Az atommagok mérete

Számos szórási kísérlet alapján végzett számítás azt mutatta, hogy a gömb alakúnak képzelt atommagok sugara egyenesen arányos a tömegszám köbgyökével. Az arányossági tényező az  $R_0 \approx 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ , ami minden magra jó közelítéssel azonos kísérleti állandó.

$$R = R_0 \cdot \sqrt[3]{A}$$

# Nukleonok közötti kölcsönhatás

## a) Nukleáris kölcsönhatás és jellemzői

Az atommagot összetartó erőhatás természetének teljes megértése az elméleti fizikusok számára a mai napig sem lezárt problémakör.

- A gravitáció nem elég erős, hogy az atommag részecskéit összetartsa, hiszen ott jelentős elektrosztatikus taszítás is fellép a protonok között.
- Az elektromos vonzás nem jöhet szóba, hiszen a neutron semleges részecske, míg az egymáshoz rendkívül közel elhelyezkedő protonok óriási erővel taszítják egymást.

Egy új típusú kölcsönhatás jelenik meg tehát a nukleonok között, amelynek általános jellemzői a következőkben foglalhatók össze:

- a kölcsönhatás elektromos töltéstől független,
- bármely két nukleon között vonzás jellegű,
- erősebb, mint az elektromos, hiszen legyőzi a protonok taszítását (innen származik az elnevezés),
- igen kis hatótávolságú, csak a közvetlenül szomszédos néhány nukleon között hat.

---

*Az atom és a magfizikában használatos energia-mértékegység az elektronvolt (eV):*

*1 eV annak az elektronnak a mozgási energiája, amely álló helyzetből 1 V feszültség hatására gyorsult fel, tehát:*

$$1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

---

## b) Atommag kötési energiája

**Az atommag kötési energiáján** azt az energiát értjük, melynek befektetésével az atommag egymástól távol lévő, szabad nukleonokra bontható fel.

A kötési energia jele:  $E_k$

Az **energiamegmaradás elve szerint** a szabad nukleonok atommaggá való egyesítésekor a kötési energiának megfelelő nagyságú nukleáris energia szabadul fel.

Kísérleti tapasztalat, ha a magot alkotó nukleonok saját tömegét összeadjuk, akkor nagyobb értéket kapunk, mint a mag tömege. Ez a jelenség a **tömegdefektus** (tömeghiány). Képlettel:

$$Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n > m_A$$

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_A$$

Például, amikor egy deutériummag ( ${}^2_1\text{D}$ ) létrejön, ami egy protonból és egy neutronból áll, azaz a nukleonok kölcsönhatásba kerülnek, egy igen nagy energiájú elektromágneses foton távozik el, tehát a folyamat energiafelszabadulással jár. A deutériummag tömege kisebb lesz, mint a proton és a neutron együttes tömege.

A magyarázat Einstein relativitáselméletben megfogalmazott tömeg-energia ekvivalencia segítségével adható meg.

A tömeg és az energia egymással ekvivalens mennyiségek, amelyet a következő összefüggés fejez ki:

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

A kötési energia meghatározása egyben a speciális relativitáselmélet egyik döntő kísérleti bizonyítéka is. A hiányzó tömegnek megfelelő energiát a keletkező és eltávozó fotonok viszik magukkal.

**A tömeghiánynak megfelelő energia a kötési energia.**

$$E_k = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_A] \cdot c^2$$

### c) Fajlagos kötési energia

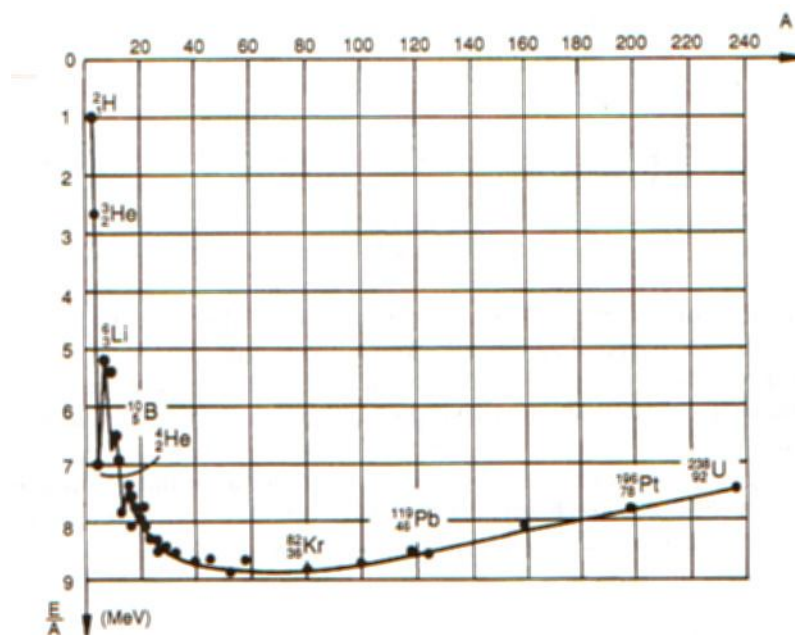
A kötési energiát elosztva a tömegszámmal, megkapjuk az egy nukleonra jutó átlagos kötési energiát, a fajlagos kötési energiát.  $(\frac{E_k}{A})$

Az atommag energiáját az előzőek alapján általában a következő módon jellemezzük.

- Zérus potenciális energiájú állapotnak tekintjük a nukleonok szabad állapotát.

- Ha a nukleonok atommaggá kapcsolódnak össze, akkor a mag együttes energiája a kötési energiának megfelelő értékkel csökken a zérus alá, vagyis negatív.
- Ebből az állapotból természetesen pozitív energiabefektetéssel tudjuk a nukleonokat kiszakítani.
- Ez az energiabefektetés éppen a kötési energiának felel meg, vagyis a kötési energia pozitív érték. A mag létrejötte pozitív energiafelszabadulással jár.

Minél nagyobb az egy nukleonra jutó kötési energia, annál mélyebb az egy nukleonra jutó teljes energia, vagyis annál kötöttebbek a nukleonok. Ezt a szemléletet fejezi ki, ha a fajlagos kötési energiát a nukleonszám függvényében ábrázoljuk.



- A grafikonra berajzolt görbe elején egyértelműen látszik, hogy az egy nukleonra jutó kötési energia erősen nő. Ez azt jelenti, hogy könnyű magok esetén a tömegszám növekedésével egyre erősebben kötött állapotban vannak a nukleonok.
- Az 55-60 tömegszám körül van a fajlagos kötési energia maximuma. Tehát a vas és a vele közel azonos tömegszámú elemek atommagjában vannak a legerősebben kötve a nukleonok, ezeket a legnehezebb alkotórészeikre bontani.
- A 60-as tömegszámnál nehezebb magok esetén a tömegszám növekedésével az egy nukleonra jutó kötési energia csökken. Ebből az következik, hogy ezekben a magokban egyre kevésbé vannak kötve a nukleonok.



## d) Cseppmodell

Az atommag sok szempontból egy folyadékcsepphez hasonlítható. Innen a **cseppmodell** elnevezés.

A folyadékcseppet a *rövid hatótávolságú* kohéziós erő tartja össze. A nukleonokból álló atommagot szintén a *rövid hatótávolságú* nukleáris kötőerő tartja össze.

Az atommaggal kapcsolatos tapasztalatok:

- **a tömegszám növekedésével a mag sűrűsége nem változik.**
- **a tömegszám növekedésével a mag felülete kevésbé növekszik, mint a térfogata.**

E két dolog a magban lévő energiákat jelentősen meghatározza.

- A magban a tömegszám növekedésével nő a fajlagos kötési energia, mert újabb és újabb nukleonok között jelenik meg vonzó kölcsönhatás. Ez az energijárulék a **térfogati energia**, amely az erős kölcsönhatásból származik.
- A kötési energiát csökkenti az, hogy a mag felületén elhelyezkedő nukleonok nincsenek minden oldalról körülveve, ezért csak a belül lévők képesek kölcsönhatásba lépni. Ezek a nukleonok nem vesznek részt teljes intenzitással a kötésben. Ezt az energijárulékot **felületi energiának** nevezzük.
- A tömegszám növekedésével az összes nukleonhoz képest egyre kisebb lesz a felszín, így ennek a járuléknak a jelentősége csökken.

### Most lehet rátérni a fajlagos kötési energia-tömegszám grafikon elemzésére:

- *Kezdetben a tömegszám növekedésével a fajlagos kötési energia nő. Kis tömegszámnál aránylag nagy a felületi energia. A tömegszám növekedésével a térfogat gyorsabban növekszik, mint a felület, ezért a térfogati energia gyorsabban növekszik, mint a felületi energia.*

A fajlagos kötési energia növekedése egészen az 56-os tömegszámig tart. A vas fajlagos kötési energiája a legnagyobb, mérések szerint 8,81 MeV.

- *A tömegszám növekedésével növekszik a mag mérete, és nő a benne található protonok száma is. Az elektromos taszítás ekkor már számottevővé válik, mivel az elektromos kölcsönhatás nagyobb hatótávolságú. Így a nagyobb protonszám miatt növekszik az egyes protonokra ható taszítóerő.*

# Az atommagok radioaktív bomlása

## a) Radioaktív sugárzás fajtái

A radioaktív sugárzás elektromos és mágneses téren átvezetve három sugárnyalábra bomlik.

Az eltérülés mértékéből a sugárzásban részt vevő részecskék töltése és tömege határozható meg.

A radioaktív sugárzás részei:

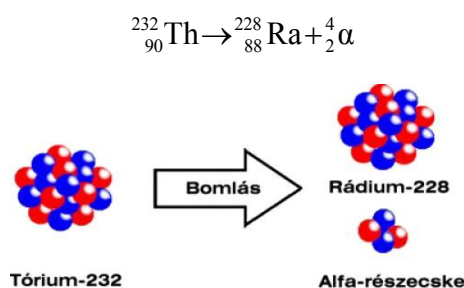
$\alpha$ -sugárzás

$\beta$ -sugárzás

$\gamma$ -sugárzás

### $\alpha$ -sugárzás

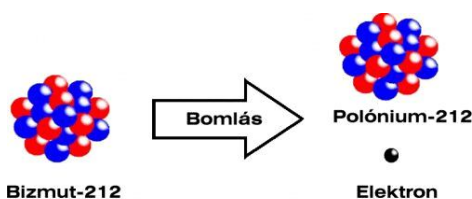
- Az  $\alpha$ -sugárzás kétszeresen ionizált He atommagokból áll.
- Ezek az  $\alpha$  részecskék tehát elég nagy tömegűek, pozitív töltésűek.
- Az  $\alpha$ -részecskét két proton és két neutron alkotja.
- Az  $\alpha$  sugárzás, a részecskék természeténél fogva, nem nagy energiájú, kis áthatoló képességű.
- Az atommagból kilépő  $\alpha$ -részecske energiája 4-7,5 MeV közé esik, amiből sebességére 10 000 - 20 000 km/s közötti érték adódik.
- Ha egy atommag  $\alpha$ -sugárzást bocsát ki, akkor rendszáma kettővel, tömegszáma négyvel csökken.



### Alfa-bomlás

## $\beta$ -sugárzás

- $\beta^-$ -sugárzás kétféle lehet: vagy elektronból áll vagy pozitronból.
- Mindkét esetben az atommagban egy nukleon átalakul.
  - $n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$
  - $p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu$
- $\beta$  - sugárzás során olyan új atommag keletkezik, amelynek tömegszáma változatlan, de rendszáma eggyel nő vagy csökken a kiindulási állapothoz képest.



### **Béta-bomlás**

- $\beta$  - sugárzás azért alakul ki, mert az instabil atommagokban energia szempontjából nem megfelelő a proton - neutron arány.
- $\beta$  - sugárzás áthatóképesége nagyobb, mint az  $\alpha$  - sugárzásé. A részecskék sebessége 10 000 km/s -től közel fénysebességig terjedhet.

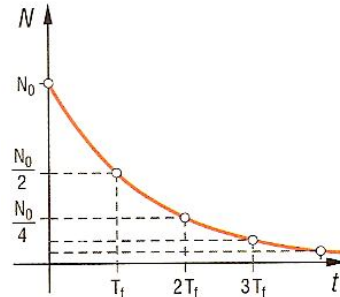
## $\gamma$ -sugárzás

- A  $\gamma$  - sugárzás elektromos és mágneses térben nem térül el.
- A  $\gamma$  - sugárzás nagy energiájú elektromágneses sugárzás.
  - $f > 10^{18} \text{ Hz}$
- A  $\gamma$  - sugárzás során a rendszám és a tömegszám nem változik, tehát nem képződik új elem vagy izotóp.
- A sugárzás kialakulásának valószínű oka, hogy az atommagban a nukleonok gerjesztett állapotban vannak.

## b) A radioaktív atommagok mennyiségének időbeli változása

### Felezési idő

- Azt az időt, amely alatt egy radioaktív anyagban a radioaktív magok száma a kezdeti érték felére csökken, felezési időnek nevezzük. A bomlatlan atommagok száma az idővel exponenciálisan változik.
- A felezési idő jellemző az adott izotópra.
- A különböző radioaktív anyagok felezési ideje a tízmilliárd évtől a másodperc milliárdod részéig terjedhet.
- A szabály csak nagyszámú atommag esetén igaz.



### Legyen

Az atommagok kezdeti száma:  $N_0$   
A felezési idő:  $T$   
A megfigyelés kezdete óta eltelt idő:  $t$   
 $t$  idő múlva az atommagok száma:  $N$

$T$  idő múlva igaz:  $\frac{N_0}{N} = 2$

Tetszőleges idő elteltével:  $\frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T}}$

Atommagok száma:  $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$

### Aktivitás

Minden radioaktív anyag esetén a felezési idő állandó. A bomlás miatt viszont fogy a radioaktív magok száma. Ennek következtében nyilvánvaló, hogy azonos idő alatt kevesebb bomlás következik be. Azt mondjuk, hogy az adott anyag radioaktivitása csökken.

Ennek számszerű kifejezésére használjuk az **aktivitást**.

Egy adott radioaktív anyag aktivitásán az időegység alatt bekövetkezett bomlások számát értjük.

Jele:  $a$

Mértékegysége: bomlás/s=Bq, amelyet Becquerel emlékére becquerelnek neveznek.

$$a = - \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

A negatív előjel arra utal, hogy a magok száma csökken.

Az aktivitás időbeli változására a felezési időhöz hasonló függvény adható meg:

$a = a_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$ , ahol  $a$  a  $t$  időpontban az anyag aktivitása,  $a_0$  a kezdeti aktivitás,  $T$  a felezési idő.

### Bomlásállandó

Az aktivitás ( $a$ ) arányos a meglévő magok számával ( $N$ ), ahol az arányossági tényező a **bomlásállandó** ( $\lambda$ ).

$$a = \lambda \cdot N$$

### **c) Radioaktív bomlási sorok**

Az instabil izotópmag nemcsak  $\alpha$ -átalakulás során eshet szét.

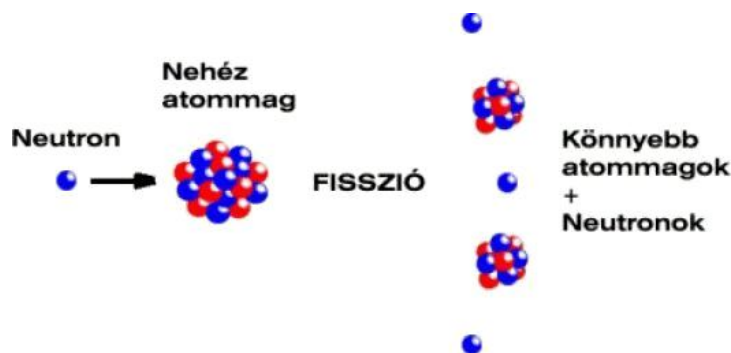
Előfordulhat kis valószínűséggel, hogy a nagy tömegszámú atommag két nála kisebb, de a héliummagnál nagyobb atommagra bomlik szét. Ez az esemény a **hasadás**, amely általában a már ismert radioaktív sugárzásokkal jár együtt.

- Ilyen módon különböző radioaktív izotópokból álló **bomlási sorok** alakulnak ki.
- A bomlási sor elején mindig a legnagyobb tömegszámú izotóp áll, utolsó tagja pedig stabil, nem radioaktív elem.
- A sor tagjai között egyaránt találunk  $\alpha$ -aktív és  $\beta$ -aktív tagokat.
- Négy bomlási sort különböztethetünk meg. Mivel a tömegszám csak  $\alpha$ -bomlással változik az egyes sorozatban található elemek tömegszámai négyvel osztva mindig ugyanazt a maradékot adják.

A sor elnevezése	Kezdő elem	Végso stabil izotóp
$A=4n$ Tórium-sor	${}_{90}^{232}\text{Th}$	${}_{82}^{208}\text{Pb}$
$A=4n+1$ Neptúnium sor	${}_{93}^{237}\text{Np}$	${}_{83}^{209}\text{Bi}$
$A=4n+2$ Urán-sor	${}_{92}^{238}\text{U}$	${}_{82}^{206}\text{Pb}$
$A=4n+3$ Aktínium-sor	${}_{92}^{235}\text{U}$	${}_{82}^{207}\text{Pb}$

A viszonylag nagy felezési idők miatt ( $10^6 - 10^9$  év) *spontán hasadás* ritkán következik be a természetben.

Valamilyen külső gerjesztés azonban jelentősen megnövelheti a bekövetkezés valószínűségét. Ilyen külső gerjesztés lehet például egy lassú neutron befogása.



Szabad neutronokat viszont a nagy tömegszámú elemek maguk szolgáltatnak bomlásuk során. Ennek okát könnyű belátni, hiszen tudjuk, hogy a neutronok száma ezen elemeknél egyre nagyobb a protonokéhoz képest.

Hasadás közben azonban kisebb tömegszámú elemek keletkeznek, amelyekben fölösleges neutronok lesznek, és ezek eltávoznak az újonnan keletkezett magokból.

[Szilárd Leó](#)tól (1934) származik az ötlet, hogy hasznosítani kellene ezeket a neutronokat újabb hasadások indukálásához.

[Hahn](#) (1879-1968) és [Strassmann](#) (1902-1981) mutattak ki először olyan hasadási folyamatot kísérletileg 1938-ban, amikor egy nagy tömegszámú elem, az urán neutronokkal való bombázásakor két közepes tömegszámú elem és két-három szabad neutron keletkezett. Ezek megjelenése adja a lehetőséget, hogy újabb hasadást okozva, a hasadások láncszerűen kövessék egymást, és a folyamat önmagát tartsa fenn.

A láncreakciót először 1942-ben [Fermi](#) (1901-1954) csoportjának sikerült a gyakorlatban megvalósítani.

## A radioaktív sugárzás hatásai

### a) Ionizáló hatás

A radioaktív sugárzások biológiai hatása azon alapszik, hogy a sugárzás részecskéi ( $\alpha$ -,  $\beta$ -részecskék és  $\gamma$ -fotonok) az élő anyag sejtjeiben

- ionokat,
- szabad gyököket hoznak létre,
- élettanilag fontos molekulák szerkezetét megváltoztatják.

### b) Élettani hatás

*A sugárzás élettani hatása függ:*

- az egységnyi tömeg által elnyelt sugárzás energiájától
- a sugárzás fajtájától.

*A sugárzás hatásának mennyiségi jellemzésére két mennyiséget használnak:*

- **Elnyelt dózis ( $D_e$ )**

Az élő szervezet által elnyelt sugárzási energiát osztjuk az anyag tömegével.

$$D_e = \frac{E}{m}$$

$$[D_e] = \frac{J}{kg} = Gy \quad (\text{grey})$$

- **Dózisegyenérték (H)**

- A sugárzás biológiai hatása függ a sugárzás minőségétől.
- Ezt úgy vesszük figyelembe, hogy az elnyelt dózist megszorozzuk a sugárzás minőségére jellemző  $Q$  minőségi tényezővel.

$$H = Q \cdot D_e$$

$$[H] = Sv \text{ (sievert)}$$

Minőségi tényező értéke különböző sugárzások esetén:

Sugárzás fajtája	$Q$ (minőségi tényező)
Röntgen-, gamma- és béta-sugárzás	1
Alfa-sugárzás	20
Neutron-sugárzás	2-3
Gyors neutronok, protonok	10

### A testet ért sugárzás hatása:

Ha  $H < 250$  mSv, akkor a sugárzásnak nincs kimutatható élettani hatása.

Ha  $H > 6\,000$  mSv, akkor a dózis halálos.

### **c) Természetes háttérsugárzás**

Környezetünkben mindenhol megtalálható a radioaktív sugárzás

- levegőben,
- vízben,
- talajban,
- élettelen anyagokban,
- élő anyagokban,
- saját testünkben.

Ezt nevezzük **természetes háttérsugárzás**nak.

A természetes háttérsugárzás

- egy része **földi eredetű**. Ez a kőzetekben található radioaktív elemekből származik.
- másik része **kozmosz eredetű**. Ez a légkörben keletkező sugárzó izotópoktól származik.



# A radioaktív sugárzás gyakorlati alkalmazása

## a) Orvosi alkalmazás

Napjainkban gyógyászati célra számos izotópot állítanak elő. Az előállítás leggyakoribb módja **neutron besugárzással** történik.

A semleges neutron könnyen bejuthat az atommagba, azokat gyakran radioaktív bomlóvá teszi. Ez a folyamat a **neutronaktiválás**.

Először Hevesy György állított elő neutron besugárzással radioaktív nyomjelzésre alkalmas izotópokat. Munkásságáért 1943-ban kapott Nobel-díjat.

A neutronaktiválást kisteljesítményű atomreaktorokban végzik. Ilyen működik, és erre a célra is használják a KFKI-ban lévő reaktort, és a BME tanreaktorát.

*A radioaktív izotópokat a gyógyászatban használják:*

- nyomjelzésre,
- terápiás kezelésre.

### Nyomjelzés

A beteg szervezetébe kis mennyiségben sugárzó radioaktív izotópot juttatnak, és érzékeny műszerrel kísérik nyomon annak útját a szervezetben. Így történik a pajzsmirigy vizsgálata.

### Terápiás kezelés

A burjánzó sejtek a radioaktív sugárzással szemben érzékenyek. Ezért az előre meghatározott területre, meghatározott dózissal történik a besugárzás.

## b) Sugárzás mérése

A radioaktív sugárzás ionizáló hatása alapján lehet a sugárdózist a legkönnyebben mérni. Erre több lehetőség is van.

### 1.) **Ködkamra** segítségével

Egy ködkamrában adiabatikus tágulás következtében telített gőzt hoznak létre. Ha ebbe a ködkamrába radioaktív sugárzás jut, akkor a

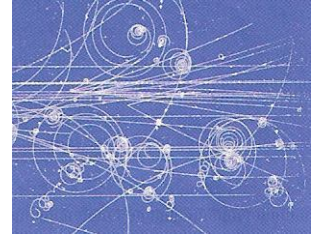


sugárzás hatására a molekulák egy része ionizálódik. A sugárzás pályáján létrejövő *kondenzációs magokra* a telített gőz kicsapódik, és így rövid időre kirajzolódik a sugárzás nyomvonala.

Az első ködkamrát Wilson fejlesztette ki, amiért 1950-ben Nobel-díjat kapott.

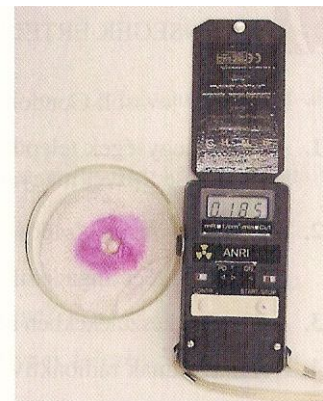
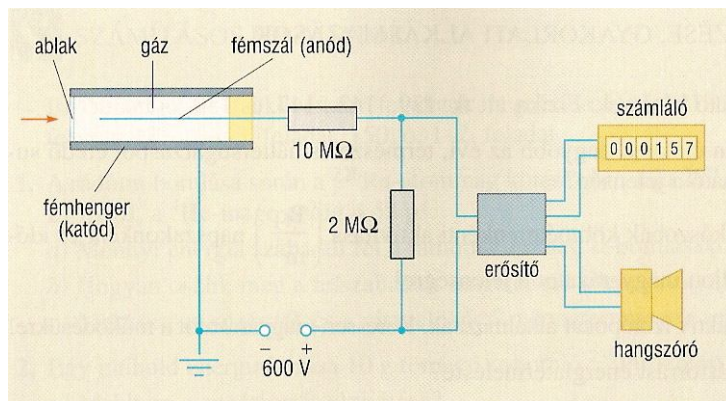
## 2.) **Buborékkamra** segítségével

Hasonlóan működik a buborékkamra, mint a ködkamra csak telített gőz helyett túlhevített folyadék van a tartályban. Az ionizáló radioaktív sugárzás apró gőzbuborékokat hoz létre, ami jelzi a sugárzás pályáját.



## 3.) **Geiger-Müller számláló**

Ez az eszköz elektronikus úton detektálja a radioaktív sugárzást. A készülék csövében csökkentett nyomású gáz van. Az ionizáló radioaktív sugárzás hatására nő az ionok száma, változik a vezetőképesség. Ezt a változást alakítja elektromos jellé a készülék.



## c) **Kormeghatározás**

Az élő szervezetekben 12-es és 14-es ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) tömegszámú szénizotópok aránya állandó. Az elhalt szervezetekben ez az arány változik, mert a  $^{14}\text{C}$  izotóp gyorsabban bomlik. Az arány változásából a lelet kora határozható meg.

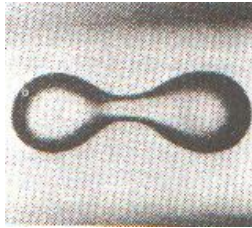
## d) **Szabályozott és szabályozatlan láncreakció**

Láncreakció során atommaghasadások sorozata játszódik le.

*A maghasadás az energiaminimumra való törekvés következménye.* Egy instabil atommag úgy próbál stabilizálódni, hogy két kisebb, közel azonos

tömegszámú atommagra hasad szét. Erre következtethetünk a fajlagos kötési energia-tömegszám grafikonból is.

- A természetben a spontán hasadás valószínűsége kicsi.
- Ahhoz, hogy bekövetkezzen, az atommagot magasabb energiájú állapotba kell hozni.
- A folyamat neve: **aktiválás**.
- Az atommag aktiválására legalkalmasabb egy **lassú neutron**.
- Leggyakrabban az urán 235-ös izotópját ( ${}^{235}_{92}\text{U}$ ) használják láncreakciók létrehozásához.
- Az atommag befog egy neutron, és 236-os tömegszámú izotóppá alakul.
- **A neutron befogása miatt a mag rezgésbe jön. Mozgása a cseppmodell segítségével értelmezhető a legjobban.**

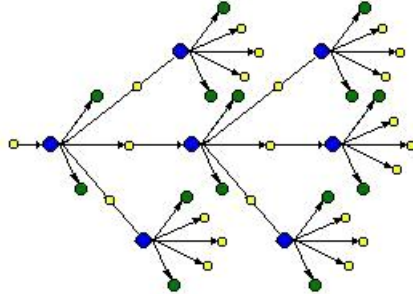


- **A mag két szélső részén megszűnik a magerő, az elektrosztatikus taszítóerő két részre szakítja a magot.**
- **A láncreakció beindulásakor a következő folyamat játszódik le:**



- \* A bárium és a kripton izotópban a proton és a neutron arány nagyon kedvezőtlen.
- \* Mindkét mag  $\beta^-$  bomlással stabilizálóik.
- \* *Az urán maghasadása során keletkező neutronok közül, ha legalább egy lelassul, az újabb urán atommaggal tud magreakcióba lépni.*

- \* Így egyre több neutron keletkezik, ami egyre több magreakciót indít el.
- \* Beindul a láncreakció. A felszabaduló energia az atommagok mozgási energiáját növeli.



### A láncreakció lehet:

#### 1. Szabályozott

Ez valósul meg az atomreaktor működésekor.

#### 2. Szabályozatlan

Ilyen folyamat jön létre az atombomba működésekor.

### 1.) Atomreaktor (nyomottvizes) — elektromos-energia termelés

- A láncreakció a reaktorokban ellenőrzött formában zajlik.
- A felszabaduló energiát elektromos áram előállítására használják.
- **A szabályozott láncreakció megvalósításának főbb feladatai:**
  - \* A megfelelő fűtőanyag előállítása
    - A természetben található uránban a 235-ös izotóp aránya nagyon kicsi: 0,7%.
    - Ezért a maghasadás valószínűsége csekély.
    - Különböző eljárásokkal növelik az uránban a 235-ös izotóp arányát. Az iparilag alkalmazott eljárás neve: **dúsítás**.
    - Így elérhető, hogy az uránban a 235-ös izotóp aránya 2-4% legyen.

### \* Lassítás

- Az urán maghasadásakor keletkező neutronokat le kell lassítani, mert csak ezeket képesek befogni az atommagok.
- A gyors neutronok lelassítására olyan könnyű atommagokat alkalmaznak, amelyek nem fogják be a neutronokat. Azért kell könnyű atommag, mert két közel azonos tömegű részecske ütközésekor veszíti el a gyorsabb a legtöbb energiát.
- A neutron lassítására használt anyag a **moderátor**.
- Lassító közegként vizet vagy grafitot szoktak használni.

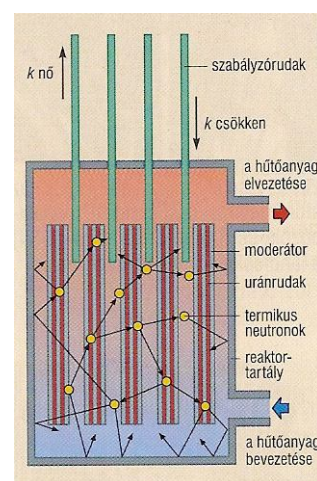
### \* Reflektálás

- A reaktorban az aktív zóna mérete véges.
- Ezért a neutronok egy része elszökne, mielőtt lelassul.
- Csökkenteni lehet ennek mértékét, ha a reaktor belső felületét olyan anyaggal vonják be, amelyik visszaveri a neutronokat.

### \* Szabályozás

- Ha valamennyi neutron a reakcióterben maradna, akkor egyre több hasadás játszódna le időegység alatt.
- A felszabaduló energia a reaktor robbanásához vezetne. Ennek elkerülése végett szabályozni kell a reaktortérben lévő neutronoknak a számát.
- A szabályozásnak két módja van:

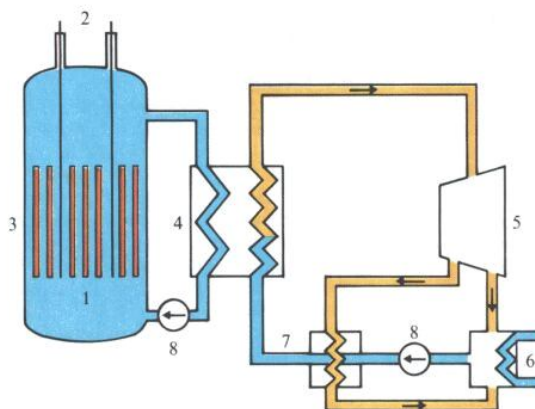
- A keringő hűtővízbe bört tesznek, amely erősen neutron elnyelő tulajdonságú.
- A finom szabályozást mozgatható kadmium tartalmú rudakkal végzik. Ezek szintén elnyelik a neutronot.



### \* Hűtés

- A reaktort természetesen hűteni is kell. Erre vizet használnak. A víz a moderátor szerepét is betölti.
- A nyomottvízes reaktornál három egymástól független vízkör van.

- *Primerkör:* Zárt kör. Ebből víz nem kerül ki. Az aktív zónában felszabaduló energiát a víz felveszi. Ezt a forró vizet vezetik a **hőcserélőbe** (4). Ebben a vízkörben a nyomás óriási, ezzel akadályozzák meg azt, hogy forrásba jöjjön.
- *Szekunder kör:* Zárt kör. Az aktív zónából elvezetett nagy nyomású forró víz a hőcserélőben (4) átadja energiáját a szekunder körben keringő kisebb, normál nyomású víznek. Így az gőzzé alakul. Ezt a gőzt vezetik a turbinákra (5). A forró gőz energiájának egy része a turbinák forgási energiáját növeli. Ennek következtében a hőmérséklete csökken.
- *Tercier kör:* Nyitott kör (pl. a Duna vize). A turbináról lekerülő fáradt gőzt a kondenzátorban (6) lecsapatják. A turbináról elvezetett gőz egy részét az előmelegítőbe vezetik (7), ahol előmelegíti a hőcserélőbe belépő vizet. Innen kerül a kondenzátorba. A gőz másik része közvetlenül a kondenzátorba kerül.



## 2.) Atombomba

Az atombombák működés szempontjából kétfélek lehetnek:

- **Fíziós bomba:** a magenergia felszabadulása nagy tömegszámú, instabil atommagok bomlásából származik.
- **Fúziós bomba:** a magenergia a könnyű atommagok egyesülése során keletkezik.

## Fissziós bomba

Az atombomba energiáját urán vagy plutónium hasadása szolgáltatja.

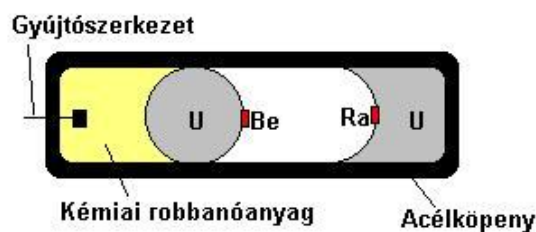
Egy neutron által előidézett hasadás során átlagosan 2-3 neutron szabadul fel, és ezek a neutronok újabb hasadásokat idézhetnek elő.

Annak a feltétele, hogy egy láncreakció önállóan fennmaradjon az, hogy a reakcióban keltett neutronok átlagosan legalább egy újabb hasadást idézzenek elő.

A hasadás során felszabaduló neutronok

- újabb hasadást kelthetnek,
- elnyelődhetnek a bomba anyagában
- kiléphetnek a felületen.

Ez a három folyamat meghatározza egy kritikus tömeget, mely alatt a kilépő és elnyelődő neutronok miatt nem tud önfenntartó láncreakció kialakulni. Mekkora ez a kritikus tömeg? Az  $^{235}\text{U}$  kritikus tömege körülbelül 7 kg.



A rajz az uránbomba vázlatát mutatja.

- A bombában a hasadóanyagot úgy kell elrendezni, hogy az szubkritikus maradjon, ezért két vagy több részre osztják.
- A láncreakció elindításához a hasadóanyagot kémiai robbanótöltettel összepréselik, így kis térfogatban szuperkritikus tömeg egyesül.
- Az összepréselés során a berillium olyan közel kerül a rádiumhoz, hogy együtt neutronforrásként üzemelnek. A kibocsátott neutronok hatására megindul a láncreakció.

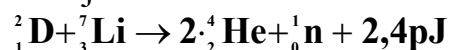
Bár mind az atombomba, mind az atomreaktor hasadási láncreakción alapul, hangsúlyozni kell, hogy működésük között több alapvető különbség is van.

- Az egyik lényegi különbség, hogy az atomreaktorban a keletkezett gyorsneutronokat le kell lassítani ahhoz, hogy a láncreakció létrejöhesse, míg az atombombában a gyorsneutronok hozzák létre a láncreakciót.
- Ennek az a következménye, hogy az atomreaktorban a folyamatok sohasem mehetnek végbe olyan sebességgel, mint az atombombában. Azaz egy atomreaktor sohasem válhat atombombává.
- A bombában a láncreakció a másodperc milliomod része alatt végbemegy, a hőmérséklet több millió fokra emelkedik. Ezzel szemben, az atomerőműben még a legsúlyosabb esetben sem emelkedik a hőmérséklet egy-kétezer fok fölé, s ekkor a teljes mértékű neutronelnyelődés miatt a további láncreakció leáll.

A csernobili atomreaktor robbanása is inkább egy túlfűtött kazán robbanásához hasonlítható, semmint egy atombombáéhoz. A csernobili robbanáskor kialakult legnagyobb hőmérséklet - ami a grafit meggyulladás miatt alakult ki 2500 °C volt.

### Fúziós bomba

- A magenergia felszabadulásának másik módja: a könnyű atommagok fúziója.
- Az erre vonatkozó elméletet TELLER EDE dolgozta ki.
- Az atommagok fúziója magas hőmérsékleten, plazmaállapotban valósítható meg.
- A fúziós bombában ezt a magas hőmérsékletet hasadó bomba felrobbanásával érik el.
- A fúziós bomba egy lehetséges töltete: lítium-deutérium. Ilyenkor a következő magreakció játszódhat le:





## Fizikatörténeti vonatkozások

### **RUTHERFORD, SIR ERNEST (1871-1937)**

Angol fizikus



Az egyetemes fizikatörténet egyik legnagyobb kísérleti fizikusa. Munkássága meghatározó az atomszerkezet megismerésében.

A radioaktivitás jelenségét kutatva 1897-ben felfedezte az alfa- és a béta-sugárzást, majd 1908-ban kimutatta, hogy az alfa-részecskék valójában héliumatommagok.

1911-ben alkotta meg atommagból és a körülötte keringő elektronokból álló atommodelljét. Létrehozta az első mesterséges magátalakulást.

1908-ban Nobel-díjat kapott a kémia területén elért munkásságáért.

### **CURIE, MARIE (MARIA SKŁODOWSKA) 1867 – 1934**

Lengyel származású francia fizikus



A radioaktivitás kutatásában elért eredményei tették világhírűvé.

A radioaktivitás (a radioaktivitás szót a Curie házaspár használta először) kutatásának továbbvitele szempontjából döntő jelentőségű lépés volt a kibocsátott sugárzás intenzitásának mérésére szolgáló módszer kidolgozása. Marie

Curie számára férje és annak testvére Jacques Curie konstruált egy műszert, amelynek segítségével lehetővé vált a sugárzás ionizációjának hatására fellépő kis áramerősségek mérése.

1897-ben Marie Curie felfedezte, hogy a tórium is radioaktív.

1898 nyarán férjével felfedezték a polóniumot, majd néhány hónappal később a rádiumot.

Míg Pierre Curié elsősorban az újfajta sugárzások fizikai tanulmányozásával foglalkozott, Marie tiszta, fémes állapotú rádiumot igyekezett előállítani.

1911-ben a vegytiszta rádium előállításáért megkapta a kémiai Nobel-díjat. Az I. világháború alatt leányával, Irene-nel együtt a röntgengráfia alkalmazásainak fejlesztésén dolgozott.

A hírnevének csúcán álló Marie Curie-t 1922-ben az Orvostudományi Akadémia tagjai közé választották, s ettől kezdve elsősorban a radioaktív anyagok kémiájának és orvosi alkalmazásának a kutatásával foglalkozott.

1934-ben belehalt a sugárzás okozta fehérvérűségbe.

## **SZILÁRD LEÓ (1898-1964)**

**Magyar származású amerikai fizikus**



1919-ben elhagyta Magyarországot.

1927 decemberében Einsteinnel közösen megtette mozgóalkatrész nélküli hűtőszekrényre szabadalmi bejelentését.

**1934-ben kigondolta a nukleáris láncreakció elvét és bevezette a kritikus tömeg fogalmát.**

1938-ban Angliából az USA-ba költözött. Részt vett az amerikai atombombakutatásban. 1940-ben leírta az inhomogén elrendezésű urán-grafit rendszerű reaktort, de a háború alatt megtiltotta a közlését. 1943-ban amerikai állampolgárságot kapott. 1944-ben javasolja az atomenergia nemzetközi ellenőrzését.

## **WIGNER JENŐ (1902-1995)**

**Magyar fizikus**



Meghatározó szerepe volt az atombomba kifejlesztésében. Egy évvel a neutron felfedezése után, 1933-ban írt tanulmányában megmutatta, hogy a neutronok és a protonok között ható erőnek nagyon rövid hatótávolságúnak kell lennie.

Kimutatta azt is, hogy a magerők függetlenek az elektromos töltéstől. Munkája eredményességét számos megtisztelő kitüntetés fémjelzi. Kutatásai az atomhøj kvantummechanikájára, az atommagok, az elemi részek elméletére és a modern fizika más központi kérdéseire irányultak.

1963-ban Nobel-díjat kapott az atommagok és az elemi részek elmélete terén elért eredményeiért.

## **TELLER EDE (1908-2003)**

**Magyar fizikus**



1926-ban elhagyta az országot. A fizikai doktorátusát 1930-ban a Lipcsei Egyetemen szerezte meg.

Két évet töltött a Göttingeni Egyetemen és 1934-ben elhagyta Németországot a Zsidó Kimenekítő Tanács segítségével. Rövid angliai tartózkodás után az Egyesült Államokba emigrált.

1938-ban a csillagok energiatermelését Gamow és Teller közösen a magfúzióval, vagyis a termonukleáris reakcióval magyarázták.

1942-ben Teller belépett a Manhattan-tervbe. Kutatótársaival együtt ő is ellenezte az atombomba ledobását.

Ennek ellenére a fúziós bomba elmélete nagyon érdekelte. Gamow-val együtt ő dolgozta ki a magfúzió elméletét. Teller Edét tekinti a fizikatörténet a hidrogénbomba "atyjának". 1952. november 1-jén volt az első kísérleti robbantás. Sokat foglalkozott az atomreaktorokkal is.

## **FERMI, ENRICO (1901-1954)**

**Olasz származású amerikai fizikus**



A középiskolát Rómában végezte, majd Pisába járt reáliskolába. 1924-től matematikát és fizikát adott elő a firenzei egyetemen.

Az 1930-as években írta a radioaktív béta-bomlásról szóló híres tanulmányát.

1934-ben felfedezték a mesterséges radioaktivitást. Ekkor Fermi arra gondolt, hogy a neutronokat lehetne felhasználni az atommag átalakítására. Közben foglalkozott a neutronok lassításának lehetőségével is. (Fermi-effektus).

Nobel-díját követően (1938) családjával kivándorolt Amerikába. A Columbia Egyetem fizikaprofesszora lett.

Vezetésével 1942. december 2-án a világ első atomreaktorában beindult a láncreakció, az uránmagok hasadása. 1944-ben Los Alamosban az atombomba kifejlesztésén dolgozott.