

# Fizikatörténet

## A magfizika története

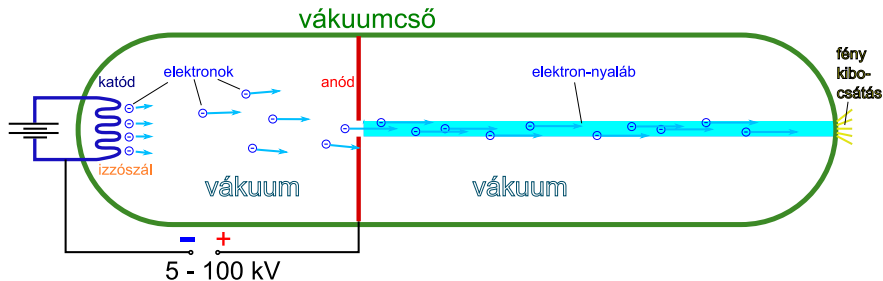
Horváth András  
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

**v 1.0**

## Az elektron felfedezése

### AFKT 4.6.2

A 19. szd. végének egyik újszerű eszköze: **a vákuumcső**. (már említettük)



Lényeg: vákuumban két elektróda közé 1 kV–100 kV kapcsolva a katódból (negatív pólus) nyaláb indul el: **katódsugárzás**.

## Az elektron felfedezése

### Mi is a katódsugárzás? Kezdeti mérések:

- mindig a negatív pólusból (katód) lép ki
- magától egyenes vonalban terjed
- sok anyagot fénylésre készítet (fluoreszcencia)
- a nyaláb mágneses térrel eltéríthető (elektromossal eleinte nem sikerült)
- a katódból merőlegesen lép ki
- bármilyen anyagú katód esetén azonos
- kémiai reakciókat vált ki (hasonlóan az ultraibolya sugarakhoz)





## Az elektron felfedezése

**Joseph Thomson:** a katódsugárzás ...

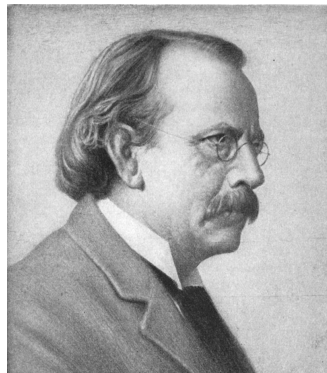
- elektromos térben is eltéríthető
- energiája és lendülete van
- ahova becsapódik, ott negatív töltés halmozódik fel
- a szállított energia, töltés, lendület számszerűen is magyarázható a részecske-elmélettel

⇒ **A katódsugárzás kis, negatív töltésű részecskékből áll: elektronok.**

Folytatás:

- az elektron minden atomból kiszakítható: ion, ionizáció fogalma
- Robert Millikan megméri az elektron töltését és tömegét

⇒ **1910 után biztos lett, hogy a katódsugárzás elektronokból áll.**



Joseph John Thomson  
(1856–1940)





## A röntgensugárzás alkalmazásai

Bár az X-sugarak nem terelhetők lencsékkel, árnyékvetítés elven csakhamar orvosi alkalmazások születtek.



Első orvosi röntgen-kép  
Frau Röntgen kézfeje, 1895



javított minőség  
1896



## 1897: Műtét közbeni röntgen-leképezés

# A periódusos rendszer

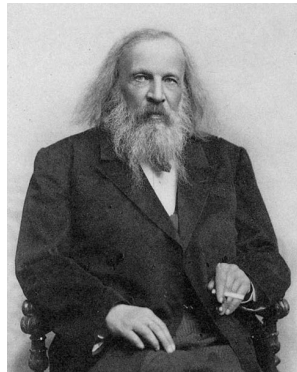
## AFKT 4.6.3

A kémia a 17. századtól kezdve egyre több elemet fedezett fel.

A tulajdonságaik mutattak bizonyos szabályosságot.

Sok próbálkozás után a nagy áttörés: Dimitrij Mengyelejev, 1869.

Reihen	Gruppe I. — R'O	Gruppe II. — R'O	Gruppe III. — R'O <sup>3</sup>	Gruppe IV. RH <sup>4</sup> R'O <sup>4</sup>	Gruppe V. RH <sup>5</sup> R'O <sup>5</sup>	Gruppe VI. RH <sup>6</sup> R'O <sup>6</sup>	Gruppe VII. RH R'O <sup>7</sup>	Gruppe VIII. — R'O <sup>4</sup>
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Su=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Co=140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	— — — —



- Mutatja, hogy van valamilyen szabályosság az atomok világában.
- A szabályosság alapján fel lehetett ismerni, hogy vannak „felfedezetlen elemek”. Ezek nagy részét később meg is találják.
- A kémia, vegyipar, stb. fontos eszköze.
- Később a kvantummechanika és a magfizika próbaköve: Visszacapjuk-e belőlük az elemek tulajdonságait?

## A radioaktivitás felfedezése

### AFKT 5.4.3

Eredeti cél: fluoreszcencia tanulmányozása.

(Fluoreszcencia: ha az anyag más hullámhosszon sugároz, mint amit elnyel.)

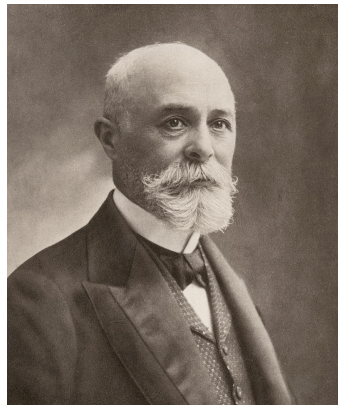
Van-e kapcsolat a röntgen-sugárzás és a fluoreszcencia közt?

Több kísérlet és tévút után, 1896-ban:

**Az urán tartalmú kőzetekből nagy áthatolóképeségű sugárzás jön, mely megfeketíti a fotelemezt.**

Ez a sugárzás:

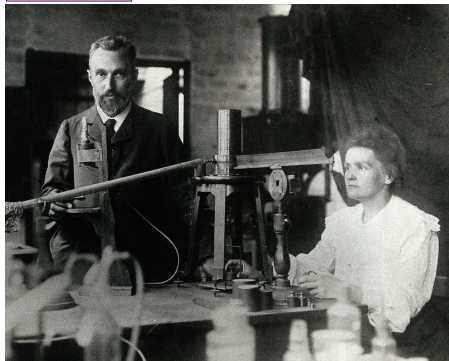
- nem függ a kőzet előzetes besugárzásától
- nem függ a hőmérséklettől
- hasonló képeket lehet vele készíteni, mint az X-sugarakkal



Henri Becquerel  
(1852–1908)

## A polónium és a rádium felfedezése: a Curie házaspár

AFKT 5.4.4



Marie Curie (1867–1934)

Pierre Curie (1859–1906)

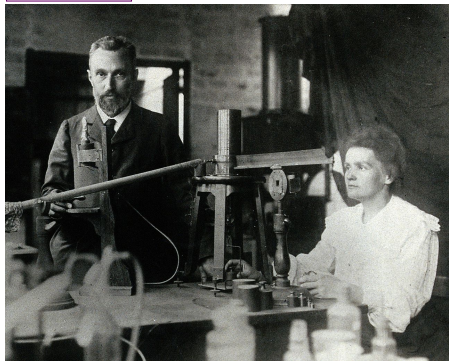
Uránérc kémiai elemzése: **Nem az urán a legerősebb sugárforrás!**

1898: polónium (Po) és rádium (Ra) felfedezése.



# A polónium és a rádium felfedezése: a Curie házaspár

AFKT 5.4.4



Marie Curie (1867–1934)

Pierre Curie (1859–1906)

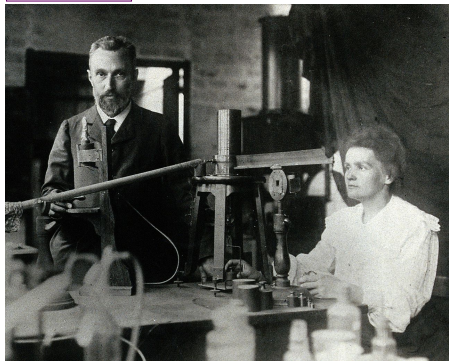
Uránérc kémiai elemzése: **Nem az urán a legerősebb sugárforrás!**

1898: polónium (Po) és rádium (Ra) felfedezése.

- Sok tonna uránércből nyernek ki 0,5 g Ra-t.
- Ra: sugárforrásként (röntgengép helyett) használható.
- Egységnyi tömegű Ra vagy Po milliószor annyi energiát képes leadni, mint ugyanennyi kémiai „üzemanyag”.

# A polónium és a rádium felfedezése: a Curie házaspár

AFKT 5.4.4



Marie Curie (1867–1934)  
Pierre Curie (1859–1906)

Uránérc kémiai elemzése: **Nem az urán a legerősebb sugárforrás!**

1898: polónium (Po) és rádium (Ra) felfedezése.

- Sok tonna uránércből nyernek ki 0,5 g Ra-t.
- Ra: sugárforrásként (röntgengép helyett) használható.
- Egységnyi tömegű Ra vagy Po milliószor annyi energiát képes leadni, mint ugyanennyi kémiai „üzemanyag”.

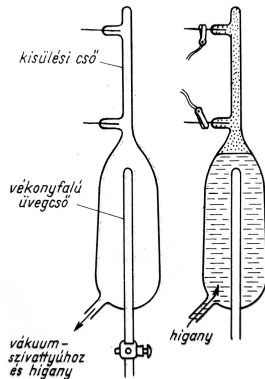
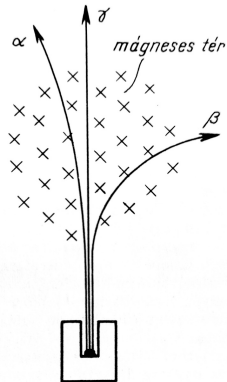
Honnan ez a sok energia? Sérül az energiamegmaradás?

A radioaktivitás nem befolyásolható kémiai, hőmérsékleti változásokkal. ⇒ **A radioaktivitás forrása az atom belsejében van!**

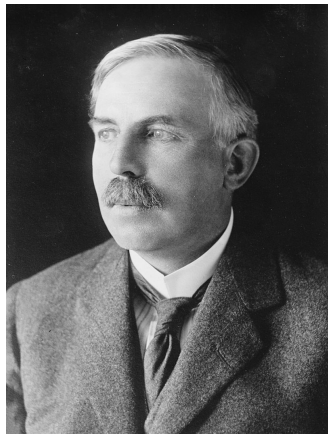
## A természetes radioaktivitás formái

Rutherford és társai: **a kőzetekből jövő (természetes) radioaktivitás formái.**

- mágneses térben szétválasztható 3 komponensre
- alfa-sugarak: kétszeresen töltött, nagy energiájú részecskék; He-magok
- béta-sugarak: elektronok (nagy energiával)
- gamma-sugarak: röntgen-sugárzás (nagy energiával)



## Rutherford egyéb eredményei

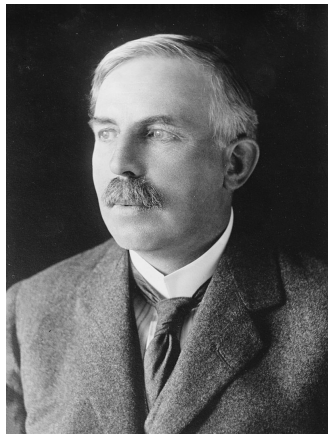


## Ernest Rutherford (1871–1937)

1900–1930: számtalan eredmény a radioaktivitással kapcsolatban.

A kutatás vezetője Rutherford, de sokan segítenek neki.

## Rutherford egyéb eredményei



Ernest Rutherford  
(1871–1937)

1900–1930: számtalan eredmény a radioaktivitással kapcsolatban.

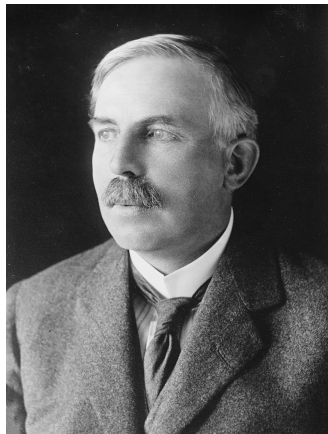
A kutatás vezetője Rutherford, de sokan segítenek neki.

A bomlás időbeli lefutásának törvénye:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}$$

$T_{1/2}$ : felezési idő.

## Rutherford egyéb eredményei



Ernest Rutherford  
(1871–1937)

1900–1930: számtalan eredmény a radioaktivitással kapcsolatban.

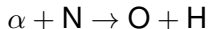
A kutatás vezetője Rutherford, de sokan segítenek neki.

A bomlás időbeli lefutásának törvénye:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}$$

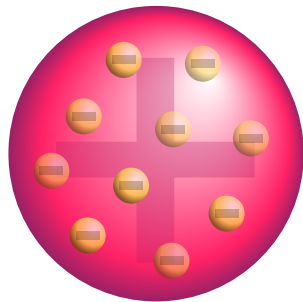
$T_{1/2}$ : felezési idő.

A radioaktív sugárzással kémiai elemek átalakulását lehet kiváltani.



Kémiaiilag az elemek nem alakíthatók egymásba!

A magfizika lehetővé teszi az aranycsinálást is?



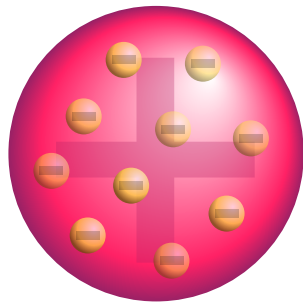
# Az atommag felfedezése

## AFKT 4.6.4

Mi van az atomban? Azt már tudjuk, hogy elektronok, amik sokkal kisebb méretűek és tömegűek, mint maga az atom.

### Thomson-féle atommodell (1904):

- az atomot kitölti egy pozitív töltésű „massza”
- a negatív elektronok ebben „úszkálnak”
- alapállapot: elektronok a legkisebb energiájú állapotban
- fény kibocsátás és elnyelés: elektronok rezgésével



Gond: a méretek sokkal kisebbek a fény hullámhosszánál!

Ernst Rutherford ötlete: **használjuk a nemrég felfedezett alfa-részecskéket „letapogatásra”.**





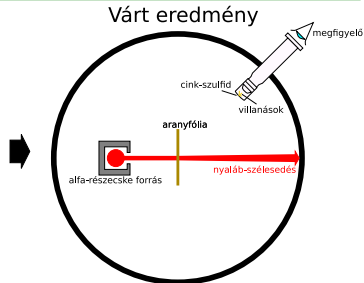
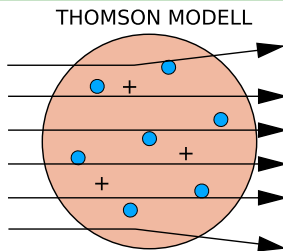
## A Rutherford(-Geiger-Marsden)-kísérlet

Alfa-részecskék:

- Bizonyos anyagok maguktól kibocsátják.
- Az elektronnál 10000-szer nagyobb tömegű, pozitív töltésű részecskék.
- Méretük sokkal kisebb egy atomnál.

**Az alfa-részecskéket elsősorban az atom nagy tömegű, pozitív töltésű része téríti el.**

Thomson-modell: elkent pozitív töltés, gyenge taszítás  $\Rightarrow$  az alfa-részecskék csak kis mértékben térülnek el.







## A magok felépítése

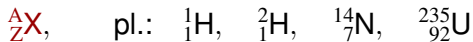
AFKT 5.4.5–5.4.6

1910-es évek eleje: Atomok tömegének és töltésének mérése (vákuumcső, eltérítés mágneses térben).

Mindenütt a hidrogén atom magjának (=proton) töltése ( $q_p$ ) és tömege ( $m_p$ ) bukkan fel!

- **Tömegszám:  $A$ .** (egész)  $M_{mag} \approx A \cdot m_p$
- **Rendszám:  $Z$ .** (egész)  $Q_{mag} = Z \cdot q_p$

Egy mag meghatározása:  $A$  és  $Z$  megadásával.



## A magok felépítése

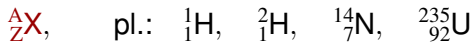
AFKT 5.4.5–5.4.6

1910-es évek eleje: Atomok tömegének és töltésének mérése (vákuumcső, eltérítés mágneses térben).

Mindenütt a hidrogén atom magjának (=proton) töltése ( $q_p$ ) és tömege ( $m_p$ ) bukkan fel!

- **Tömegszám:  $A$ .** (egész)  $M_{mag} \approx A \cdot m_p$
- **Rendszám:  $Z$ .** (egész)  $Q_{mag} = Z \cdot q_p$

Egy mag meghatározása:  $A$  és  $Z$  megadásával.



Első sejtés: a proton egy elemi építőkö? Ellenérv:  $Z < A$ ! (Általában  $Z \approx A/2$ )

Korrekció: atommag összetevői:  $A$  db proton +  $(A - Z)$  db elektron.

## A magok felépítése

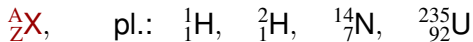
### AFKT 5.4.5–5.4.6

1910-es évek eleje: Atomok tömegének és töltésének mérése (vákuumcső, eltérítés mágneses térben).

Mindenütt a hidrogén atom magjának (=proton) töltése ( $q_p$ ) és tömege ( $m_p$ ) bukkan fel!

- **Tömegszám:  $A$ .** (egész)  $M_{mag} \approx A \cdot m_p$
- **Rendszám:  $Z$ .** (egész)  $Q_{mag} = Z \cdot q_p$

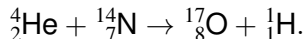
Egy mag meghatározása:  $A$  és  $Z$  megadásával.



Első sejtés: a proton egy elemi építőkö? Ellenérv:  $Z < A$ ! (Általában  $Z \approx A/2$ )

Korrekción: atommag összetevői:  $A$  db proton +  $(A - Z)$  db elektron.

**A Rutherford-féle magátalakítás képlete:**



# Kvantummechanika a magfizikában

## AFKT 5.4.7

1920-as évek: kvantummechanika kifejlődése.

Kezdeti sikerek: a periódusos rendszer megmagyarázása!

**Ötlet: alkalmazzuk a kvantummechanikát a magfizikára!**



# Kvantummechanika a magfizikában

## AFKT 5.4.7

1920-as évek: kvantummechanika kifejlődése.

Kezdeti sikerek: a periódusos rendszer megmagyarázása!

**Ötlet: alkalmazzuk a kvantummechanikát a magfizikára!**

Eredmények:

- **A magban nem lehetnek elektronok.**  
Ilyen kicsi helyre beszorítva a lendületbizonytalanságuk túl nagy lenne, ezért elszöknének!
- **Az alfa-bomlás leírható az alagút-effektussal.**  
Különböző magok felezési idejének viszonya leírható, ha az alfa-részecske hullámtulajdonságaiból számolunk.

Alagút-effektus: a kvantumos részecskék át tudnak jutni olyan „fal” is, amire elvileg nem lenne elég energiájuk. [ $m = 1$ , vastag fal], [ $m = 5$ , vastag fal], [ $m = 5$ , vékony fal].

## A neutron

### AFKT 5.4.8

Rutherford sejtése 1920 körül: létezik egy „semleges proton”, a „neutron”.

Elképzelés:  $proton + elektron \rightarrow neutron$ .

Elektron nélküli magmodellt tenne lehetővé!

## A neutron

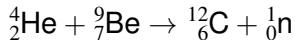
### AFKT 5.4.8

Rutherford sejtése 1920 körül: létezik egy „semleges proton”, a „neutron”.

Elképzelés: *proton + elektron* → *neutron*.

Elektron nélküli magmodellt tenne lehetővé!

Sok sikertelen kísérlet után: James Chadwick, 1932.



A neutronok áthatoltak olyan rétegeken, melyek az alfa-, béta- és gamma-sugárzást elnyelték!

Nehéz kísérletezni vele, mert semleges...



James Chadwick  
(1891–1974)



## Az atommag alkotórészei

AFKT 5.4.9

Összeáll a kép: **Atommag** =  $Z$  db proton +  $(A - Z)$  db neutron.

Nyitott kérdések:

- Mi tartja össze a magot, amikor a protonok taszítása szét akarná vetni?
- Hogy hatnak kölcsön a protonok és neutronok?
- Mekkora energiák szabadulnak fel az átalakulások során?

Nehéz a mérés technika!

Amit biztosan tudnak mérni: **a magok tömege és töltése.**

Megfigyelés:  **$A$  magok tömege kicsivel kevesebb, mint az alkotórészek tömege!**

Elnevezés: **Tömegdefektus.**

$$\Delta M = (Zm_p + (A - Z)m_n) - M_{mag}$$

Relativitáselmélet: a tömegdefektus oka, hogy a magrészecskék igen erősen kötve vannak a magban!

**Kötési energia:  $E = \Delta M/c^2$ .**

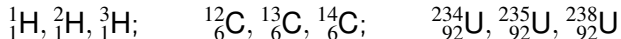
## Izotópok: stabil és radioaktív magok

**Izotóp:** izo-toposz, azaz azonos helyen levő.

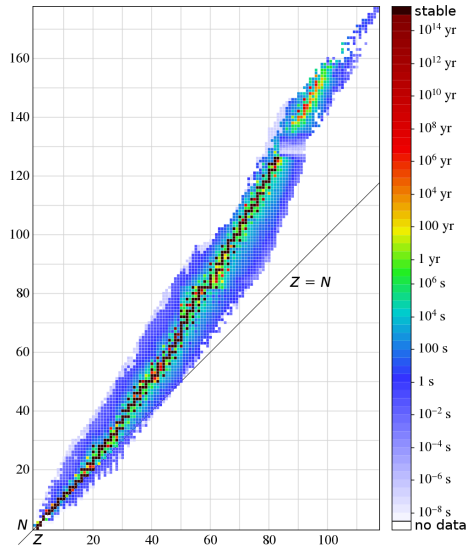
- **Z azonos**  $\Rightarrow$  azonos számú elektron a mag körül  $\Rightarrow$  azonos kémiai viselkedés
- **A különbözik**  $\Rightarrow$  fizika paraméterek, pl. a tömeg más  $\Rightarrow$  kicsit eltérő forráspont, diffúzió, stb.

Az izotópok kémiailag azonosan, de magfizika szempontból nagyon különbözően viselkednek!

Példák:



Nehéz őket szétválasztani nagy tömegben.



## Izotópok: bomlási sorok

A bomlások irányító elve: **Akkor történik meg egy bomlás, ha a végtermékek össz kötési energiája nagyobb, mint a kezdeti.**

- **Stabil magok:** nincs olyan bomlás (alfa-, béta-, gamma-, neutron- ...), ami nagyobb kötéshez vezetne.
- **Radioaktív magok:** találunk energianyeréssel járó bomlást.

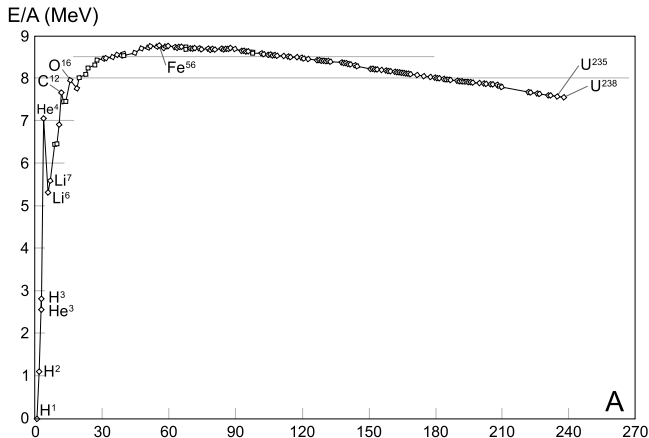
Elkészül a magok térképe: sok radioaktív, kevés stabil mag.





## Az atommag kötési energiája

Hosszú méréssorozat: a magok egy részecskére jutó kötési energiájának mérése.



**Energiaminimum-elv:** A fizika rendszerek törekednek a legkisebb energiájú állapotra.

**Magreakciók iránya:** nőjön a kötési energia.

Tipikus felszabaduló energiák:

- Radioaktív bomlás: 3–20 **MeV**
- Kémiai reakciók: 2–15 eV

eV = elektronvolt =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  J.

## Az atommag szerkezete

Nem sikerül megállapítani a magrészecskék (=nukleonok) kölcsönhatásának „erőfüggvényét”.

Azóta is csak közelítésekünk vannak!

Gond:

- nem tudjuk egyesével manipulálni a részecskéket
- erős a kvantumos viselkedés
- a kölcsönhatásban részt vesz a részecskék saját mágneses tulajdonsága is

## Az atommag szerkezete

Nem sikerül megállapítani a magrészcsekék (=nukleonok) kölcsönhatásának „erőfüggvényét”.

Azóta is csak közelítéseink vannak!

Gond:

- nem tudjuk egyesével manipulálni a részecskéket
- erős a kvantumos viselkedés
- a kölcsönhatásban részt vesz a részecsekék saját mágneses tulajdonsága is

---

A magmodellek próbaköve: visszaadják-e a kötési energiát, mint  $A$  és  $Z$  függvényét?

## Az atommag cseppmodellje

Mag átmérőjének mérése:  $D \propto A^{1/3}$ .

Olyan, mintha a mag anyagának konstans sűrűsége lenne!

⇒ **Közelítsük a magot egy töltött folyadékcseppel!**

- proton-proton taszítás: csökken a kötési energia;  $\propto Z^2/A^{1/3}$
- csepp felületi feszültség: nő a kötési energia;  $\propto A^{2/3}$
- nukleonok vonzzák egymást: nő a kötési energia;  $\propto A$
- asszimmetria a protonok és neutronok számában:  $\propto (A/2 - Z)^2/A$

Nagyon jó közelítéssel leírhatók az  $E/A$  görbe!

## Az atommag cseppmodellje

Mag átmérőjének mérése:  $D \propto A^{1/3}$ .

Olyan, mintha a mag anyagának konstans sűrűsége lenne!

⇒ **Közelítsük a magot egy töltött folyadékcseppel!**

- proton-proton taszítás: csökken a kötési energia;  $\propto Z^2/A^{1/3}$
- csepp felületi feszültség: nő a kötési energia;  $\propto A^{2/3}$
- nukleonok vonzzák egymást: nő a kötési energia;  $\propto A$
- asszimmetria a protonok és neutronok számában:  $\propto (A/2 - Z)^2/A$

**Nagyon jó közelítéssel leírhatók az  $E/A$  görbe!**

A modell sikerének háttere: a hullámfüggvények teljesen szétkenődnek a magon belül.

## Az atommag héjmodellje

Bár nem ismert a nukleonok közti erő (potenciális energia), de a kvantummechanika szerint a nukleonok a magon belül hasonló energiaszintekre ülnek be, mint az elektronok az atom héjaiban.

Ez a hatás tetten érhető:  $E/A$  kicsit eltér a cseppmodelltől.

## Az atommag héjmodellje

Bár nem ismert a nukleonok közti erő (potenciális energia), de a kvantummechanika szerint a nukleonok a magon belül hasonló energiaszintekre ülnek be, mint az elektronok az atom héjaiban.

Ez a hatás tetten érhető:  $E/A$  kicsit eltér a cseppmodelltől.

**Mágikus számok:** bizonyos  $A$  és  $Z$  értékekre  $E/A$  nagyobb, mint a cseppmodellből következne.

Mérések: **2, 8, 20, 50, 82, 126.**

Igen stabil magok:  $A$  és  $Z$  is „mágikus”, „duplán mágikus” magok.

- ${}^4_2\text{He}$ , azaz az alfa-részecske
- ${}^8_{16}\text{O}$ ,  ${}^{20}_{40}\text{Ca}$ , ...

A mágikus számok léte mutatja, hogy **vannak energiaszintek a magon belül.**

## A mesterséges radioaktivitás



Enrico Fermi  
(1901–1954)

**Sugárzás hatására sok stabil izotópból radioaktív lesz.**  
Ezek közt már nemcsak alfa-, béta- és gamma- bomlás  
(=természetes radioaktivitás) történik.

Ritka radioaktivitási formák:

- proton-kibocsátás
- két proton kibocsátás
- neutron kibocsátás
- pozitron kibocsátás
- elektron befogás
- maghasadás (lásd később)

Egyik vezető kutatója a témának: Enrico Fermi



# Izotópok: alkalmazások

## Alkalmazások:

- **Célnak megfelelő izotópok keresése.**  
Gyógyászat, anyagvizsgálat, ...
- **Kormeghatározási módszerek.**  
Radioaktív izotóp-arányokból régészeti leletek és kőzetek korának meghatározása.
- **A periódusos rendszer hiányzó elemeinek magtálalása.**  
Kiderült, hogy van néhány olyan  $Z$  érték, melyhez nem tartozik olyan izotóp, ami elég ideig fennmaradna ahhoz, hogy észlelhessük.  
Például:  $Z = 43$ , Technécium. Leghosszabb felezési idejű izotópja  $T_{1/2} = 61$  nap.
- **Uránon túli elemek keresése.**  
Ezeknek nincs stabil izotópja, de mesterségesen előállíthatók!  
Pl. plutónium (Pu): pár millió és pár tízezer éves felezési idők.
- ...

- alfa-sugárzás: Pozitív töltése révén taszítja a mag, ami akadályozza a találatot.
- n-sugárzás: semleges, minden magba könnyen behatol.

# A maghasadás felfedezése

## AFKT 5.4.10

1930-as évek: magok besugárzása, új izotópok előállítása.

- alfa-sugárzás: Pozitív töltése révén taszítja a mag, ami akadályozza a találatot.
- n-sugárzás: semleges, minden magba könnyen behatol.

---

Tipikus reakció:  ${}_Z^AX + n \rightarrow {}_Z^{A+1}X' \rightarrow {}_{Z-2}^{A-3}X'' + \alpha.$

Ida Noddack, 1934 sejtése: a neutron újszerű (nemcsak alfa, béta, ...) magátalakulásokat tud okozni.

## A maghasadás felfedezése

### AFKT 5.4.10

1930-as évek: magok besugárzása, új izotópok előállítása.

- alfa-sugárzás: Pozitív töltése révén taszítja a mag, ami akadályozza a találatot.
- n-sugárzás: semleges, minden magba könnyen behatol.

Tipikus reakció:  ${}_Z^AX + n \rightarrow {}_Z^{A+1}X' \rightarrow {}_{Z-2}^{A-3}X'' + \alpha$ .

Ida Noddack, 1934 sejtése: a neutron újszerű (nemcsak alfa, béta, ...) magátalakulásokat tud okozni.

1938–1939, Otto Hahn, Lise Meitner, Fridrich Stassmann:

**Az uránmag neutronok hatására kettéhasad.**

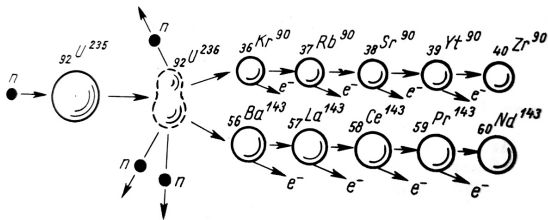
Valószínű: szabad neutronok is keletkeznek.

Nehéz volt a kísérleti igazolás!



Ida Noddack  
(1896–1978)

## A maghasadás



1. az urán magja befog egy neutron
2. instabil mag keletkezik
3. ez két, közepes magra hasad és keletkezik még 2–3 neutron
4. a hasadványtermékek egy sor bomlás után közepes tömegszámú stabil atommá válnak.



Otto Hahn (1879–1968) és Lise Meitner (1878–1968)

Kimutatták a közepes tömegszámú hasadványtermékeket.

# A nukleáris láncreakció

AFKT 5.4.11

1

A maghasadás felfedezése után sokakban egyből felmerül az ötlet:

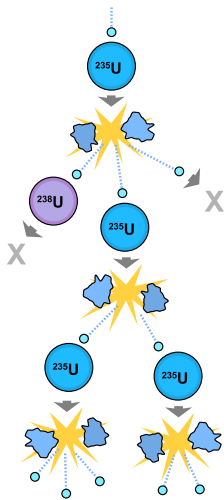
**Az urán hasadásakor felszabaduló neutronok új hasadásokat generálhatnak.**

2

Makroszkopikus anyagmennyiségben levő nukleáris energia rövid idő alatt felszabadítható!

(Emlékeztető: A radioaktivitás is sok energiát termel, de az csak a saját ütemében bomlik.)

3



# A nukleáris láncreakció

## AFKT 5.4.11

1 A maghasadás felfedezése után sokakban egyből felmerül az ötlet:

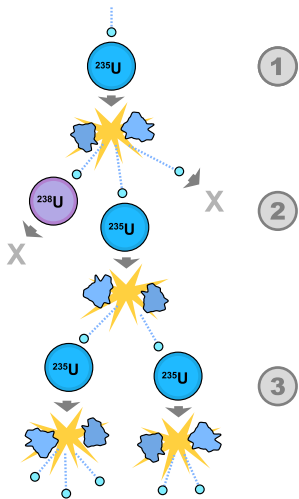
**Az urán hasadásakor felszabaduló neutronok új hasadásokat generálhatnak.**

2 Makroszkopikus anyagmennyiségben levő nukleáris energia rövid idő alatt felszabadítható!

(Emlékeztető: A radioaktivitás is sok energiát termel, de az csak a saját ütemében bomlik.)

Problémák:

- néhány neutron kiszökhet hasítás nélkül
- néhány neutron a 238-as urán (vagy más anyag) elnyelhet



## A nukleáris energiatermelés kezdetei

1939, a II. világháború előestéje: **A nukleáris láncreakcióban a tudósok felismerik a potenciális fegyvert.** (mindegyik nagyhatalomnál)

Nem egyből indul a kutatás:

- **Sok alapkutatás hiányzik még.**

Pl. nem tudni, melyik izotópok a legalkalmasabbak, mennyi a minimális tömeg ezekből, hogy önfenntartó reakció lehessen, ....

- **Láthatóan hatalmasak lesznek a költségek.**

A politikai, katonai vezetések inkább a bevált fegyverek fejlesztésében hisznek.



## A nukleáris energiatermelés kezdetei

1939, a II. világháború előestéje: **A nukleáris láncreakcióban a tudósok felismerik a potenciális fegyvert.** (mindegyik nagyhatalomnál)

Nem egyből indul a kutatás:

- **Sok alapkutatás hiányzik még.**

Pl. nem tudni, melyik izotópok a legalkalmasabbak, mennyi a minimális tömeg ezekből, hogy önfenntartó reakció lehessen, ....

- **Láthatóan hatalmasak lesznek a költségek.**

A politikai, katonai vezetések inkább a bevált fegyverek fejlesztésében hisznek.

---

Szilárd Leó, Teller Ede és Wigner Jenő felkeresték Einsteint.

(A náci üldözés elől mindegyik az USA-ba menekült korábban.)

Meggyőzték, hogy Einstein vesse be tekintélyét, írjon levelet az USA elnökének, melyben kifejtik: **neki kell állni a nukleáris láncreakción alapuló fegyver fejlesztésének, hogy Hitler ne kerüljön előnybe.**

## Az Einstein-Szilárd levél

Albert Einstein  
Old Grove Rd.  
Nassau Point  
Peconic, Long Island  
August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,  
President of the United States,  
White House  
Washington, D.C.

51x:

Some recent work by E. Fermi and L. Sialard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

-2-

The United States has only very poor ores of uranium in moderate quantities. There is some good ore in Canada and the former Czechoslovakia, while the most important source of uranium is Belgian Congo.

In view of this situation you may think it desirable to have some permanent contact maintained between the Administration and the group of physicists working on chain reactions in America. One possible way of achieving this might be for you to entrust with this task a person who has your confidence and who could perhaps serve in an unofficial capacity. His task might comprise the following:

a) to approach Government Departments, keep them informed of the further development, and put forward recommendations for Government action, giving particular attention to the problem of securing a supply of uranium ore for the United States;

b) to speed up the experimental work, which is at present being carried on within the limits of the budgets of University laboratories, by providing funds, if such funds be required, through his contacts with private persons who are willing to make contributions for this cause, and perhaps also by obtaining the co-operation of industrial laboratories which have the necessary equipment.

I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,  
A. Einstein  
(Albert Einstein)

Ennek hatására  
indította be Roosevelt  
a Manhattan-  
projektet.

A nukleáris kutatások elképesztően nagy háttértámogatást (és titkosítást) kapnak.



## Az első nukleáris reaktor

Sok-sok megoldandó probléma:

- Kiderült, hogy a 235-ös urán hasad könnyen, de ez csak 0,7%-a a bányászott uránnak. Dúsítás szükséges.
- Ki kellett deríteni, mely anyagok nyelik el, verik vissza, lassítják le a neutronokat.
- Meg kellett tervezni és valósítani biztonságosan a berendezést.

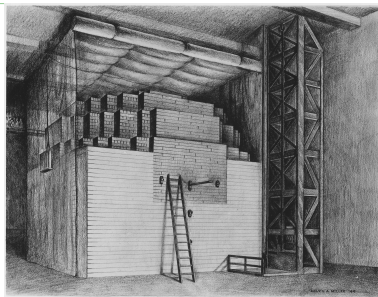
Vezető kutatók: Enrico Fermi és Szilárd Leó.

Sok tonna természetes urán (nem tudtak még dúsítani),  
több száz tonna grafit (neutron-lassító).

1942. december 2.: Chicago Pile-1 elindul.

Cél: tanulmányozni a maghasadást, adatokat gyűjteni a nukleáris bombához.

Az energiatermelési funkció másodlagos. (200 W teljesítményű.)





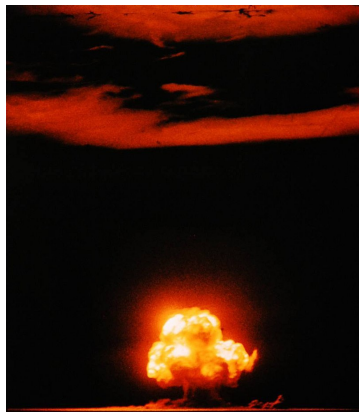


## Az első nukleáris bombák

## A Trinity-teszt, 1945. július 16.

Első nukleáris robbantás. (USA katonai gyakorlóterület.)

- Nem tudták előre pontosan, mekkorát is fog robbanni.
- Nem tartották különösebben veszélyesnek a keletkező radioaktív hulladékot.







## Az első nukleáris bombák: érdekességek

1. A kutatók „hasadásos bombának”, „urán-bombának” vagy ilyesminek nevezték. Az „atomic bomb” kifejezést Truman elnök használta abban a beszédében, amiben bejelentette Hiroshima bombázását, mert nem értette a tudományos háttérét, csak azt, hogy valami az atomokkal kapcsolatos izé van a háttérben. Innen terjed el az „atombomba”, majd ennek nyomán az „atomerőmű” kifejezés.
2. A Szovjetunió kémein keresztül már a Manhattan-projekt alatt lényegében minden tervrajzot megszerzett. A II. vh. után ezért hamar lett nekik is bombájuk.
3. A keletkező sugárzást sokáig nem tartották komoly veszélynek. Ezres nagyságrendű atombomba-robbantás történik az USA és a Szovjetunió saját területein.
4. Az atombombában lezajló folyamatok követése sok számítást igényel. Jelentős motiváció volt a programozható számítógépek fejlődésére.

## A nukleáris energiatermelés

A II. világháború után: Energiatermelési célú atomerőművek tervezése, építése.

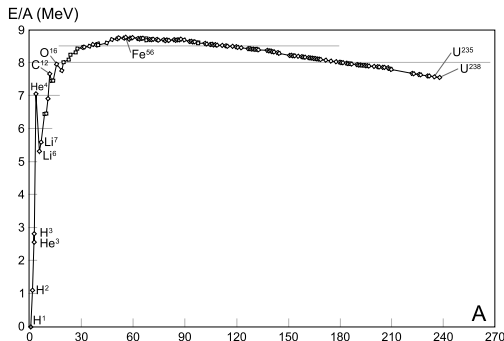
Kezdeti kísérletezés után:

- Első atomerőmű, ami a hálózatra termelt áramot: **Obnyinszki atomerőmű, 1954.**
- Első, ipari méretű áramtermelő atomerőmű: **Calder Hall atomerőmű, 1956.**



# Fúziós energiatermelés

AFKT 5.4.12



A kötési energia diagramból látszik, hogy az energiatermelés két fő módja:

- **Fisszió:** Nehéz magok hasadása. Ezt végzik az atombombák és atomerőművek.
- **Fúzió:** Könnyű magok egyesítése, fúziója. Ezt csak később valósították meg.

A fúziós energiatermelés ötlete már a 30-as években felmerül, de nehéz megvalósítani az atommagok taszítása miatt.

**A fúzió előnyei a fisszióval szemben:**

- Tömegegységenként több energia szabadítható fel.
- Sokkal több „üzemanyag” áll rendelkezésre.
- Kevesebb radioaktív hulladék termelődik.

## A hidrogén-bomba

Az ötlet egyszerű:

- atombomba-robbanás több száz millió fokos hőmérsékletet állít elő
- ha megfelelő hidrogén-köpeny veszi körül az atombombát, beindulhat a fúzió

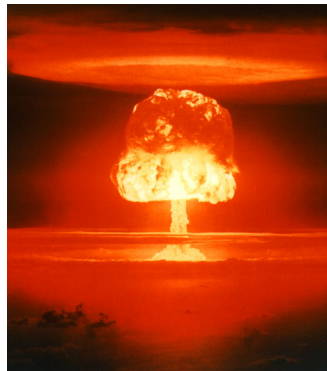
## A hidrogén-bomba

Az ötlet egyszerű:

- atombomba-robbanás több száz millió fokos hőmérsékletet állít elő
- ha megfelelő hidrogén-köpeny veszi körül az atombombát, beindulhat a fúzió

---

A részletek bonyolultak: Melyik hidrogén-izotóp a jobb?  
Hogy sűrítünk egy helyre elég hidrogént? Hogy tartjuk egybe az egészet addig, amíg elkezd energiát termelni? ...  
Az USA és a SzU is megoldja a problémákat az 1950-es évek elejére.





## A fúziós erőmű

Sajnos az irányított fúziót nehéz megvalósítani.

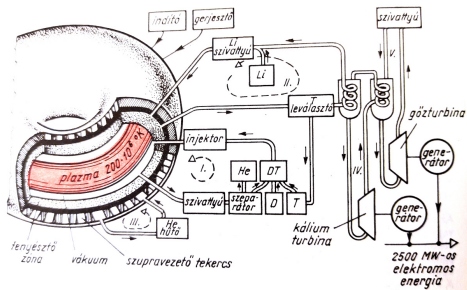
- **Atommagok taszítása miatt magas hőmérséklet kell.**  
Még az alagút-effektussal együtt is 10 000 000 K nagyságrend!
- **A hasznossághoz sokáig együtt kell tartani a forró anyagot, a plazmát.**  
Nincs megfelelő edény, és ha hozzáér valamihez a plazma, lehűl.



## A fúziós erőmű

Sajnos az irányított fúziót nehéz megvalósítani.

- **Atommagok taszítása miatt magas hőmérséklet kell.**  
Még az alagút-effektussal együtt is 10 000 000 K nagyságrend!
- **A hasznossághoz sokáig együtt kell tartani a forró anyagot, a plazmát.**  
Nincs megfelelő edény, és ha hozzáér valamihez a plazma, lehűl.



Ötlet: lebegtessük mágneses térben a fúziós plazmát!

Az 1950-es évek óta kísérleteznek vele.

**A fúzió megvalósul, de még nem pozitív az energiamérleg.**

Talán 2030-ig megszületik az első „hasznos” fúziós erőmű.

## A fúziós erőmű

Sok más módszert is tesztelnek:

- Sokféle mágneses tér elrendezés, növekvő méretek, ...
- Lézerrel kis anyagdarabot hevítenek fel igen gyorsan.
- Fémekben „oldott” hidrogénnel próbálkoznak.

**Nem tudni, melyik és mikor hoz áttörést.**

## A fúziós erőmű

Sok más módszert is tesztelnek:

- Sokféle mágneses tér elrendezés, növekvő méretek, ...
- Lézerrel kis anyagdarabot hevítenek fel igen gyorsan.
- Fémekben „oldott” hidrogénnel próbálkoznak.

**Nem tudni, melyik és mikor hoz áttörést.**

---

Ha sikerülne megoldani:

- A maihoz képest sok nagyságrenddel több energia állna rendelkezésre.
- Sokkal kisebb a károsanyag-kibocsátása, mint bármi más energiatermelésnek.
- Sokkal kevésbé balesetveszélyes, mint az atomerőmű.

# Magyar tudósok a magfizikában

Közmondásos, hogy a Manhattan-terv vezető tudósai néha magyarul beszélgettek egymás közt.

Kis túlzással ez néha igaz is volt.

A 20. század elején Magyarországon igen erős alapozó tudást oktattak.

(Beérett Jedlik Ányos és Eötvös Loránd munkája...)

## Sok-sok nagy tudós pályája indul a 20. szd. eleji Budapestről.

## Magyar tudósok a magfizikában

Közmondásos, hogy a Manhattan-terv vezető tudósai néha magyarul beszélgettek egymás közt.

Kis túlzással ez néha igaz is volt.

**A 20. század elején Magyarországon igen erős alapozó tudást oktattak.**

(Beérett Jedlik Ányos és Eötvös Loránd munkája...)

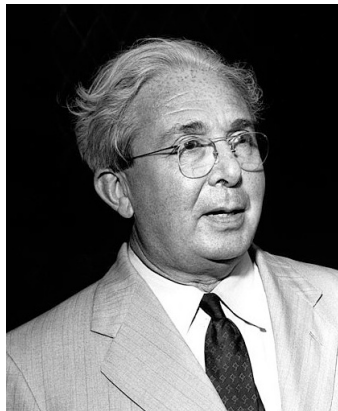
Sok-sok nagy tudós pályája indul a 20. szd. eleji Budapestről.

A Manhattan-tervben valaki „marslakók”-nak nevezi a magyarokat, mert érthetetlen nyelven beszélnek, okosabbak a többieknél és máshogy gondolkoznak.

Sokak szerint nem magyarok voltak, mert származásuk szerint zsidók, egyetemi éveiket nagyrészt Németországban töltötték.

Ellenérv: **magukat magyarnak tartották**, legszívesebben magyarul beszéltek a fizikáról is, mert logikusabb nyelvnek tartották, mint a többit.

## Szilárd Leó (1898–1964)



- több hasznos találmány: újszerű hűtőszekrény, részecskegyorsító, ...
- Manhattan-terv beindítása (Einstein-Szilárd levél)
- első atomreaktor tervezése
- sugárzás biológiai hatásainak tanulmányozása
- a fizika alkalmazása biológiai rendszerekre
- politikai szerep az atomfegyverek visszaszorítása érdekében

## Wigner Jenő (1902–1995)



- a kvantummechanika elvi kérdéseinek tanulmányozása
- szilárdtest-fizikai eredmények
- vezető szerep a Manhattan tervben
- az elméleti matematika alkalmazása fizikai problémákra

## Neumann János (John von Neumann) (1903–1957)



- elméleti matematikai munkák
- kvantummechanika matematikai alapjai (hullám- és mátrixmechanika egyenértékűsége)
- számítások a Manhattan-tervben
- első programozható számítógépek alkotásában való vezető szerep
- numerikus analízis sok alaperedménye
- játékelmélet egyik megalapozója





## Visszaemlékezések, életrajzok, ...

A 20. századi fizikusok életét sokszor igen jól ismerjük: életrajzok, önéletrajzok, ...  
Néhány érdekes, élményszerű leírás: (sok más mellett)

- **Werner Heisenberg: A rész és az egész**  
Önéletrajzi jellegű, de a kvantummechanika kialakításába bepillantást adó visszaemlékezések.
- **Kármán Tódor: Örvények és repülők**  
Kármán Tódor egy generációval Szilárdék előtti magyar mérnök, fizikus. A repülő- és rakétatechnika sokat köszönhet neki.
- **Richard Feynman: Tréfál, Feynman úr?**  
Nem teljes konvencionális visszaemlékezés-gyűjtemény pl. a Mahnattan-projektről.

## Az elemi részek

Opcionális anyag szorgalmasoknak: AFKT 5.5.2–5.5.6

- Az 1920-as évektől kezdve egyre több elemi részecskét fedeznek fel.
- Tanulmányozzák a kozmoszból jövő részecske-sugárzást.
- Egyre nagyobb részecske-gyorsítókat építenek.
- Keresik a legalapvetőbb összefüggéseket.
- Keresik a kapcsolatot az Univerzum keletkezésével, felépítésével.

**Végső cél: a Nagy Egyesített Elmélet.**

Minden részecske, kölcsönhatás, törvény egy elméletbe foglalása.

Jelenleg ilyen nincs.

## A nukleáris energetika megítélése

A téma külön előadást érdemelne...

**Az atomháború évtizedes fenyegetése miatt nagy a témakör elutasítottsága a közvéleményben.**

- **A valósnál sokkal veszélyesebbnek gondolják.**

A hagyományos energiatermelésnek fajlagosan sokkal több az áldozata, Csernobilt és a többi balesetet is beleszámolva.

- **A közvélemény nyomása miatt nem támogatott a fejlesztés.**

Pedig a fúziós erőműtől nem vagyunk messzire és a hagyományos atomerőművekben is van még potenciál.

- **Szükséges, hogy az emberiség értsen ekkora energiák kezeléséhez.**

Bizonyos dolgok csak sok energiával oldhatók meg. Pl. egy veszélyes kisbolygó elterelése, egy szunnyadó szupervulkán idő előtti „lecsapolása”.

- **Tudomány- és tudós-ellenesség.**

Sokan az atomenergia miatt veszélyesnek tartják a tudományt és felelőtlennek a tudósokat...