

# Neutronok és neutrínók

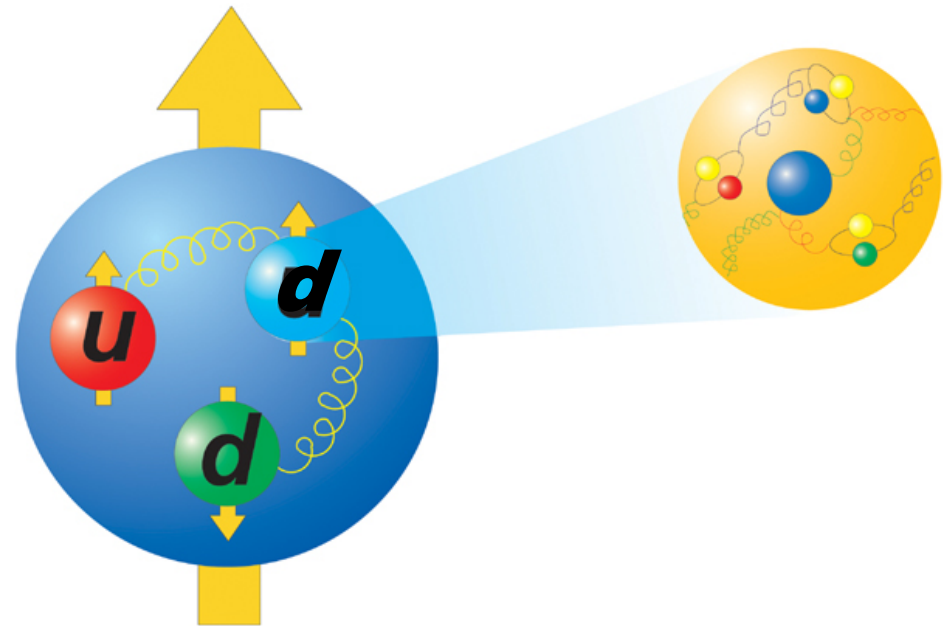
Atommag és részecskefizika

2020. május 15.

# Neutronok

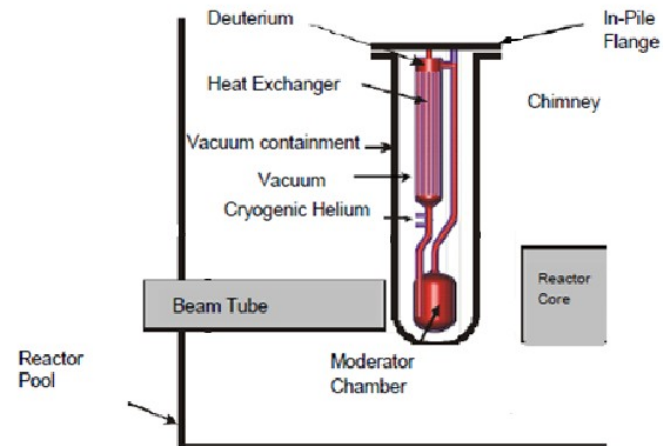
- Neutron

udd, semleges, mágneses momentum



# Neutron energiája

- Gyors neutron
  - ${}^3\text{H}(d,n)\alpha$   $14.4\text{ MeV}, 17.6\text{ MeV}$
- Termikus neutron
  - $3/2 kT = 1/2 mv^2 = 1/40\text{ eV}$  ha  $T = 300\text{ K}$
- Ultrahideg neutron
  - Reaktor csatorna
  - Neutron hullámhossza
  - Neutron diffrakció



# Neutronforrások

- Természetes neutronforrások
  - RaBe, PuBe, Cf
- Neutrongenerátor
- Közepes energiájú gyorsító neutronforrások
  - ${}^6\text{Li}(p,n)$
- Spallációs neutronforrás
- Hasadási reaktor
- Fúziós reaktor
- Csillagok neutrontermelése

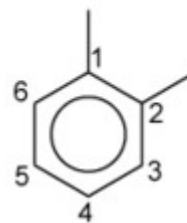
# A neutronok reakciói

Magreakciók jelölése  $A(a,b)B$

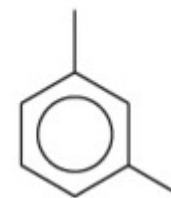
- Neutronbefogás  $(n,\gamma)$
- Nukleon-cserével járó reakció  $(n,p)$
- Nukleon-transzfer  $(n,^3\text{H})$
- Neutronok szóródása
  - Rugalmas  $A(n,n')A'$
  - Rugalmatlan  $A(n,n')A^*$
- Neutron indukált hasadás  $(n,f)$

# Neutrondetektorok

- Magreakción alapuló detektorok
  - $\text{BF}_3$  gáz, amiben a bór atommagja nagy hatáskeresztmetszettel elnyeli a neutronokat
  - hatáskeresztmetszet  $1/v$  –vel arányos
  - $(n,\alpha)$ ,  $(n,p)$ ,  $(n,\gamma)$  reakciók
- Visszalökődéses neutrondetektor
  - proton – neutron ütközések
  - szcintillációs detektorok, ennek anyaga sok protont tartalmaz, pl. benzol gyűrűn lógó H atom magja.



1,2-dimethylbenzene  
(ortho-xylene)

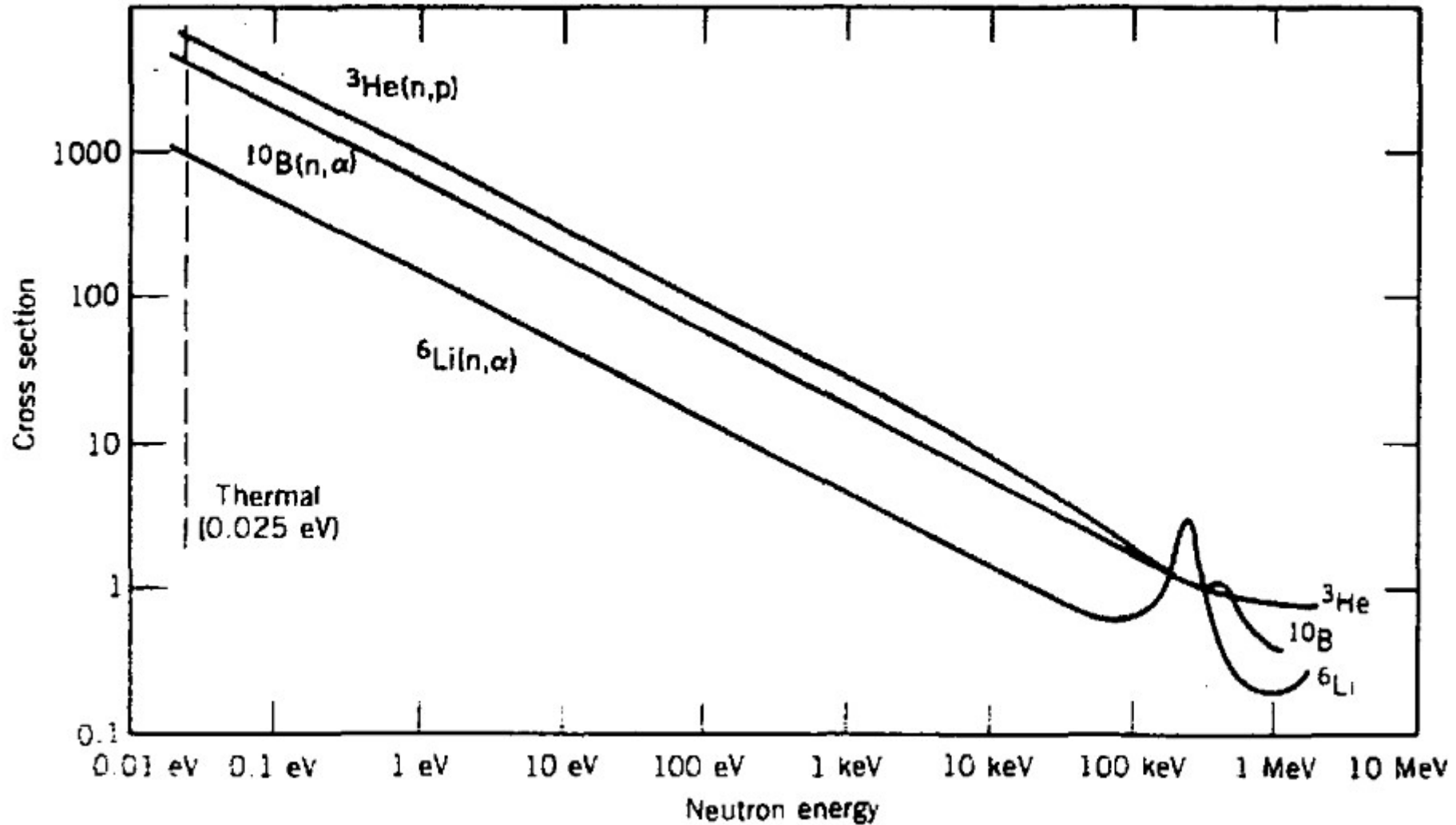


1,3-dimethylbenzene  
(meta-xylene)



1,4-dimethylbenzene  
(para-xylene)

# Magreakción alapuló neutrondetektor



$^6\text{Li}$   $Q=4.78\text{MeV}$ ,  $\sigma=940\text{b}$

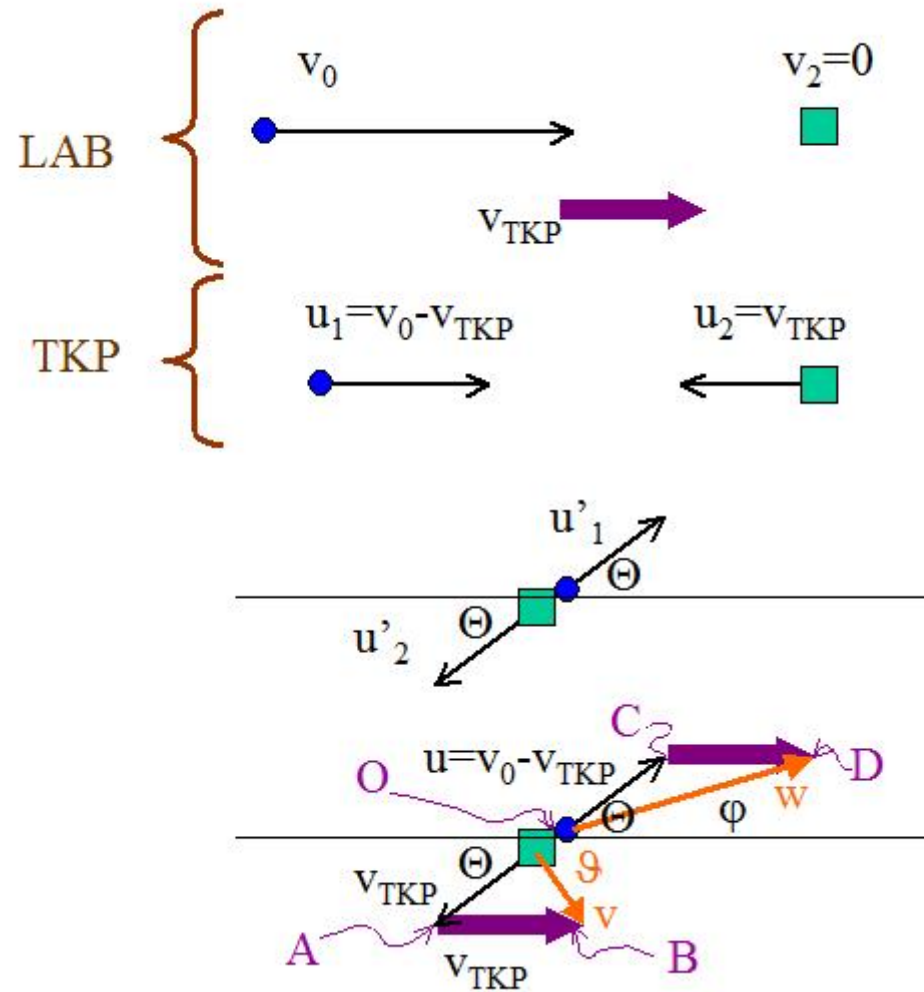
$^{10}\text{B}$   $Q=2.31\text{ MeV}$ ,  $\sigma=3840\text{b}$

# Visszalökődéses neutrondetektor

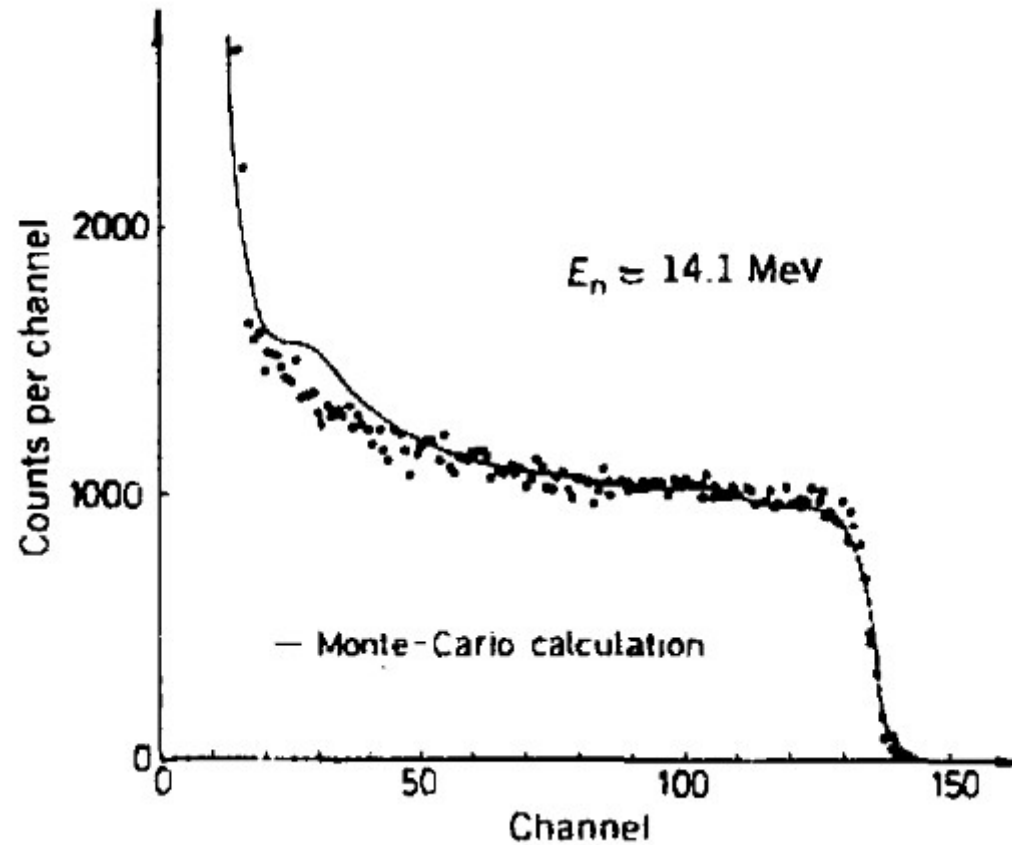
- $E_n$  energiájú neutron detektorban leadott energiája mennyi?  $E_p$
- A szóródás kinematikája  $E_p = E_n \cos^2 \vartheta$
- Tömegközépponti rendszerben izotróp szóródás  
 $p(\varphi, \Theta) = 1/4\pi$ ,  $p(\vartheta)$ ,  $p(E_p)$



# Neutron – proton ütközés

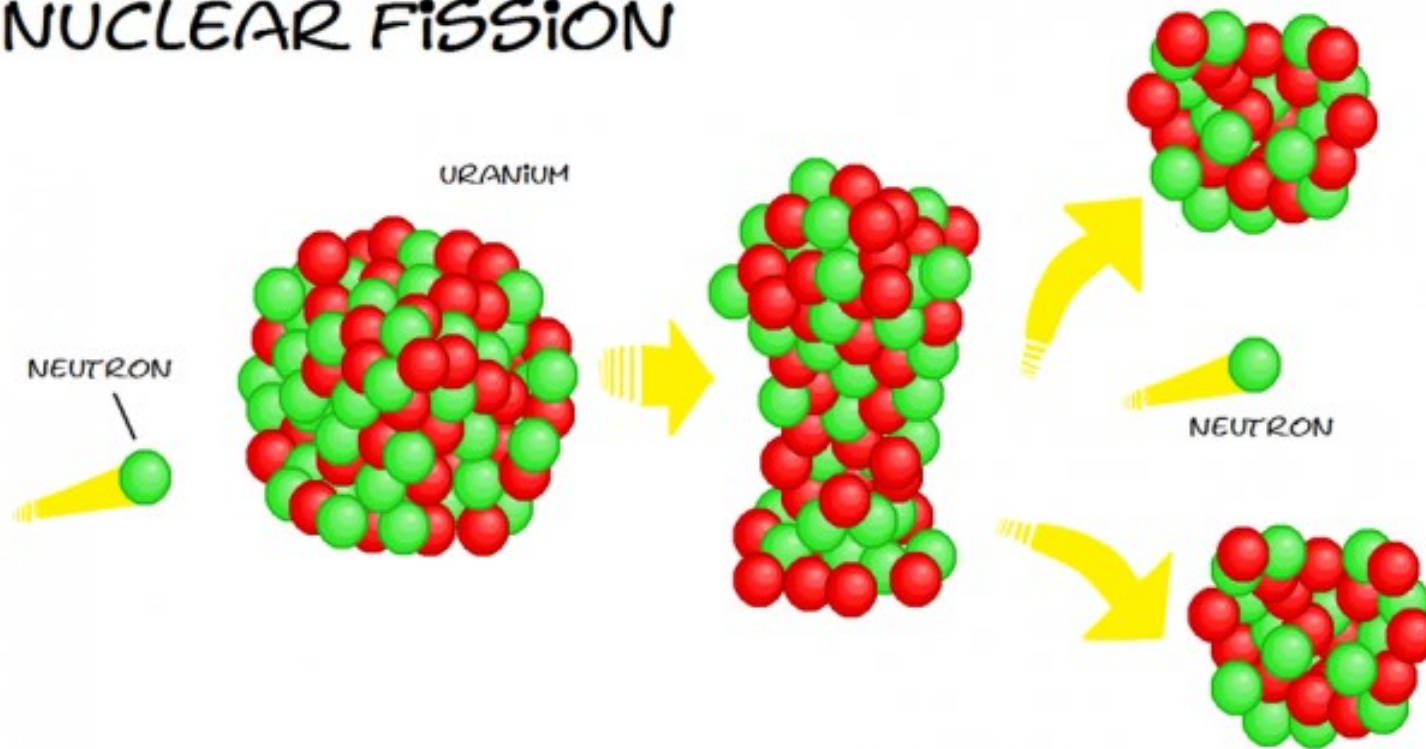


# Neutron – proton ütközés



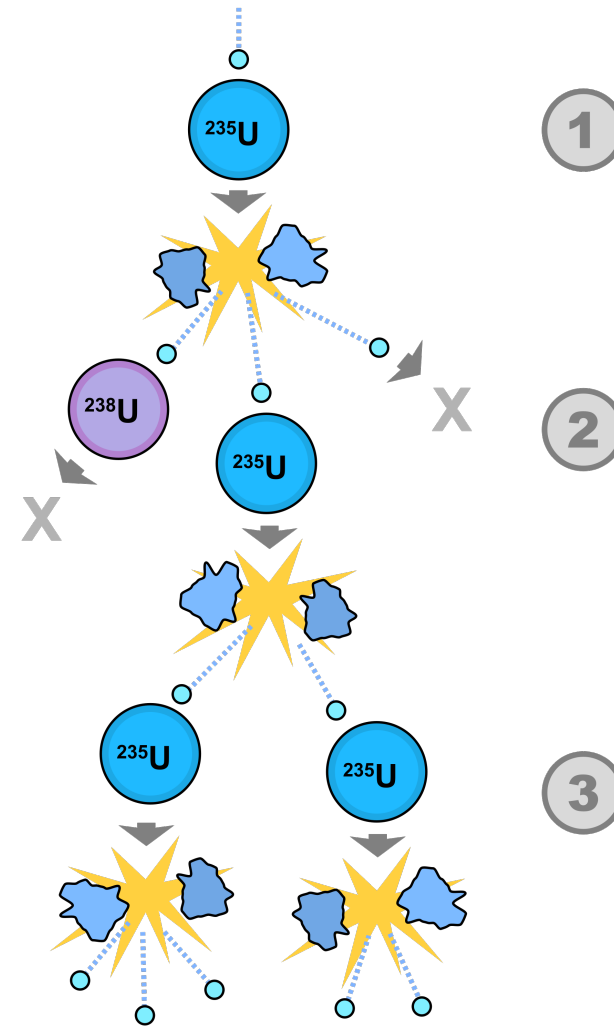
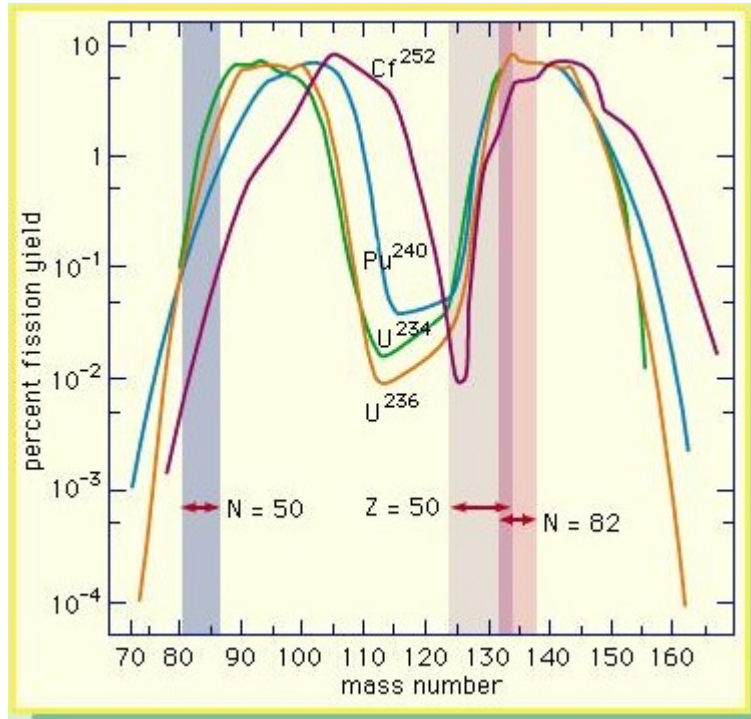
# Neutronok az energiatermelésben

## NUCLEAR FISSION

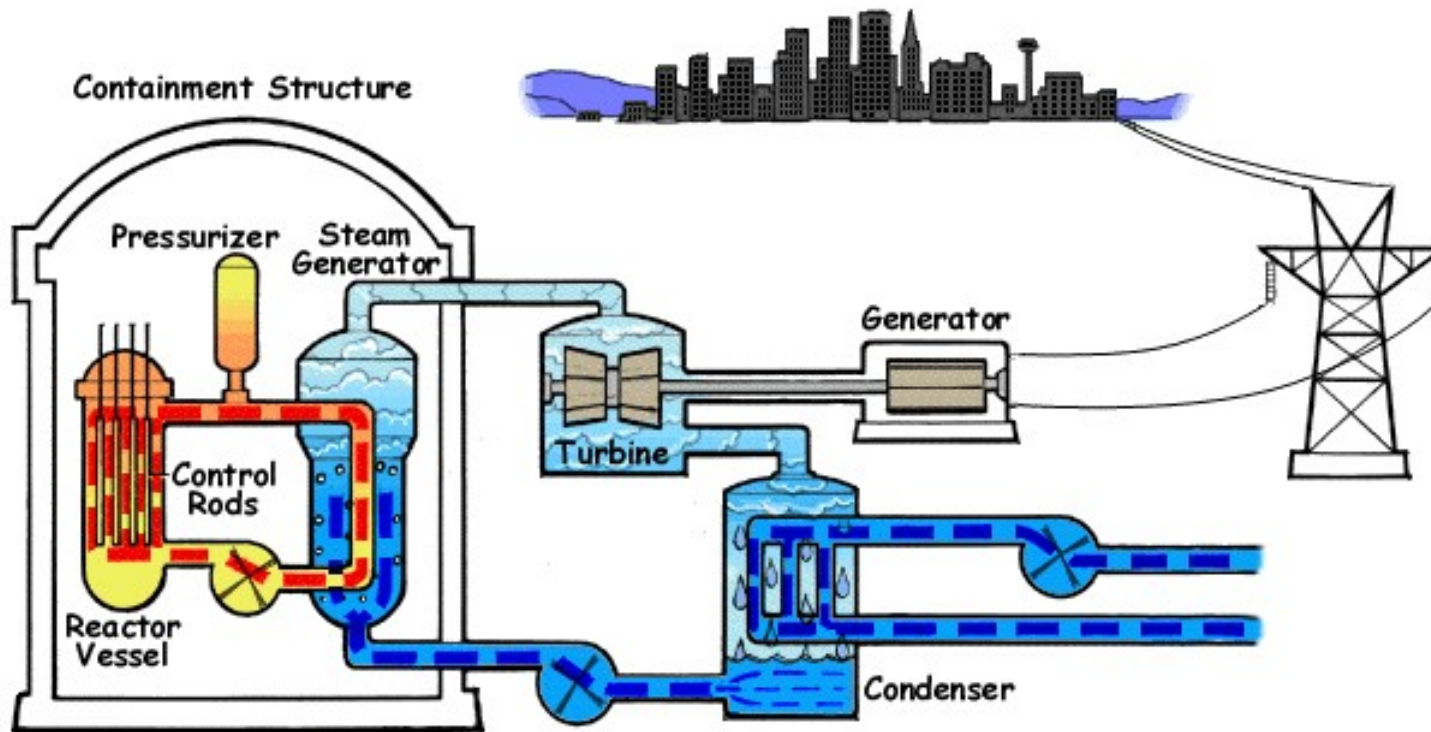


200 MeV

# Neutronok az energiatermelésben



# Neutronok az energiatermelésben



# Neutrínók

# Mit kell tudni a neutrínókról?

1. A neutrínók felfedezése
2. A neutrínók reakciói
3. Klasszikus neutrínó-detektorok
4. Napneutrínók, neutrínó-fluxus
5. Napjaink neutrínó-detektorai
6. Szupernóva-neutrínók
7. Geoneutrínók
8. Neutrínóoszilláció
9. Neutrínók helicitása

# A neutrínók felfedezése

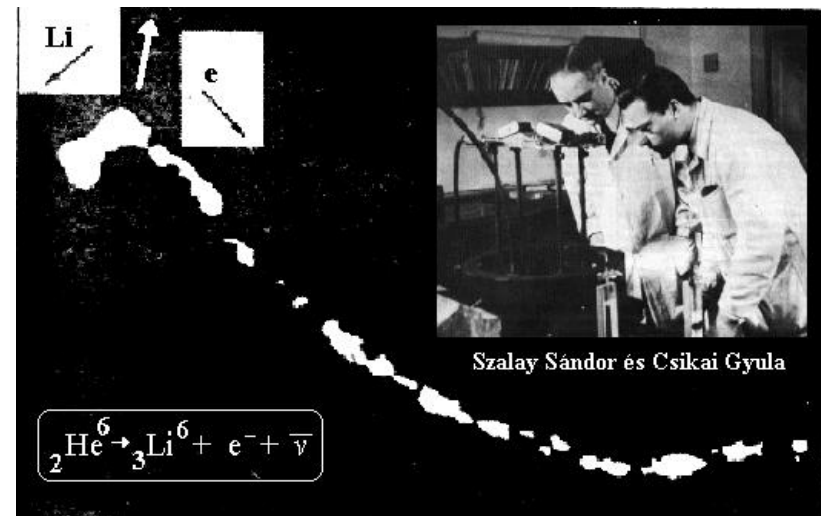
- energiamegmaradás béta-bomlásban

(elektron sebességmérése)  $E_L + E_e < Q = (m_A - m_L - m_e)c^2$

- perdületmegmaradás béta-bomlásban (magspin)

- Wolfgang Pauli  
neutrínóhipotézis

- lendületmegmaradás  
(Szalay-Csikai kísérlet)





# Leptonszám kvantumszám

- kísérleti tapasztalatok megfogalmazása

- leptonszám-megmaradás:

antineutrínó *nem azonos* a neutrínóval,

*más* a hatáskeresztmetszetük pl. (2 fólia múlva látjuk)

→ leptonszámuk más: -1, +1

$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$$

$$0 = 0 + 1 - 1$$

- elektronikus leptonszám-megmaradás

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$$

# A neutrínók reakciói

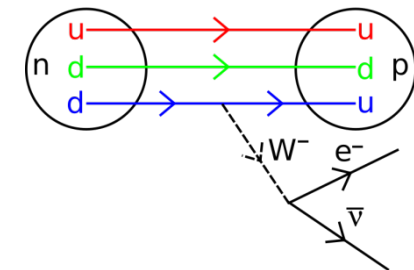
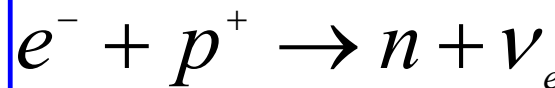
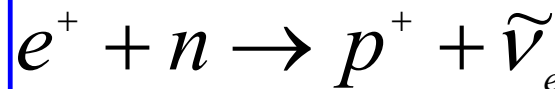
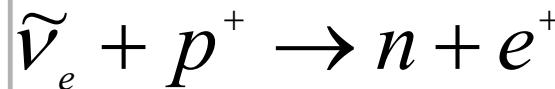
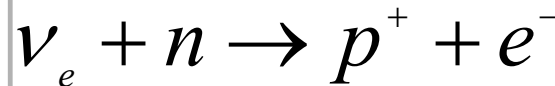
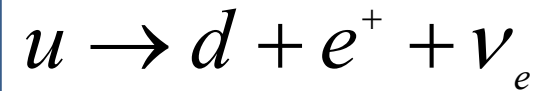
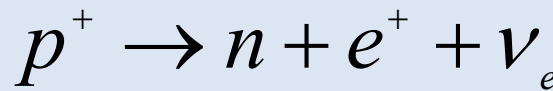
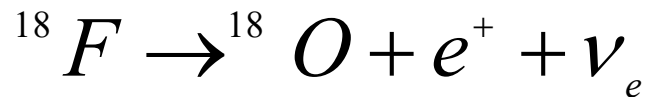
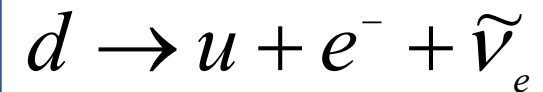
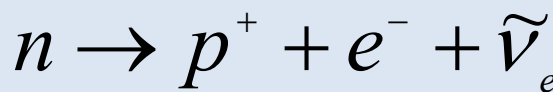
Béta-bomlások – gyenge kölcsönhatás:

lendületáram átadása  
 $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$ -nak

atommag

nukleon

kvark



# Klasszikus neutrínódetektorok 1.

## Reines—Cowan-kísérlet



pozitron annihiláció

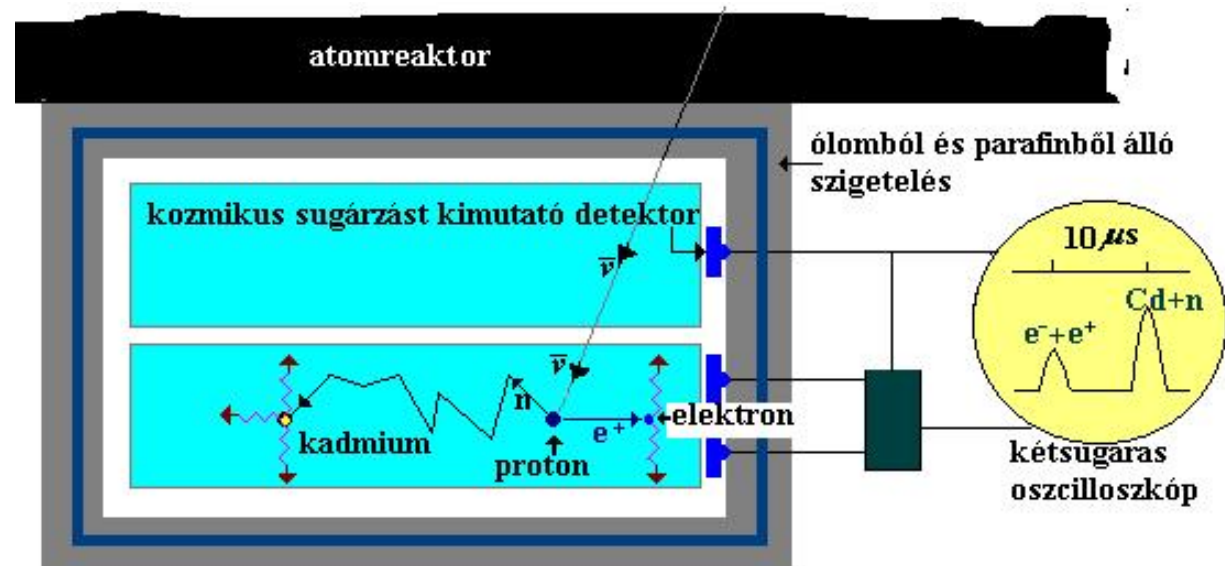
koincidencia események

neutronbefogás

neutron lassulás

kaszkád gamma-kibocsátás

kozmikus események kizárása

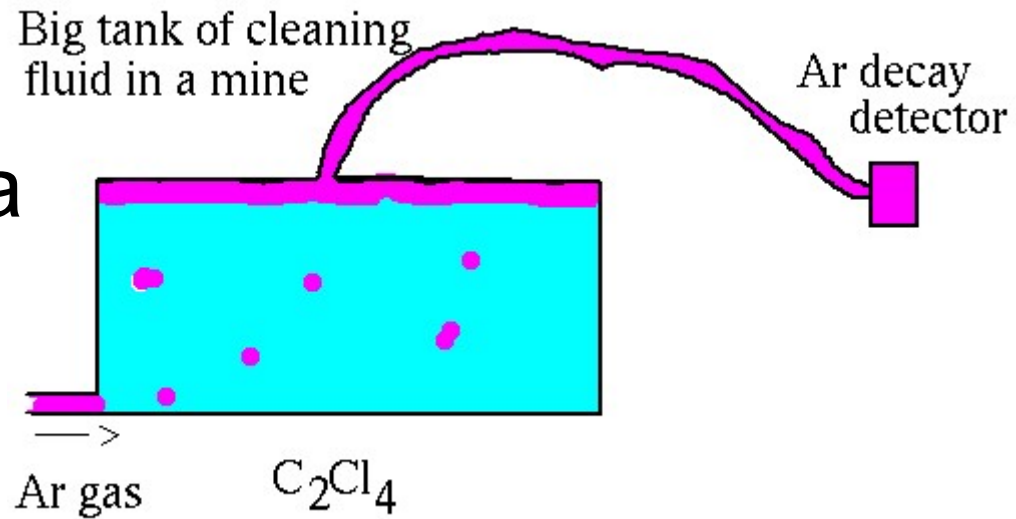
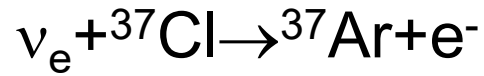


képek: <http://www.ibela.sulinet.hu/atomfizika>

hatáskeresztmetszet  $\sigma$ :  $N_{reakció} = \sigma j N c t$      $\sigma = 0,18 \text{ ab} = 0,18 \times 10^{-46} \text{ m}^2$

# Klasszikus neutrínódetektorok 2.

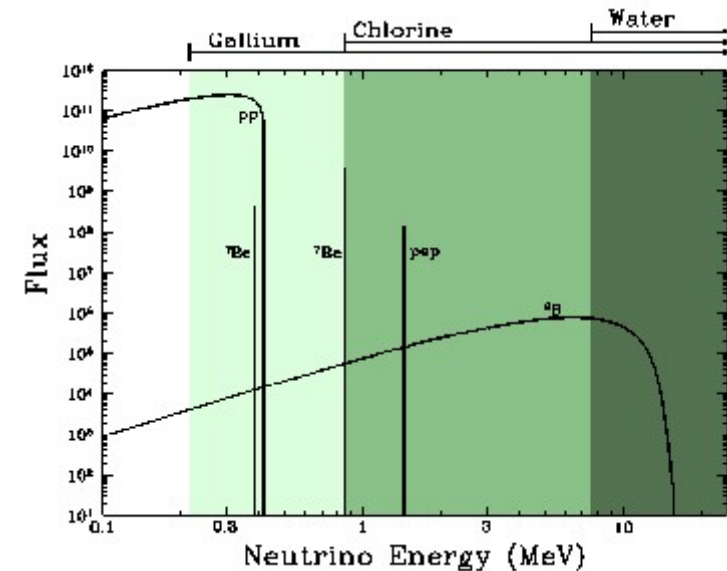
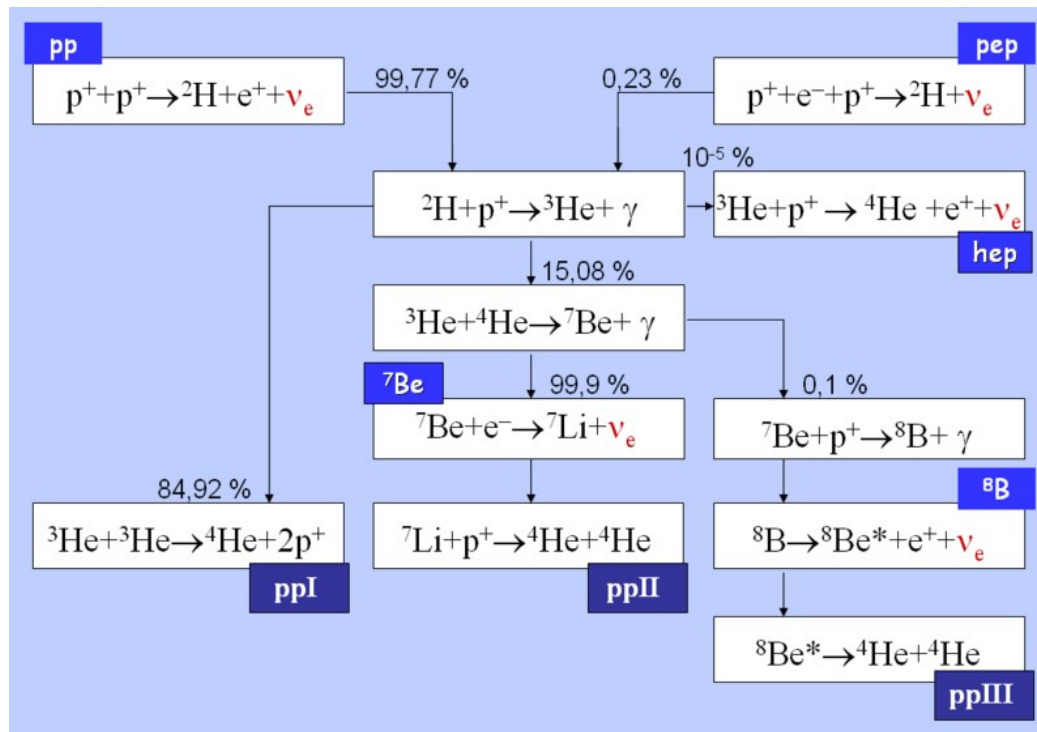
Davis 1957  
Homestake bányája



A keletkezett  ${}^{37}\text{Ar}$  gázt kiburékoltatással össze lehet gyűjteni  
 ${}^{37}\text{Ar}$  maga is radioaktív, felezési ideje elég nagy  
ionizációs kamrában mérhető a mennyisége  
minimális neutrínó-energia kb. 900 keV

# Napneutrínók

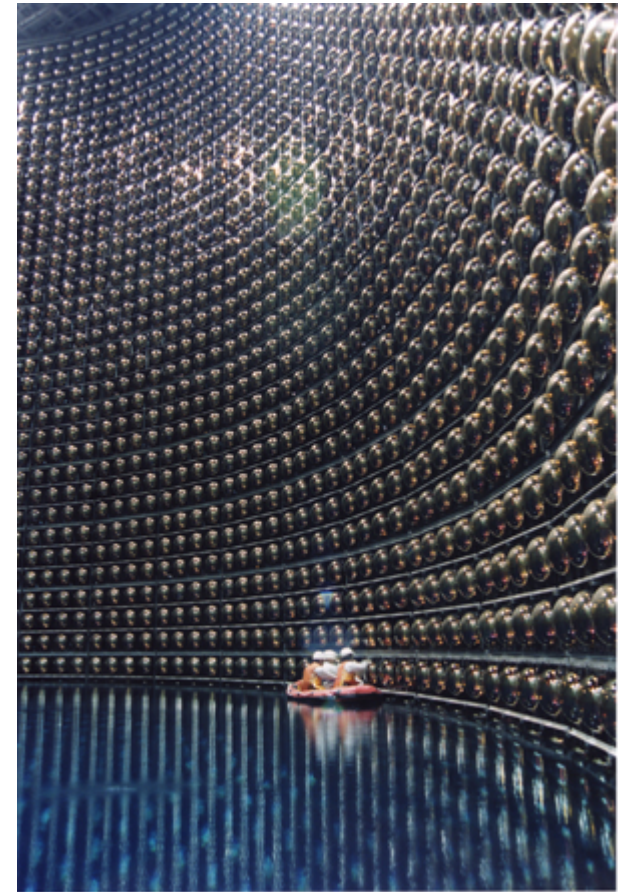
- Napneutrínó fluxusa Napmodellekből  
 ↔ detektált neutrínók Homestake bányában



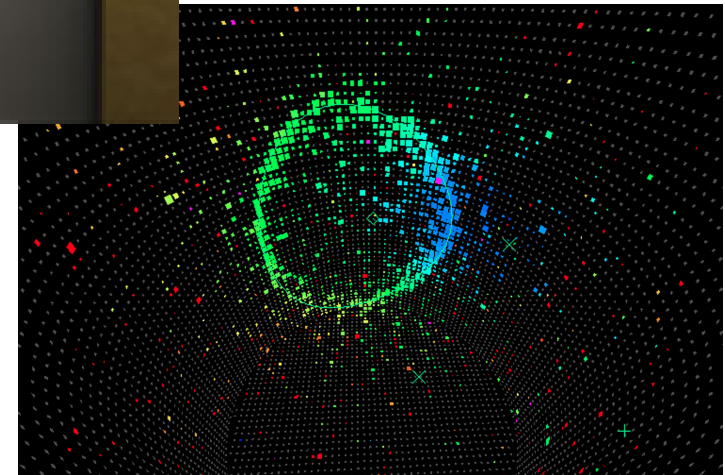
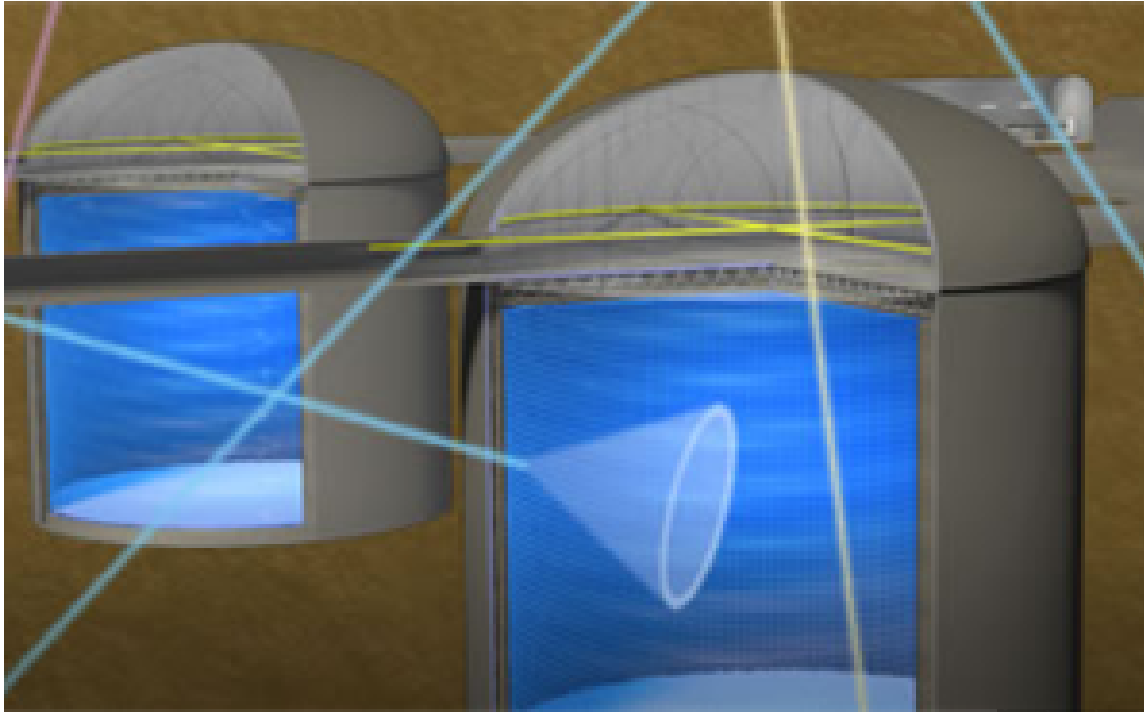
# Napjaink neutrínó-detektorai

Kamiokande, Kamland, Sudbury, Borexino,  
Antres, Bajkál-tó (bányák, víz alatti helyek)

neutrínó – elektron szórás + Cserenkov sugárzás

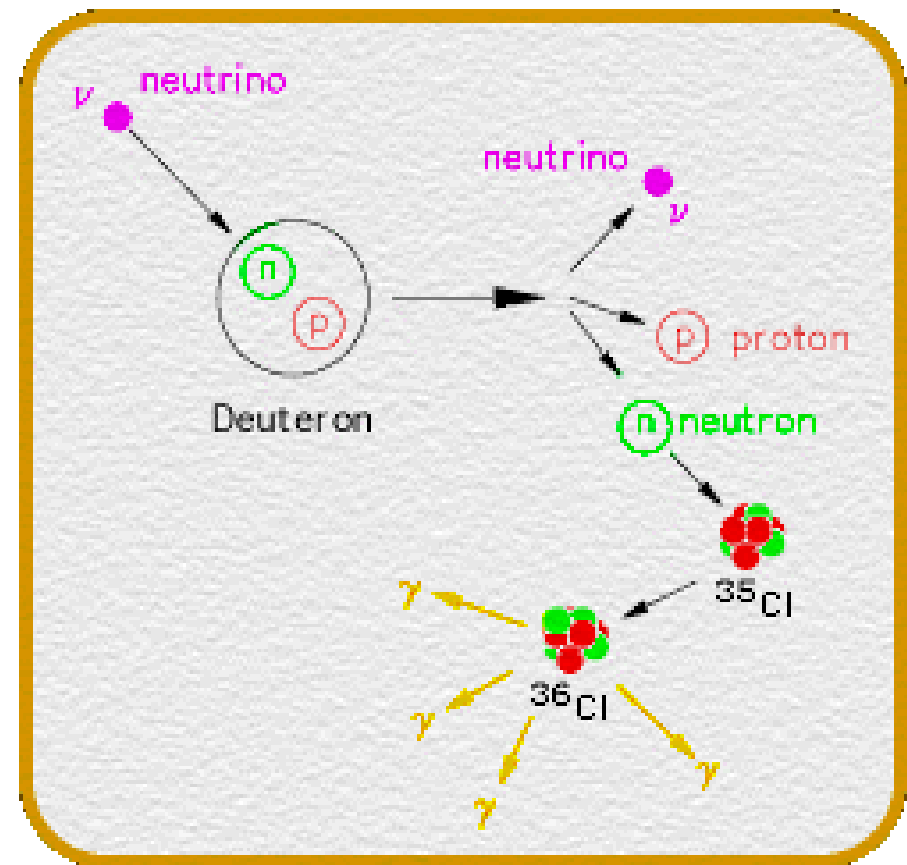
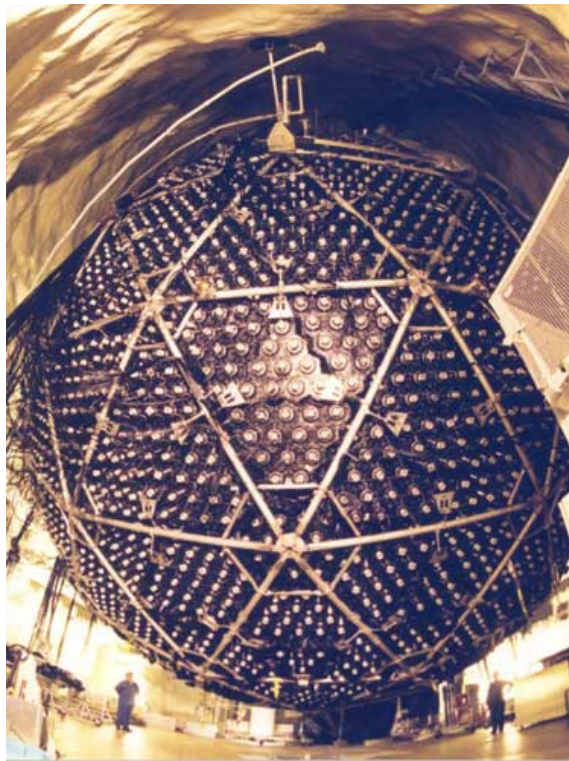


# Hyper-kamiokande



# Sudbury Neutrino Observatory

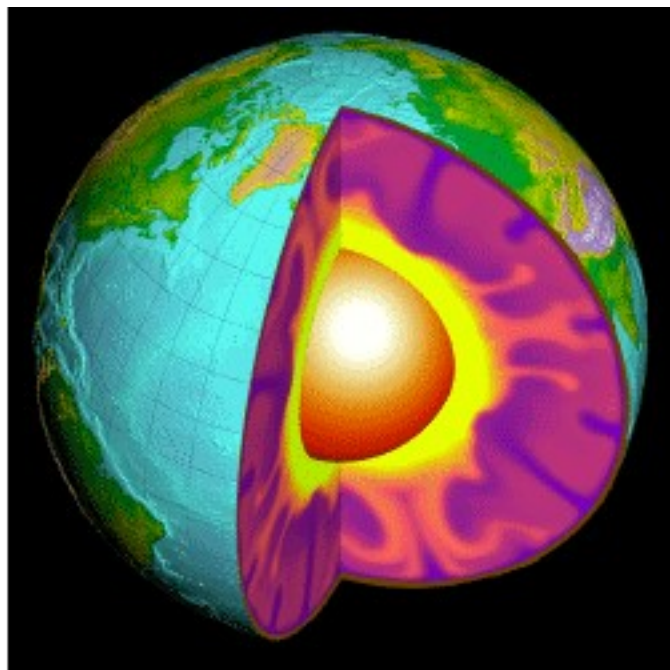
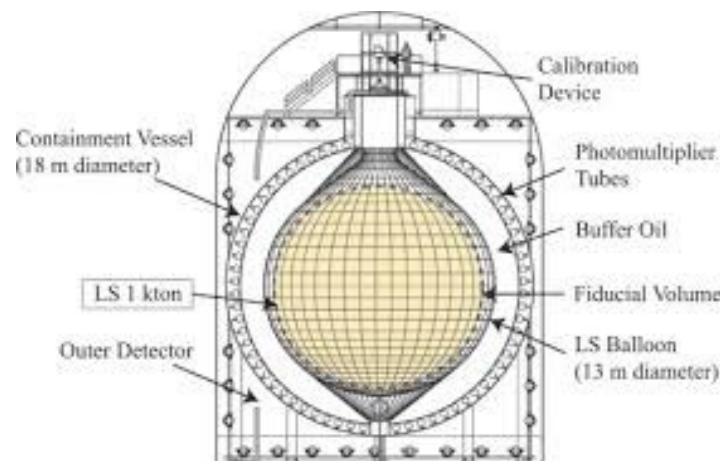
semleges áram  $Z^0$





# Geoneutrínók

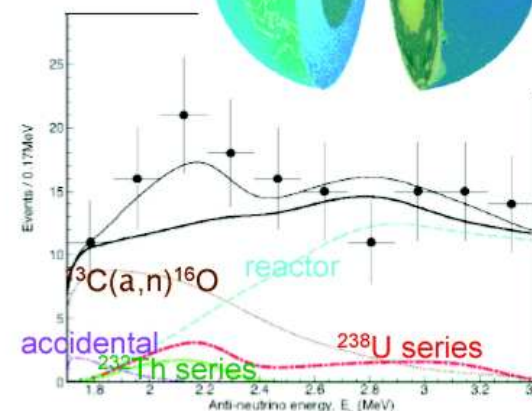
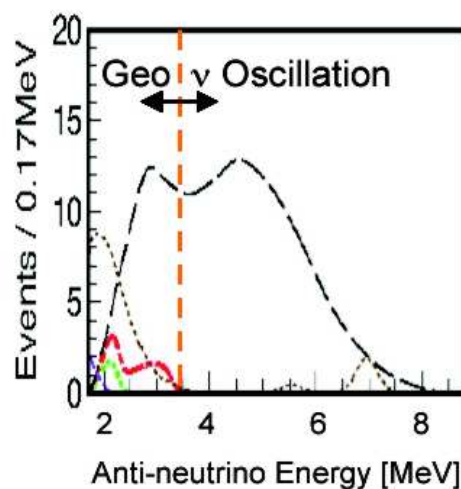
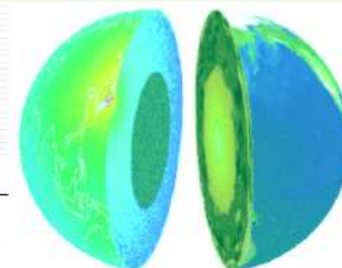
Mi a forrása a föld belsejét melegítő hőnek?



## Geo-physics with $\nu$ 's at KamLAND

Haruo Ikeda

- Exploring the Earth's interior with  $\nu$ 's
  - the Earth's heat flow
  - $\bar{\nu}$  & energy from radio active decays

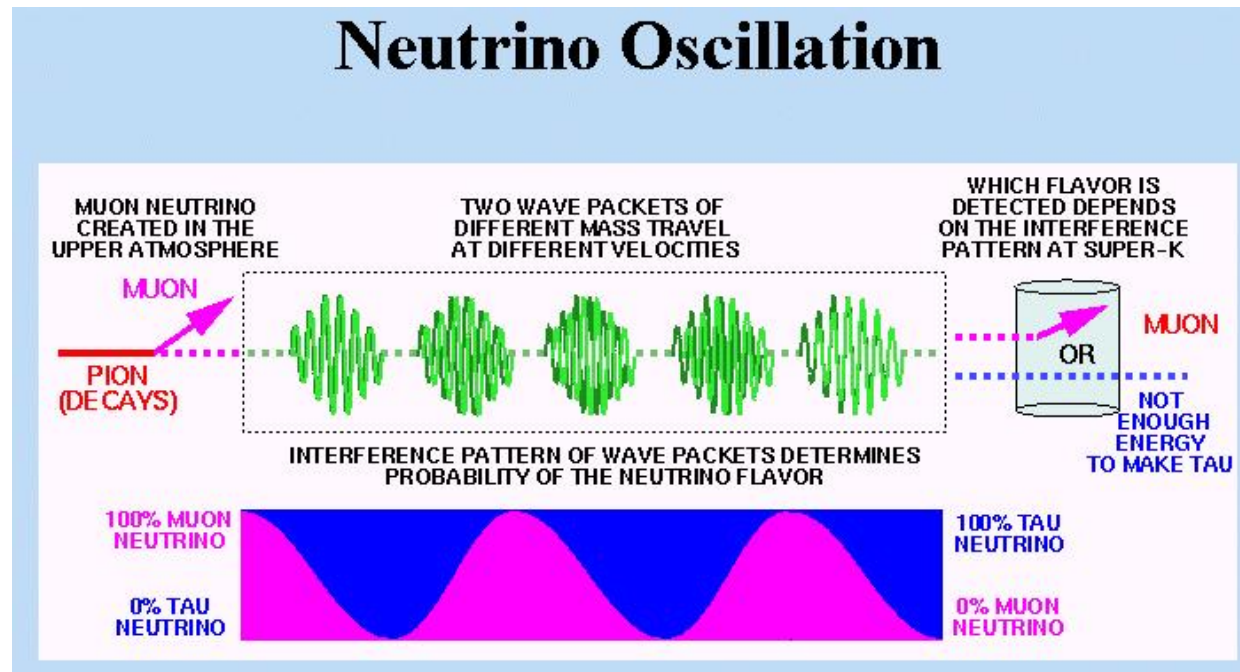


5 ~ 54 geo- $\nu$  events at 90% CL

# Neutrínószcilláció

- Béta-bomlás H sajátállapota  $\leftrightarrow$  szabad mozgás

$$H_0 + H_{\text{béta}} \rightarrow |\nu_e\rangle, |\nu_\mu\rangle, |\nu_\tau\rangle \quad e^{-iH_0 t/\hbar} |\nu_e\rangle$$



# Balkezes neutrínók

Wu-kísérlet, paritás nem marad meg:  
nincsenek jobbkezes neutrínók

