

Neutrínóoszilláció

Sudbury Neutrino Observatory
és OPERA kísérlet

Borvíz Endre
Mag és részecskefizika szeminárium
ELTE, 2018

Bevezető & elméleti összefoglalás

Leptonok: a neutrínó felfedezése és miért volt nehéz a többi részecskéhez képest detektálni?

Napneutrínó-probléma?
Mi is az a neutrínóoszilláció?

Miért olyan fontos az oszcillációs jelenség?

Az anyagi részecskék három családja (fermionok)

	I	II	III		
tömeg→	2,3 MeV/c ²	1,27 GeV/c ²	173 GeV/c ²	0	125 GeV/c ²
töltés→	2/3	2/3	2/3	0	0
spin→	1/2	1/2	1/2	1	0
név→	u u-kvark	c c-kvark	t t-kvark	γ foton	H Higgs-bozon
	d d-kvark	s s-kvark	b b-kvark	g gluon	
	ν_e elektron-neutrínó	ν_μ műon-neutrínó	ν_τ tau-neutrínó	Z⁰ Z-bozon	
	e elektron	μ műon	τ tau	W[±] W-bozon	

Leptonok (left side of the table)
Kvarkok (top side of the table)
Bozonok (kölsönhatások) (right side of the table)

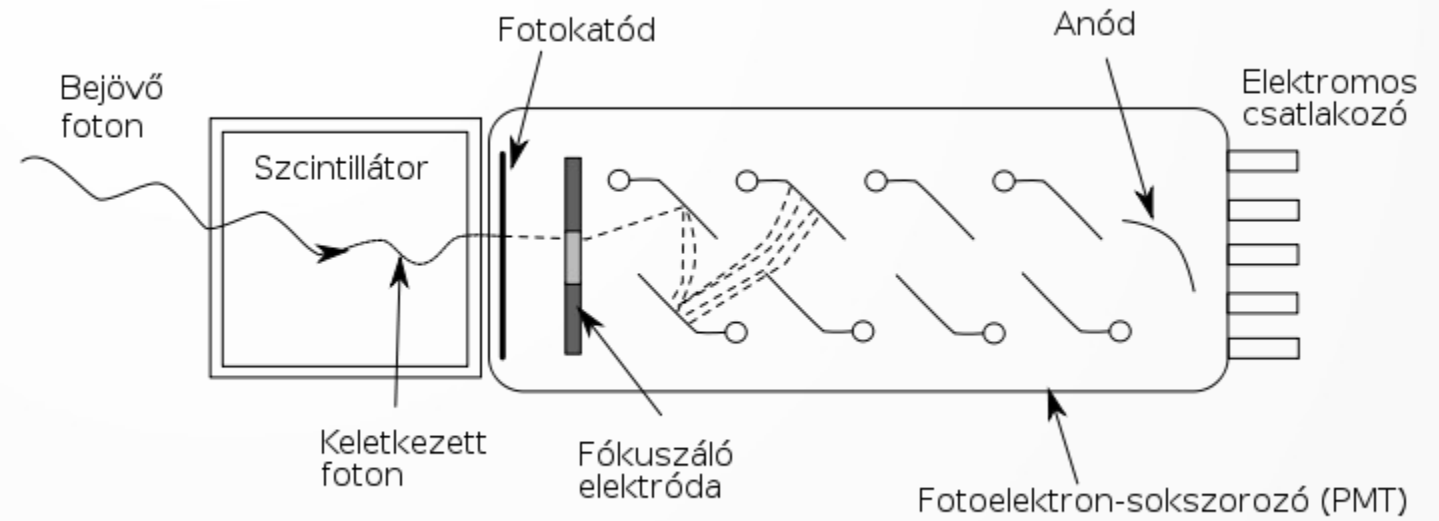
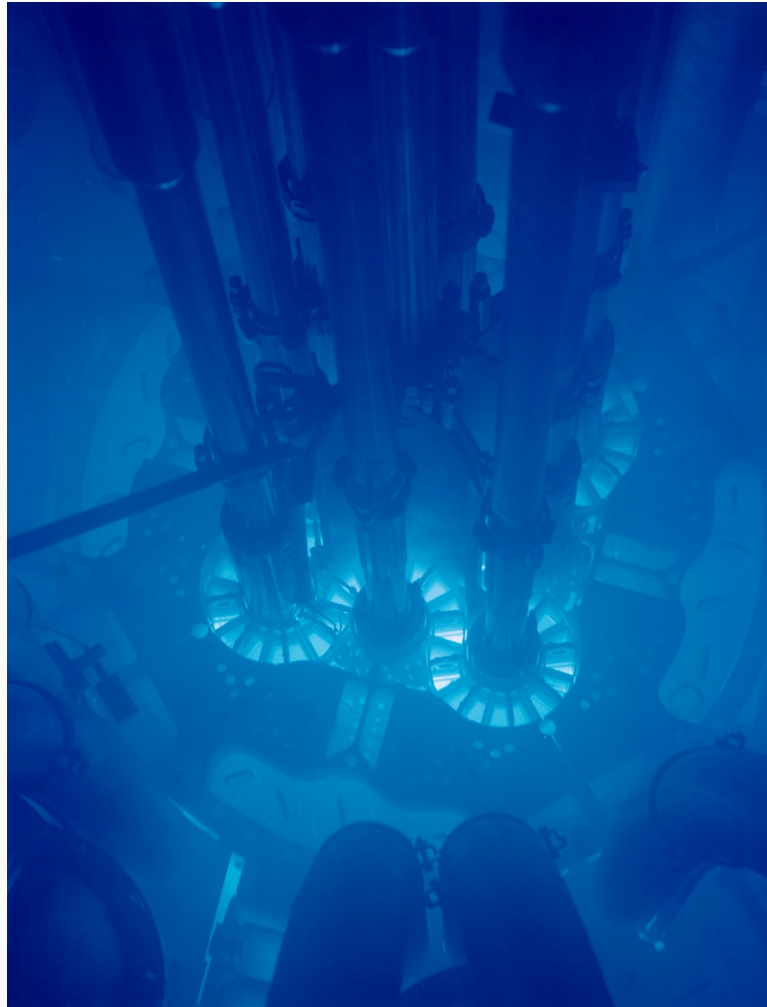
$$\begin{pmatrix} |\nu_e\rangle \\ |\nu_\mu\rangle \\ |\nu_\tau\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |\nu_1\rangle \\ |\nu_2\rangle \\ |\nu_3\rangle \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) = \sin^2 \left(\frac{\Delta(m^2)L}{4E_\nu} \right) \cdot \sin^2(2\theta_m)$$

Neutrínó detektálása

- Magát a neutrínót a tulajdonságai miatt közvetlenül nem tudjuk detektálni, így közvetve kell.
- Nem magát a neutrínót, hanem az általuk – a mikrovilágban létrehozott – gyakran mélyen rugalmatlan ütközések következtében keletkező részecskék ionizációját detektálunk.
- A nagy földalatti napneutrínó detektorok a Cserenkov-sugárzás + szcintillátoros fotoelektron-sokszorozó szoktak használni

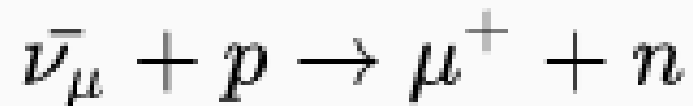
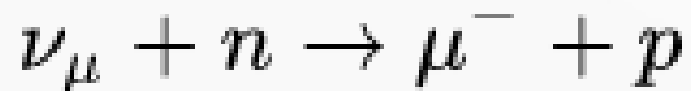
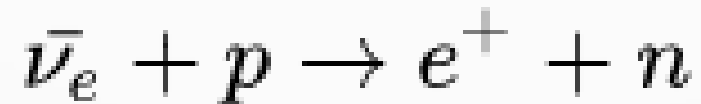
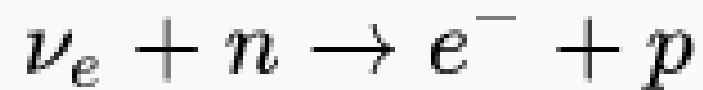
Neutrínó detektálása



Neutrínóoszpilláció bizonyítása

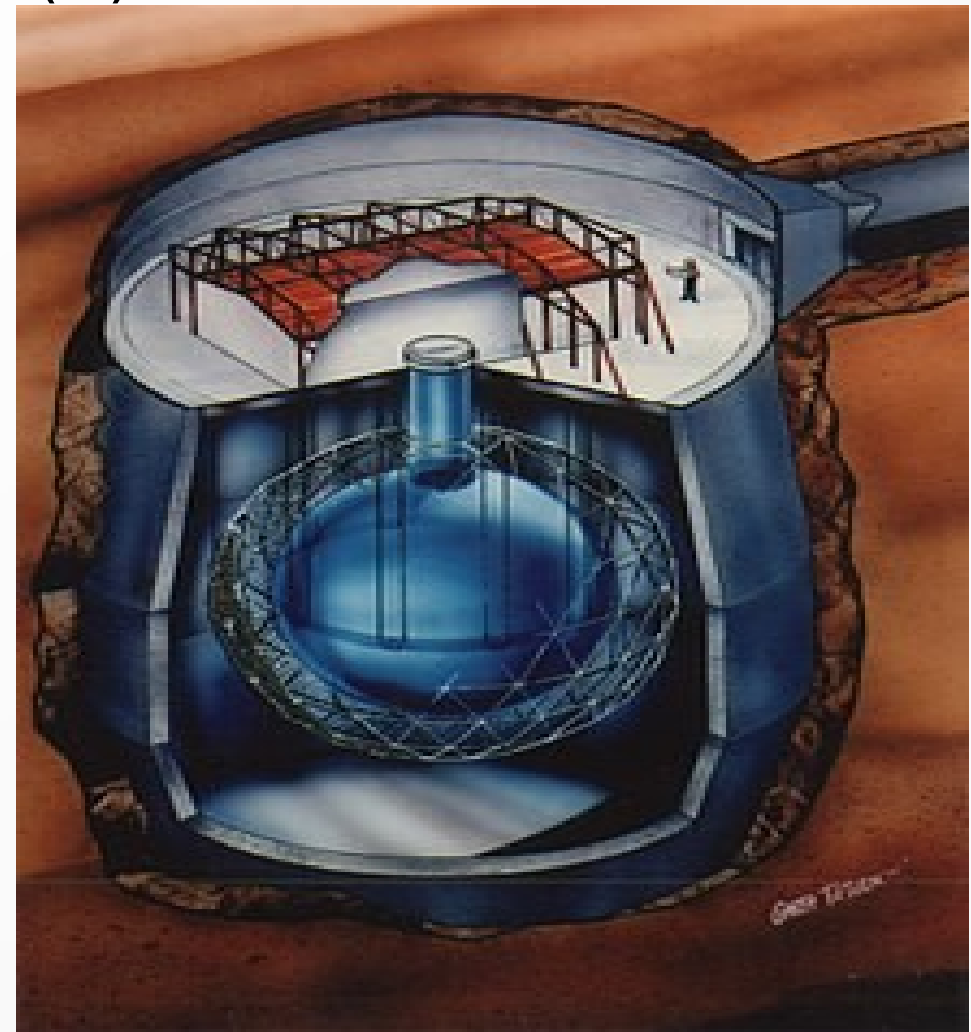
- A japán történt Super-Kamiokande történt a bizonyítása, de nem kimondottan napneutrínó önmagába: kozmikus sugárzás.

(1998)



Sudbury Neutrínó Obszervatórium

- Igazolta a 98-as eredményt 2001-ben. Hasonló elven működik mint a Super-Kamiokande de nehéz vizet használ (D).
- Összetettebb felépítés: van egy külső 10 emeletes panel méretű henger azon belül pedig a nehézvizes 30 t gömb akriltartály + Fotoelektron-sokszorozó.
- 3 fázisban mérte a különböző neutrínó áramokat



Fázisok & mérés részletesebben

- 1. $\nu_e + D \rightarrow p + p + e^-$

Töltött gyenge áram W^+ bozon $n \rightarrow p$

Energiaküszöbe: 1,4 MeV

Csak elektronneutrínó vehet részt

- 2. $\nu_x + D \rightarrow \nu_x + n + p$

Semleges áram Z bozon szétbontja

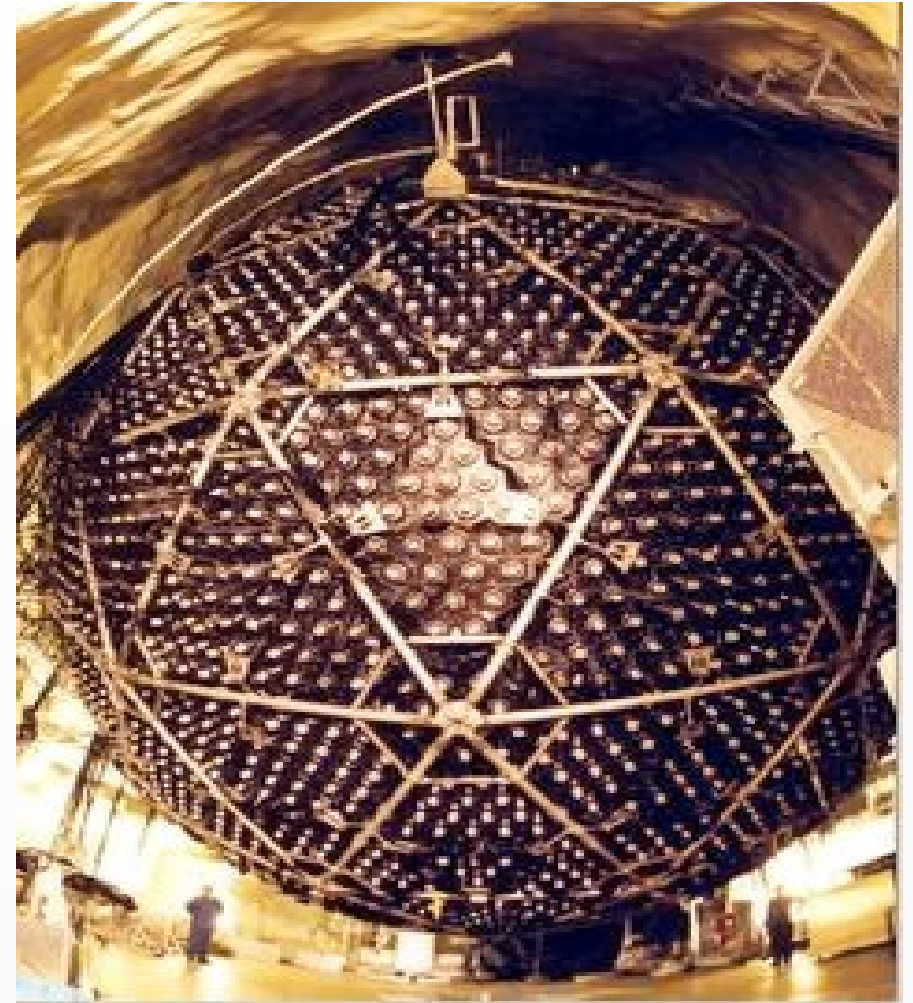
Energiaküszöbe: 2,2 MeV

Mindegyik neutrínóízhez jó hozzá

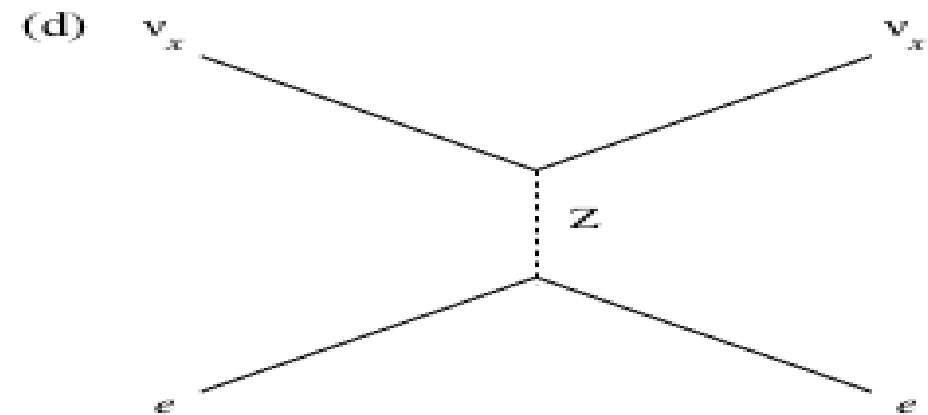
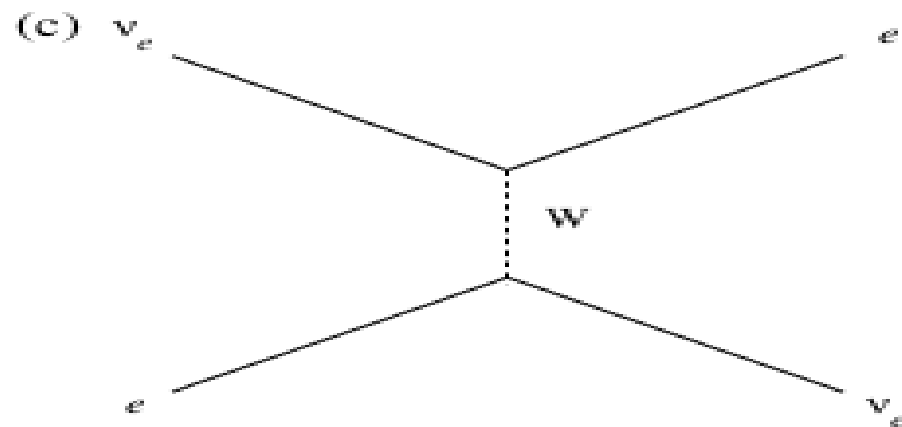
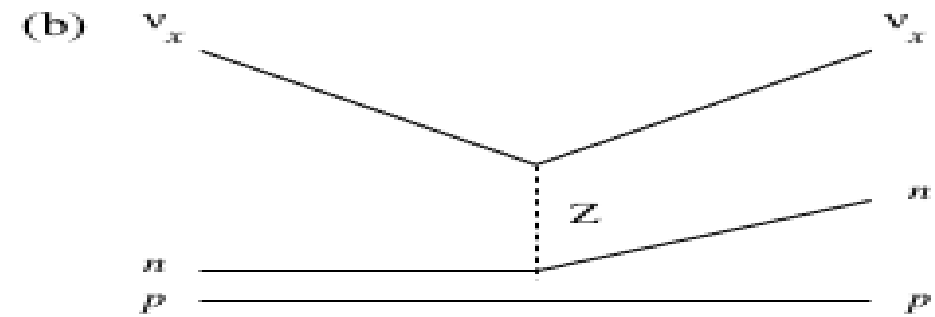
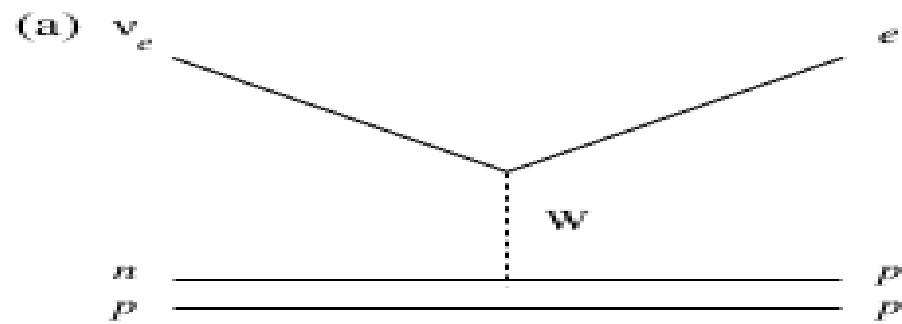
- 3. $\nu_x + e^- \rightarrow \nu_x + e^-$

W és Z -vel

Rugalmas ütközés



Fázisok & mérés részletesebben



Fázisok & mérés részletesebben

I.fázis: csak az 1.-es és a 3.-as tudta mérni

II.fázis: NaCl adtak a nehézvízhez, ez lelassította a neutronot ami így gamma fotonokat emittált ez mérhető Így a 2. is tudta mérni

III.fázis: Cserélték a NaCl proporciós kamrára. A ^3He elnyelte a termikus neutronokat és nagy energiájú p^+ ami a számlálóokban elektromos impulzust hozott létre (erre azért volt szükség, hogy megerősítsék az NaCl mérést)

Kronológia

- 1999 május elindul a kutatás
- 2001.június NaCl keverése a nehézvízhez
- 2001.június 18. megvan a neutrínóoszilláció
- 2003.szeptember Eltávolították a sót, hogy a semleges detektor beletehessék
- 2004. ^3He proporciós számláló
- 2006. Leállt az SNO
- 2015. Nobel díj, Arthur Bruce McDonald a projekt vezetőjének

OPERA kísérlet

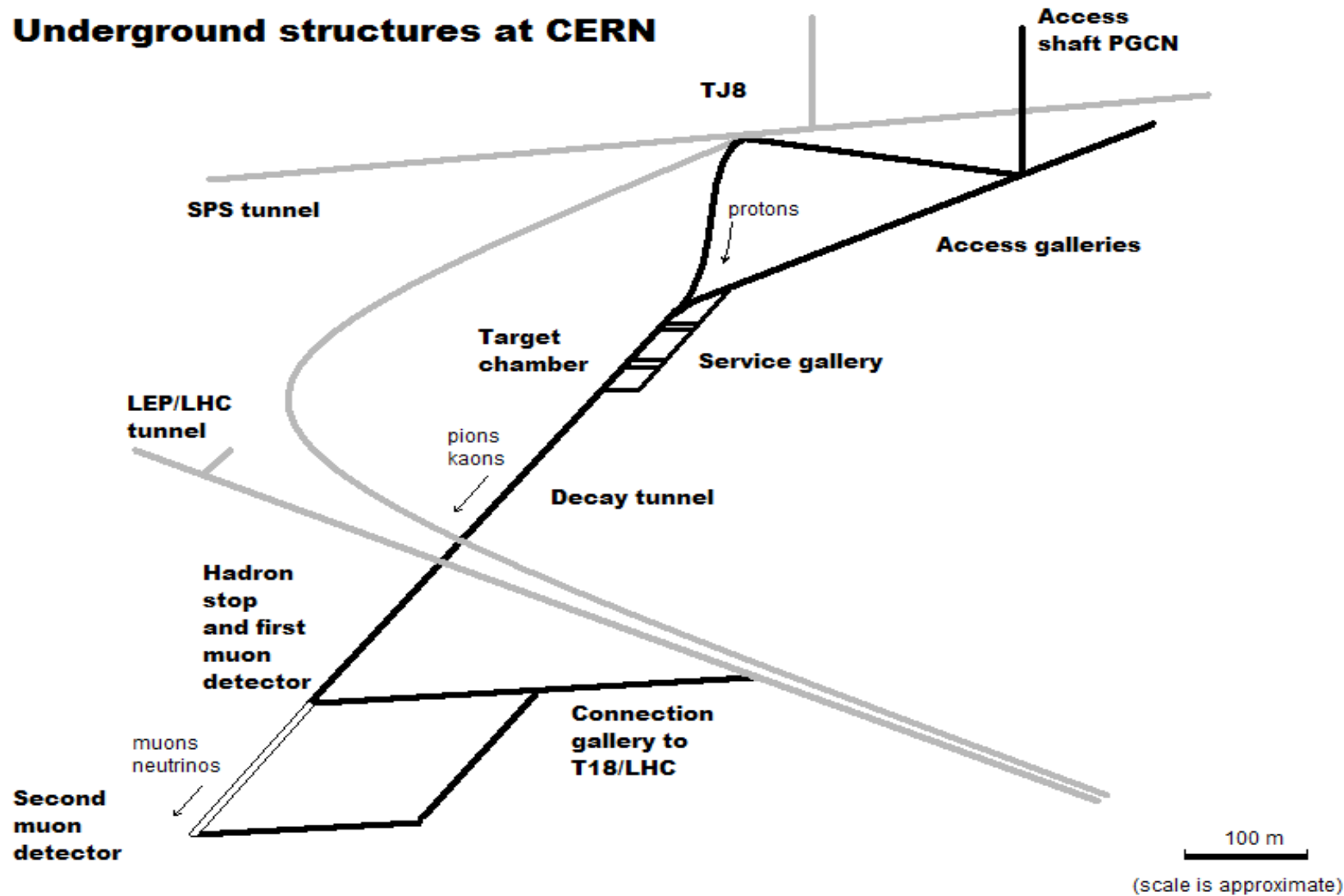
- Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus rövidítése
- Célja: Müon neutrínóból → Tau neutrínó oszcillációja
- És a CNGS használtak, vagyis a CERN-ből neutrínósugarat lőttek a Gran Sasso irányában.

OPERA kísérlet

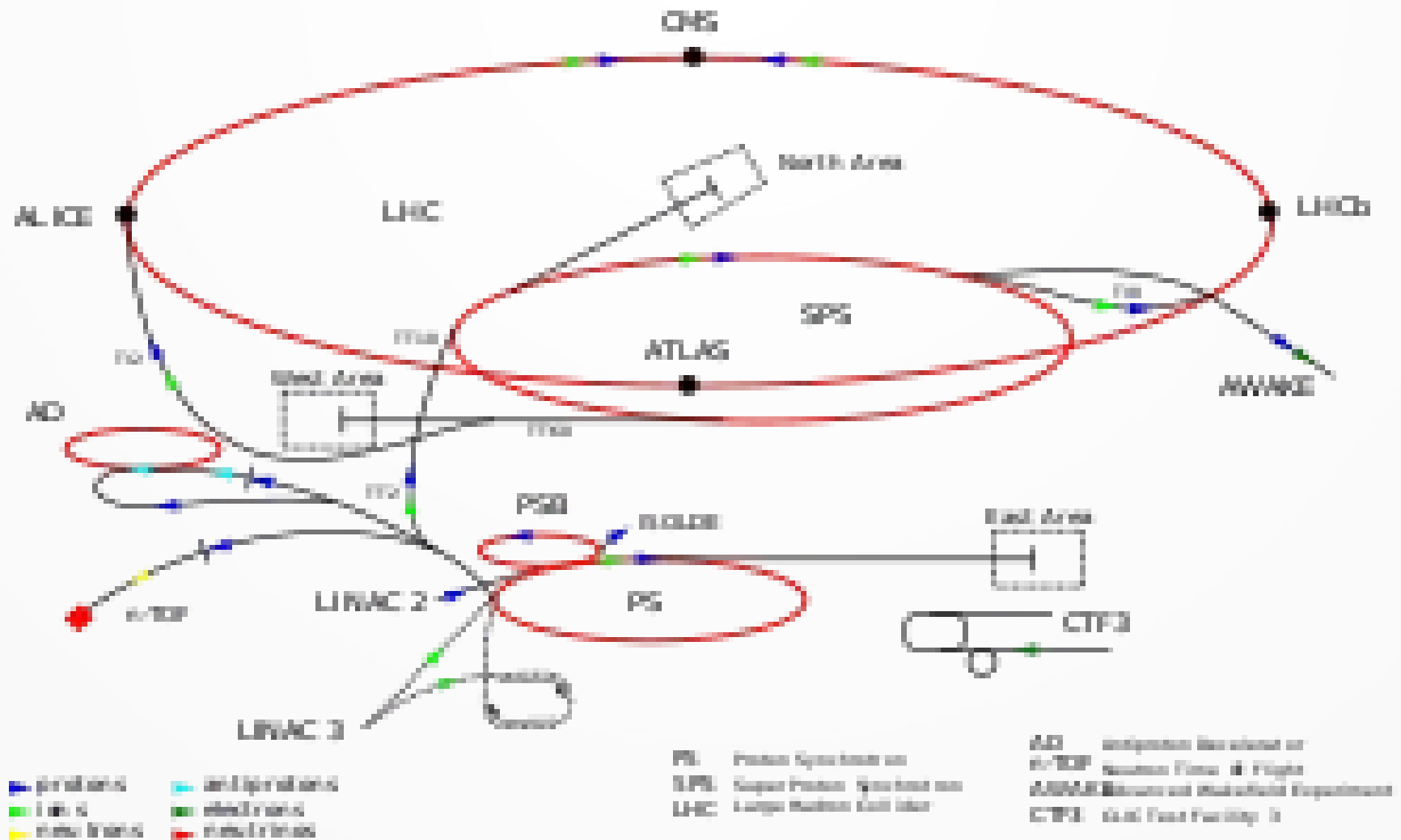
- Mérés elve egyszerűsítve: Egy Szuper proton szinkrotron gyorsítót használtak fel amivel szén céltárgyat lőttek. → Kaon és Pion keletkezik amik széthullanak az alagútban haladva münonra és a neutrínójára így létrehozva a szükséges forrást. Ezt a Gran Sasso laborban detektálják

OPERA kísérlet

Underground structures at CERN



OPERA kísérletek



Eredmények

- Sikeres volt a kísérlet! Több alkalommal is sikerült tau neutrínót mérni.
- Összesen 5 alkalom volt ilyen
- Fénynél gyorsabb részecskék? Egyszerű meghibásodás volt

Köszönöm a figyelmet!

Források:

- Wikipédia (hun)
- Wikipédia (en)
- Fizikai szemle
- Results from the Sudbury Neutrino Observatory