

# Határtaalan neutrínók

Trócsányi Zoltán

Eötvös Loránd Tudományegyetem és  
MTA-DE Részecskefizikai Kutatócsoport

HTP utótalálkozó  
Budapest 2018. december 8

## Mottó

A tudománynak azonban, hogy el ne satnyuljon,  
nem szabad gyakorlati célokat szem előtt tartani.

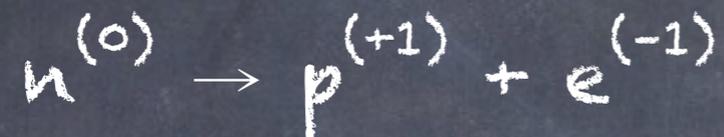
Albert Einstein

Az életnek azonban, hogy el ne satnyuljon,  
nem szabad gyakorlati célokat szem előtt tartani.

TZ

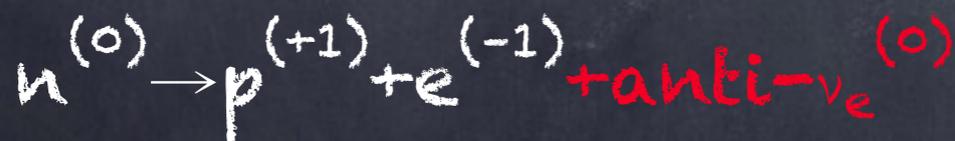
# Wolfgang Pauli jóslata

béta-bomlásban látszik:



- ✓ energia
- ✓ lendület
- ✓ perdület

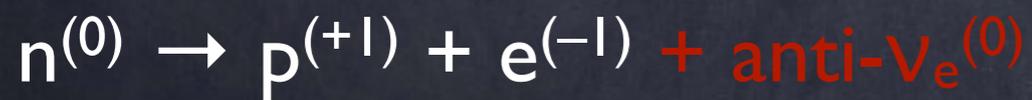
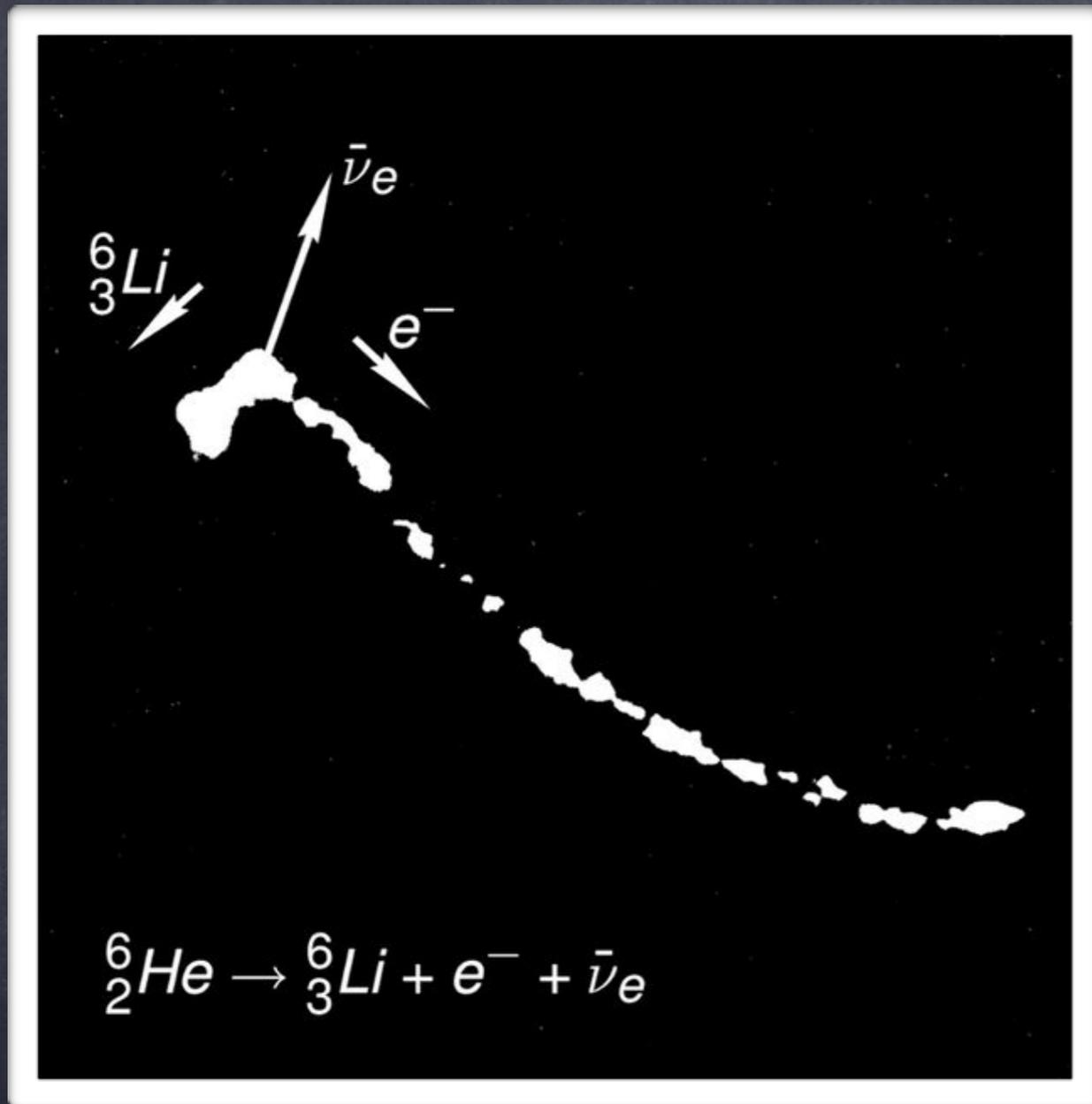
megmaradása megköveteli egy további részecske keletkezését



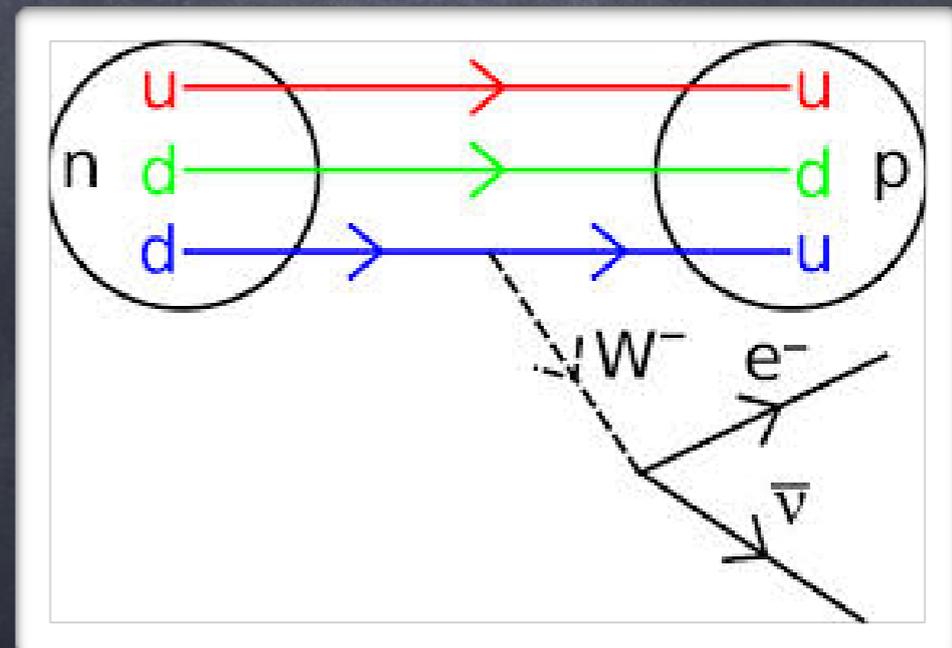
Wolfgang Pauli (1900-1958)  
a „Pauli kizárási elv felfedezéséért”

**Marx György: a leptonszám megmarad**

# Csikai-Szalay kísérlet (1956)

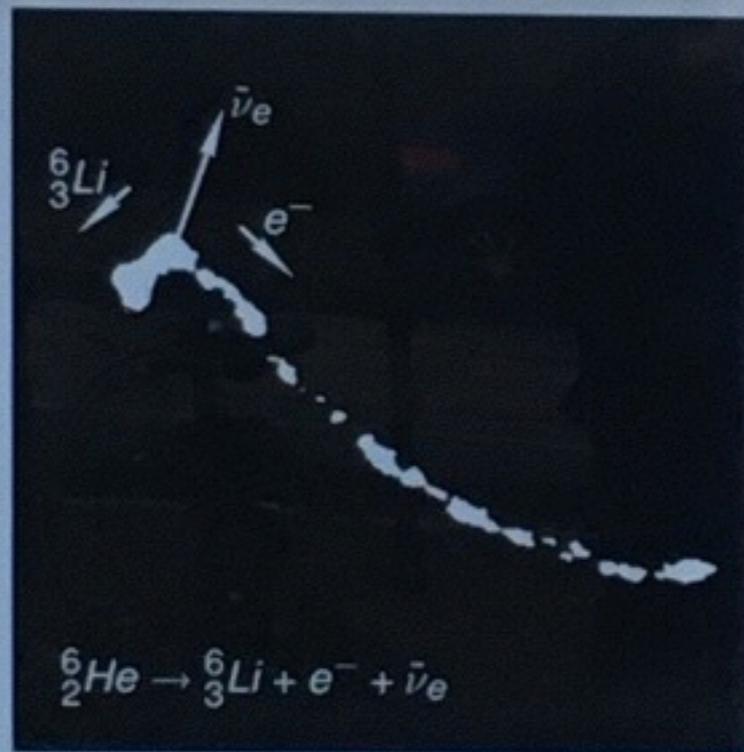


elemi szinten:



# Csikai-Szalay Kísérlet (1956)

ma az Atomki az Európai Fizikai Társulat történelmi emlékhelye



## EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY – EPS HISTORIC SITE THE NEUTRINO EXPERIMENT AT MTA ATOMKI

USING A CLOUD CHAMBER LOCATED IN THIS BUILDING, IN 1956 J. CSIKAI AND A. SZALAY PHOTOGRAPHED BETA-DECAY EVENTS. IN SOME CASES THE ANGLE BETWEEN THE TRACKS OF THE ELECTRON AND THE RESIDUAL NUCLEUS IMPLIED THE EMERGENCE OF AN UNDETECTED THIRD PARTICLE IN THE DECAY. THUS CONFIRMING THE EXISTENCE OF THE NEUTRINO, THE DEBRECEN NEUTRINO EXPERIMENT LAID A BRICK OF THE FOUNDATION OF MODERN PHYSICS.

## EURÓPAI FIZIKAI TÁRSULAT – EPS TÖRTÉNELMI EMLÉKHELY A NEUTRINÓKÍSÉRLET, MTA ATOMKI

1956-BAN CSIKAI GYULA ÉS SZALAY SÁNDOR EBBEN AZ ÉPÜLETBEN BÉTA-BOMLÁSI ESEMÉNYEKET FÉNYKÉPEZETT LE EGY KÖDKAMRÁBAN. AZ ELEKTRON ÉS A MARADÉKMAG PÁLYÁJÁNAK SZÖGE AZT MUTATJA, HOGY A BOMLÁSBAN KELETKEZIK EGY NEM DETEKTÁLT HARMADIK RÉSZECSEKE IS. A NEUTRINÓ LÉTEZÉSÉT ÍGY MEGERŐSÍTVE, A KÍSÉRLET HOZZÁJÁRULT A MODERN FIZIKA MEGALAPOZÁSÁHOZ.



DEBRECEN  
2013

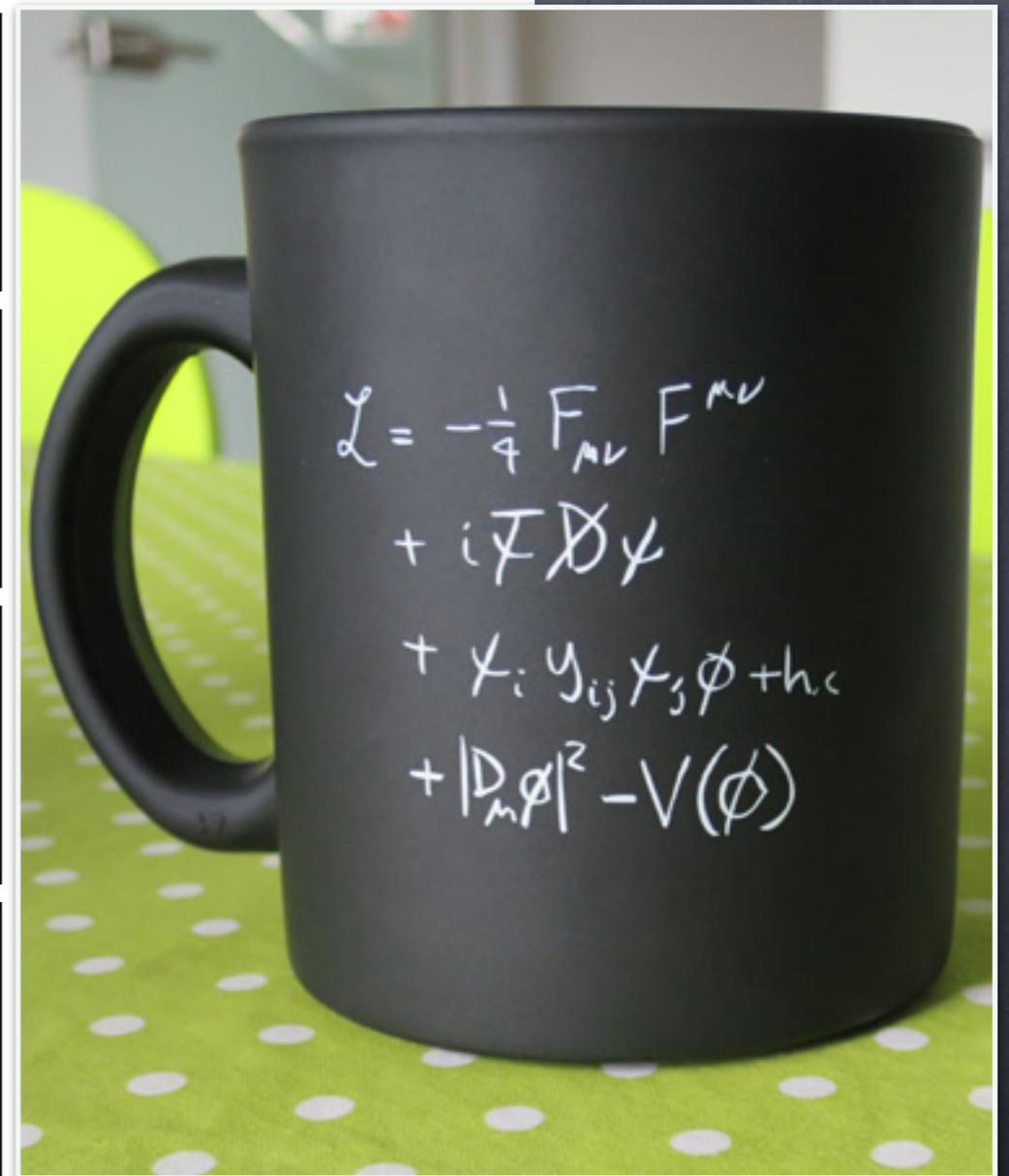


# Elemi részecskék és kölcsönhatásai

Az anyagi részecskék három családja (fermionok)

	I	II	III
tömeg →	2,3 MeV/c <sup>2</sup>	1,27 GeV/c <sup>2</sup>	173 GeV/c <sup>2</sup>
töltés →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
név →	u-kvark	c-kvark	t-kvark
Kvarkok	4,8 MeV/c <sup>2</sup>	95 MeV/c <sup>2</sup>	4,2 GeV/c <sup>2</sup>
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d-kvark	s-kvark	b-kvark
Leptonok	<2,2 eV/c <sup>2</sup>	<0,17 MeV/c <sup>2</sup>	<15,5 MeV/c <sup>2</sup>
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	elektron-neutrínó	müon-neutrínó	tau-neutrínó
	0,511 MeV/c <sup>2</sup>	105,7 MeV/c <sup>2</sup>	1,777 GeV/c <sup>2</sup>
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	elektron	müon	tau

neutrínó  
ízek





# Neutrínók észlelése

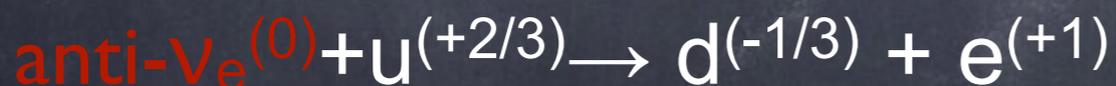
Detektoraink az elektromos erőt érző, vagy a nehéz részecskéket észlelik

$\beta$ -bomlás elemi szinten:

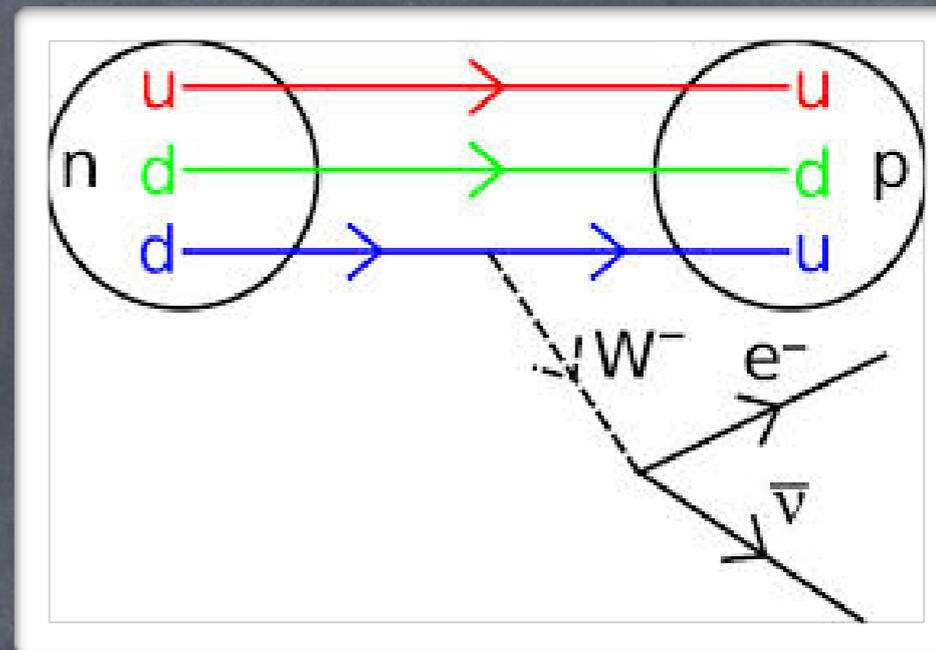


megfordítva, elemi szinten:

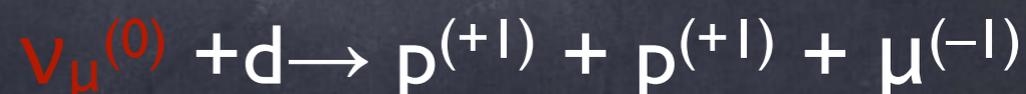
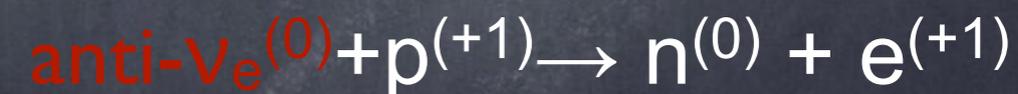
töltéscserével (töltött áram kölcsönhatás):



töltéscsere nélkül (semleges áram kölcsönhatás):



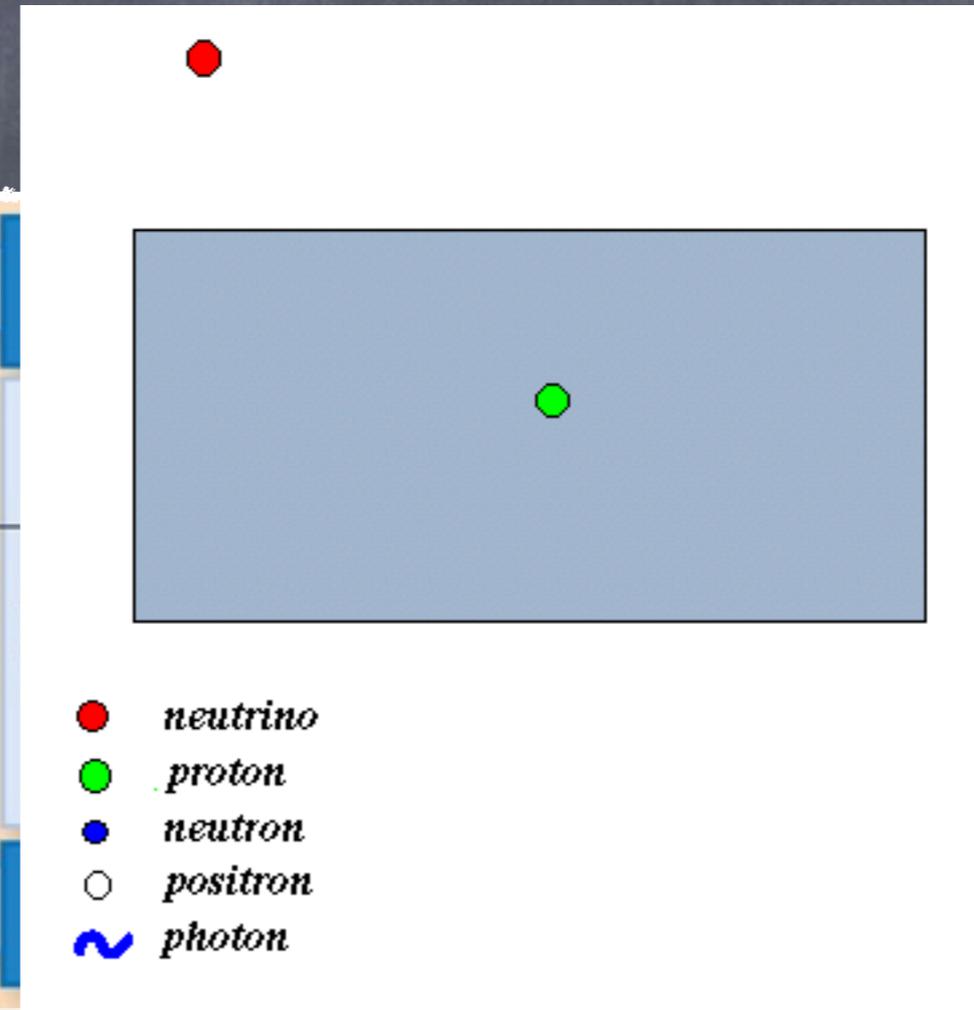
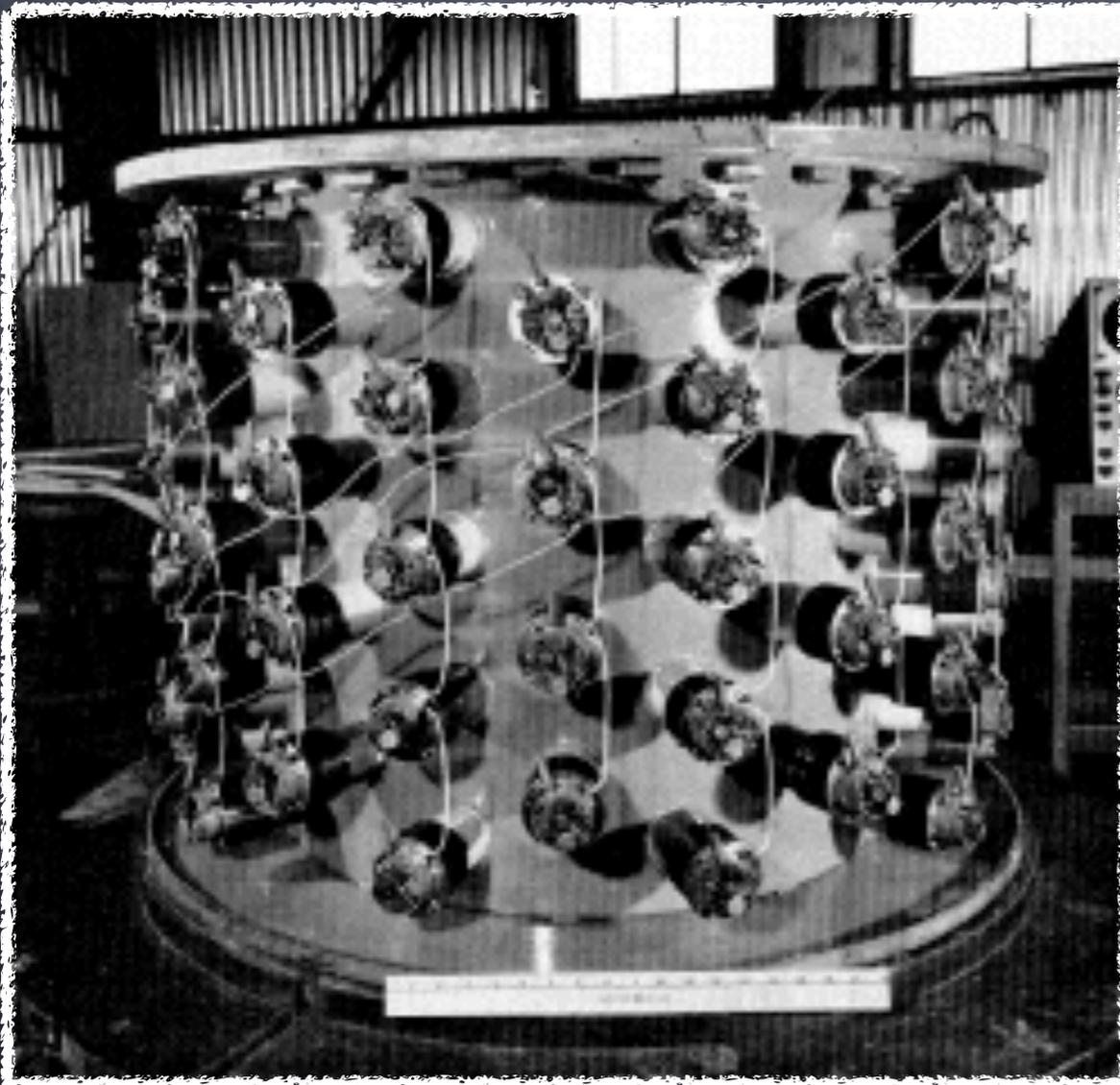
észlelt részecskék szintjén:





# Reines-Cowan kísérlet (1956)

Savannah riveri atomreaktor közelében CdCl<sub>2</sub> oldattal töltött tartály:

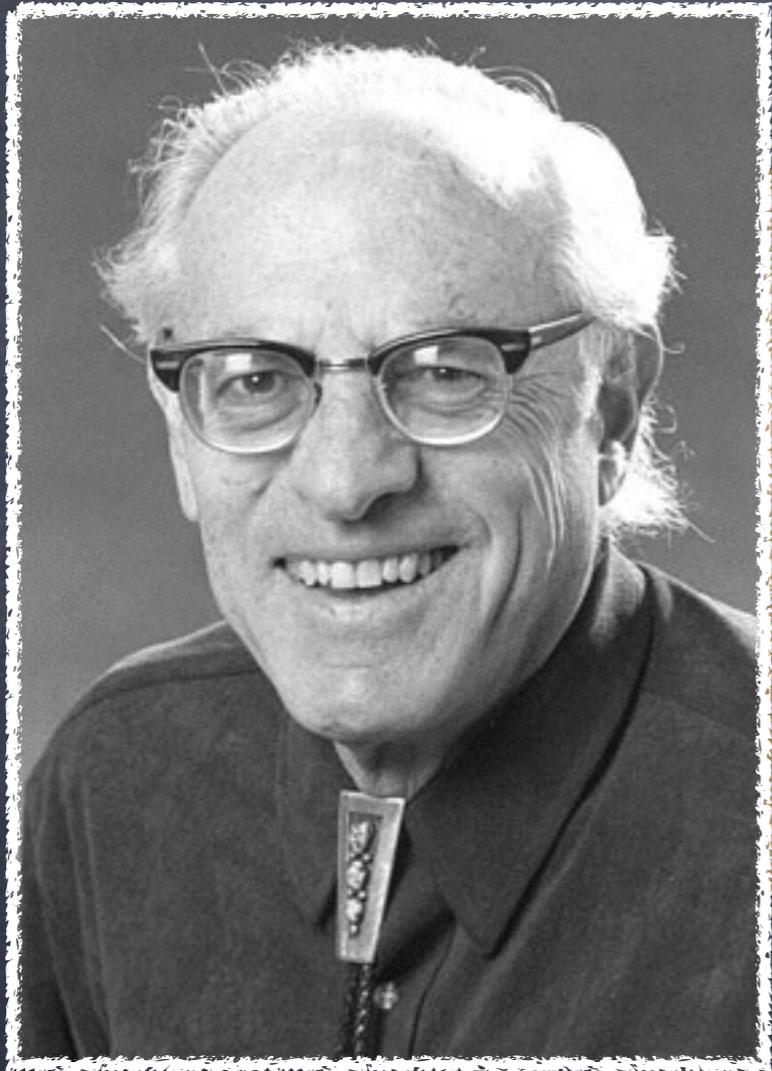


hatáskeresztmetszet:

mért:  $6,3 \cdot 10^{-48} \text{ m}^2$

számolt:  $6 \cdot 10^{-48} \text{ m}^2$

# A 1995. évi fizikai Nobel díj



Frederick Reines  
(1918-1998)

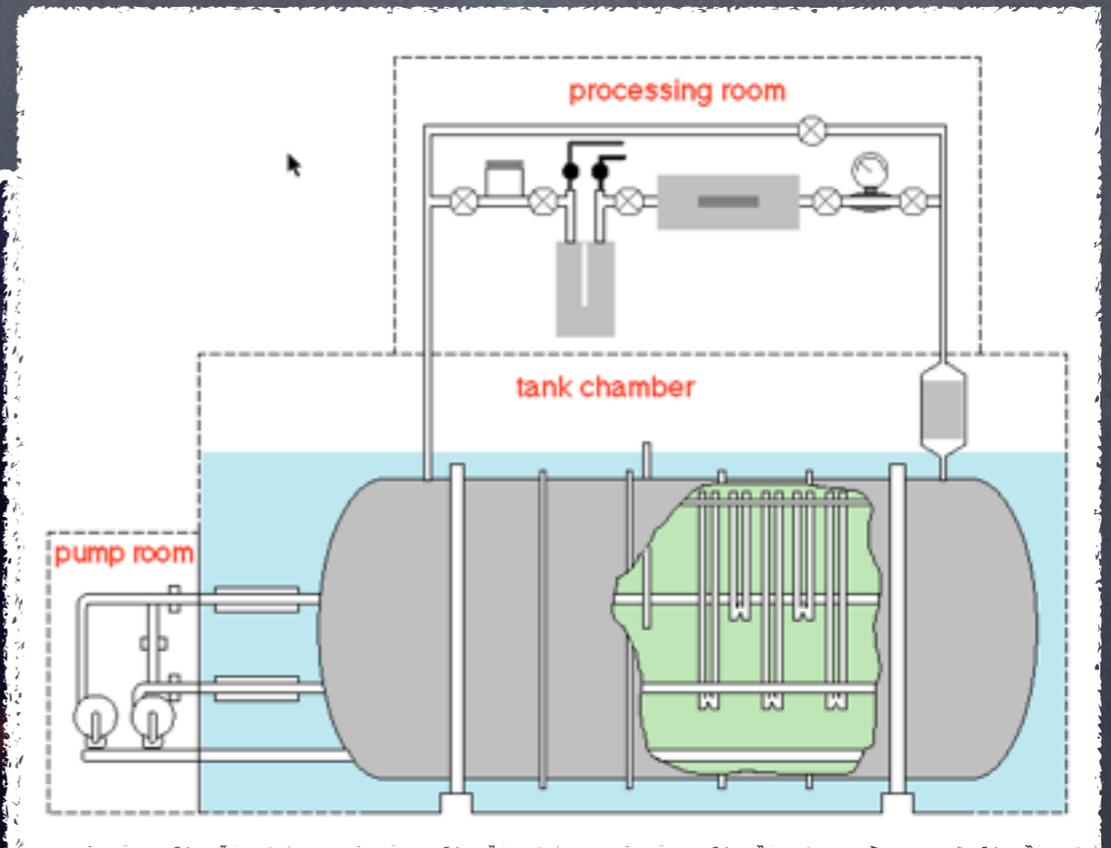
*a „neutrínó létezésének közvetlen kimutatásáért”*

# Davis Kísérlete (1968-1993)

Homestake aranybányában  
(1480m felszín alatt) 615 t  
perklóretilénnel töltött tartály:



Eseményszám egysége: **1 SNU**  
= 1 esemény/ $10^{36}$  Cl mag/sec



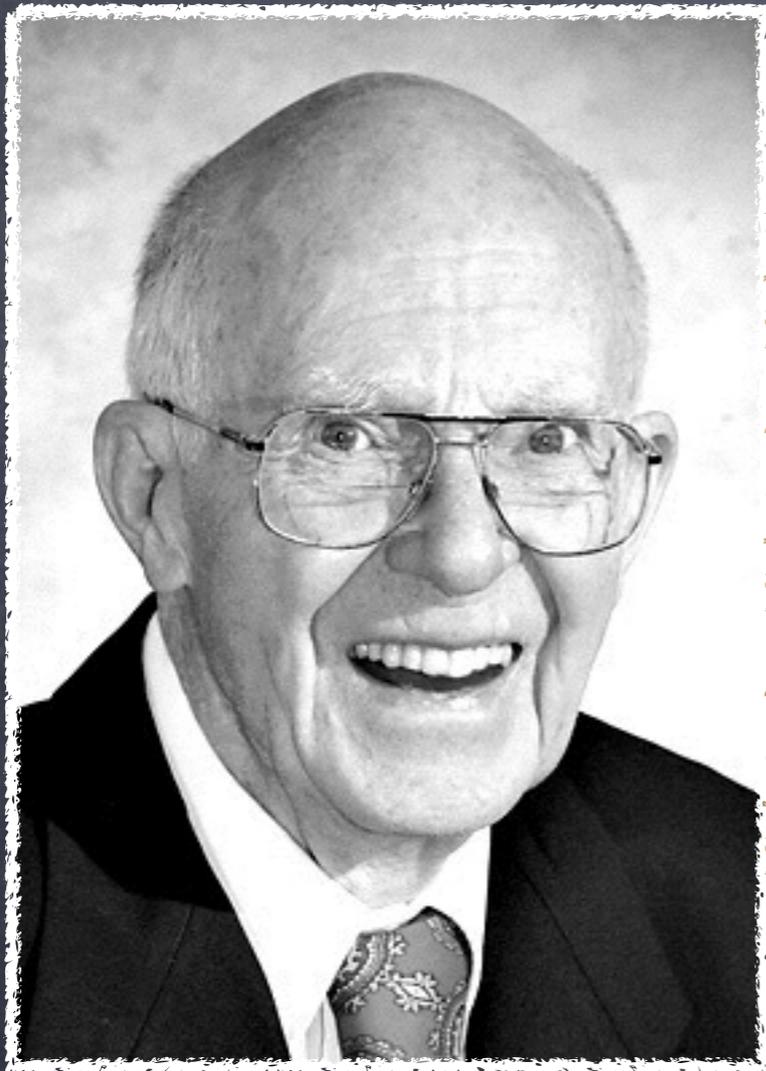
eseményszám:

mért:  **$2,56 \pm 0,23$  SNU**  
(17 Ar/70 nap)

becsült:  **$8,2 \pm 1,8$  SNU**

**Nap-neutrínó rejtély**

# A 2002. évi fizikai Nobel díj

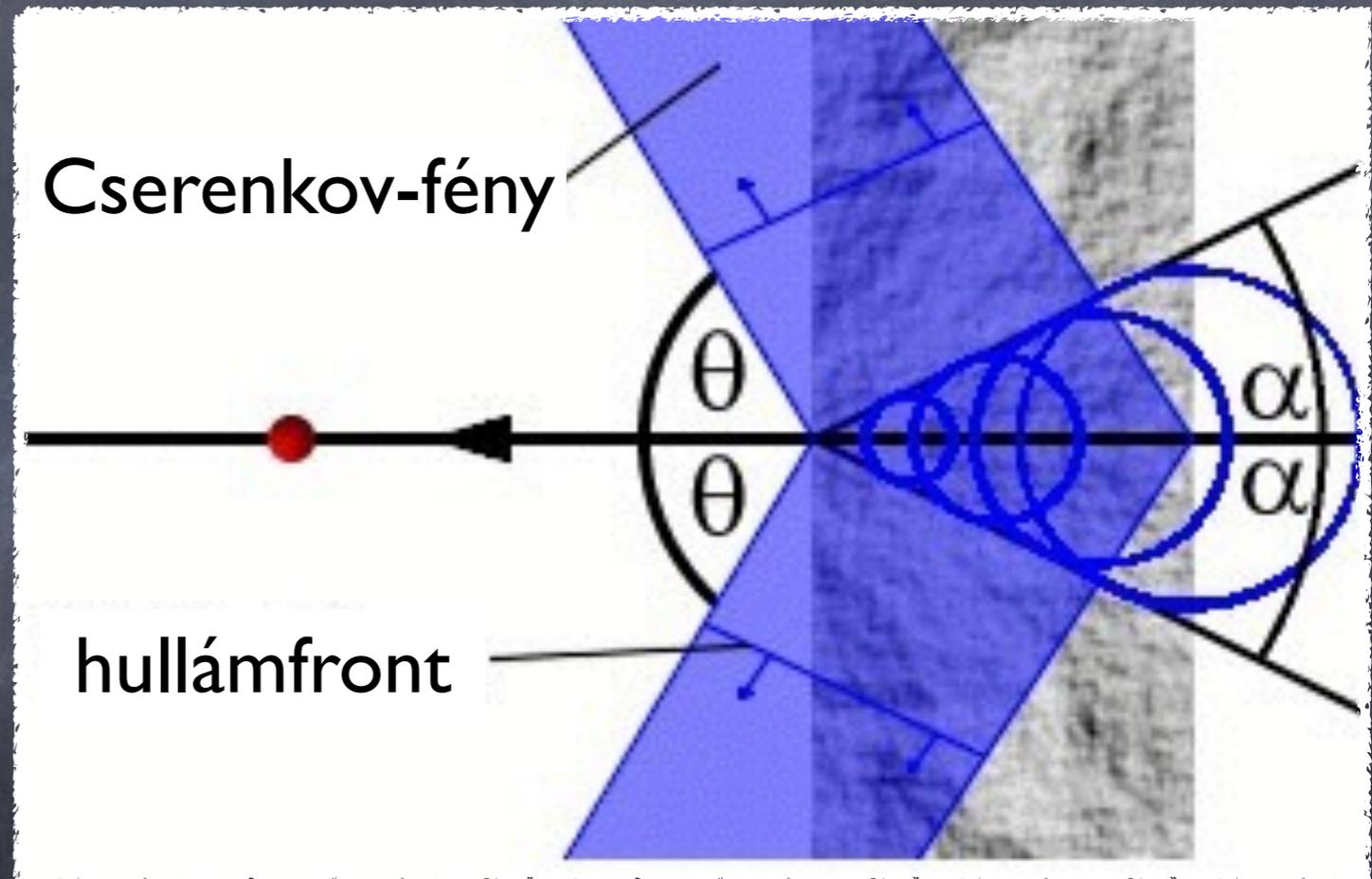


Raymond Davis Jr.  
(1914-2006)

Masatoshi Koshiro  
(1926-)

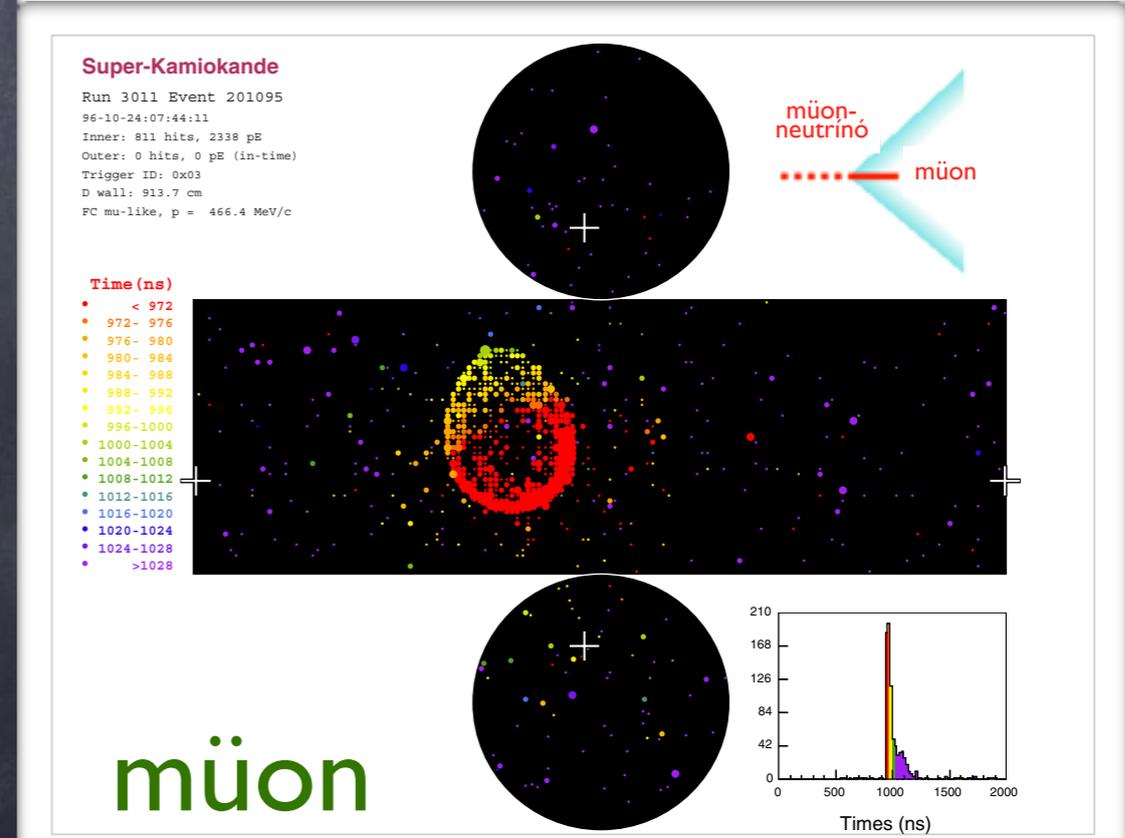
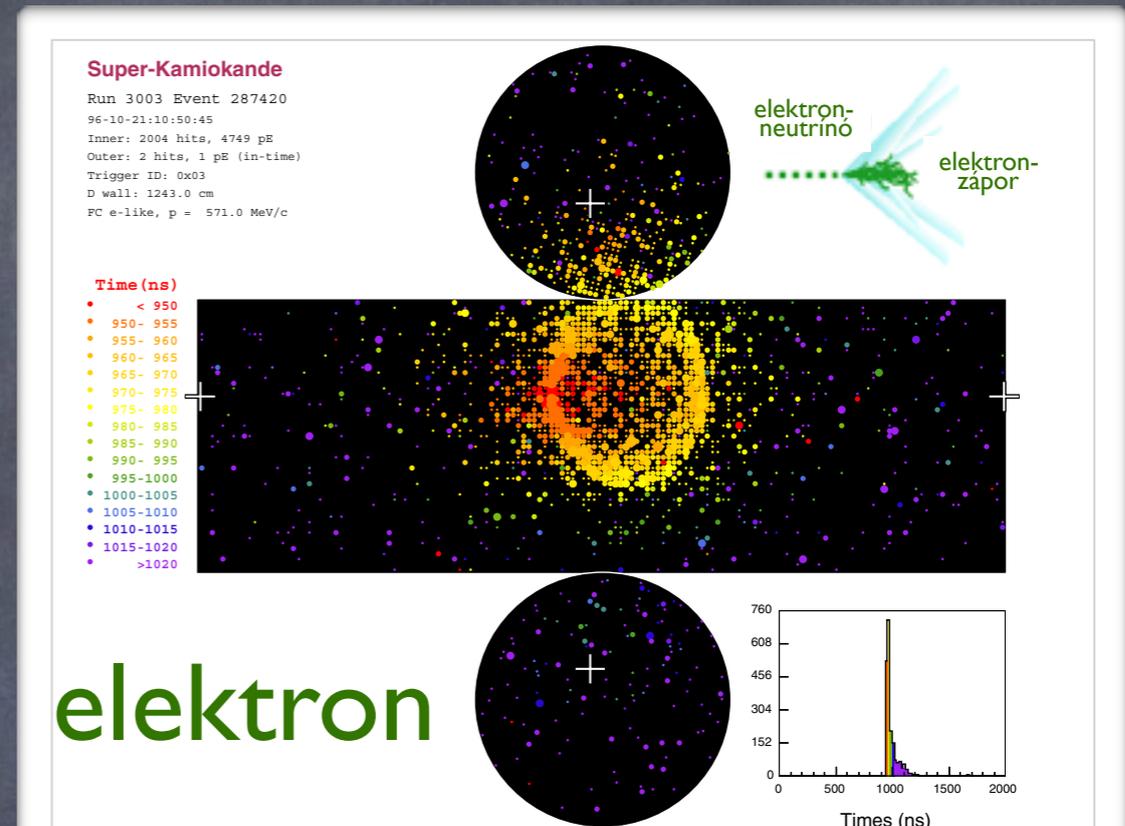
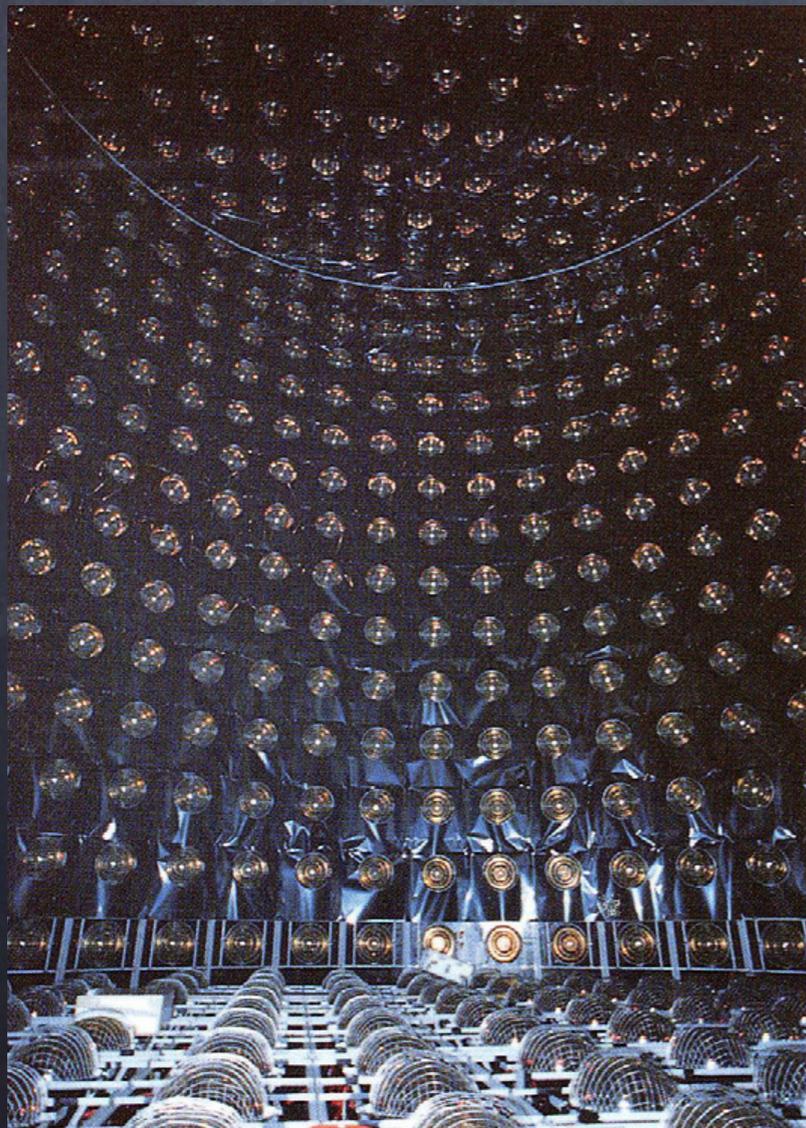
*a „ kozmikus eredetű neutrínók észleléséért”*

# Cserenkov-sugárzás

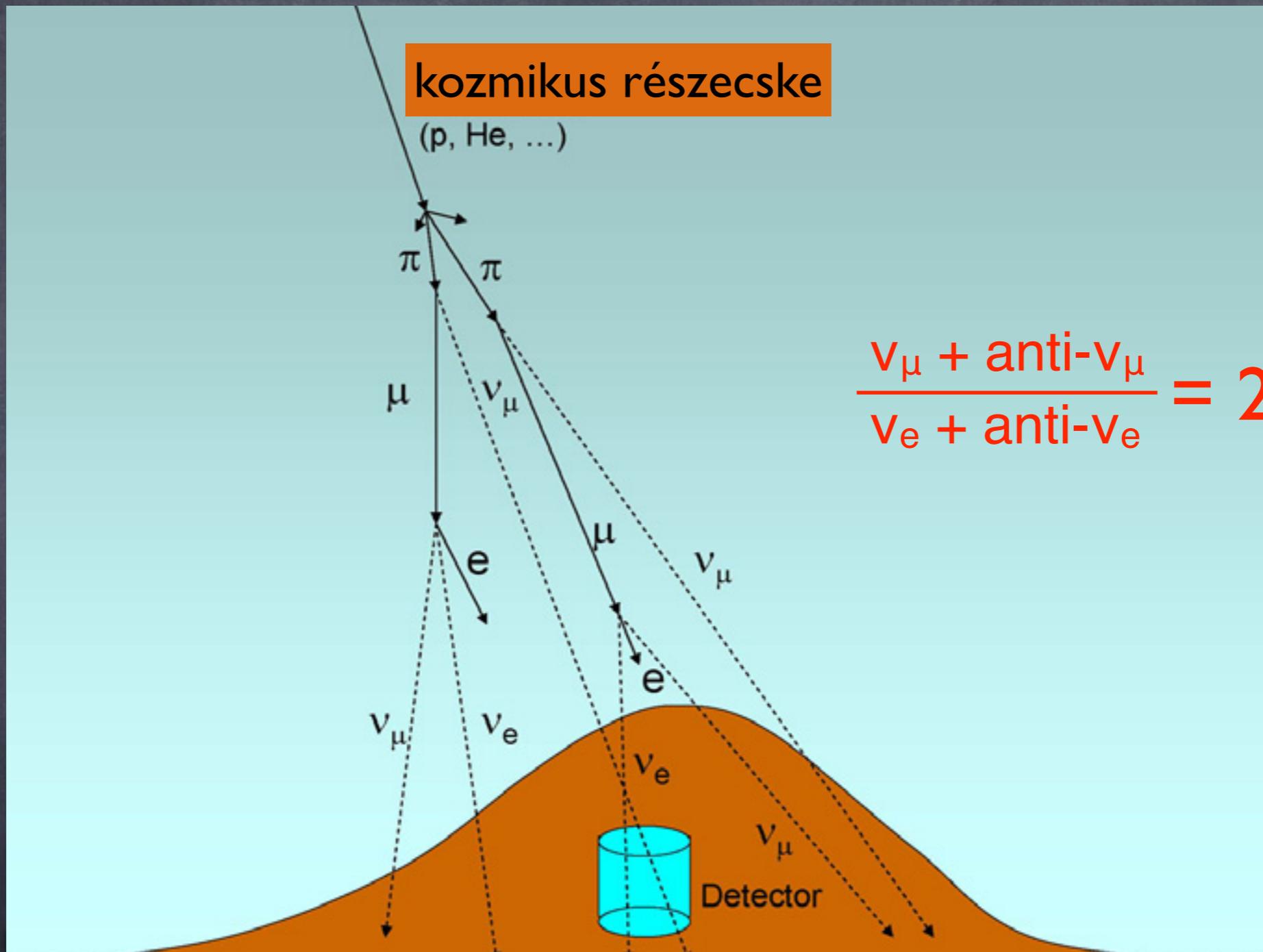


# Kamiokande-II detektor

A nagy PM csövek alkamasak elektron és müon által keltett Cserenkov-kúp megkülönböztetésére: megerősítette a Nap-neutrínó hiányt



# Légköri neutrínók rejtélye

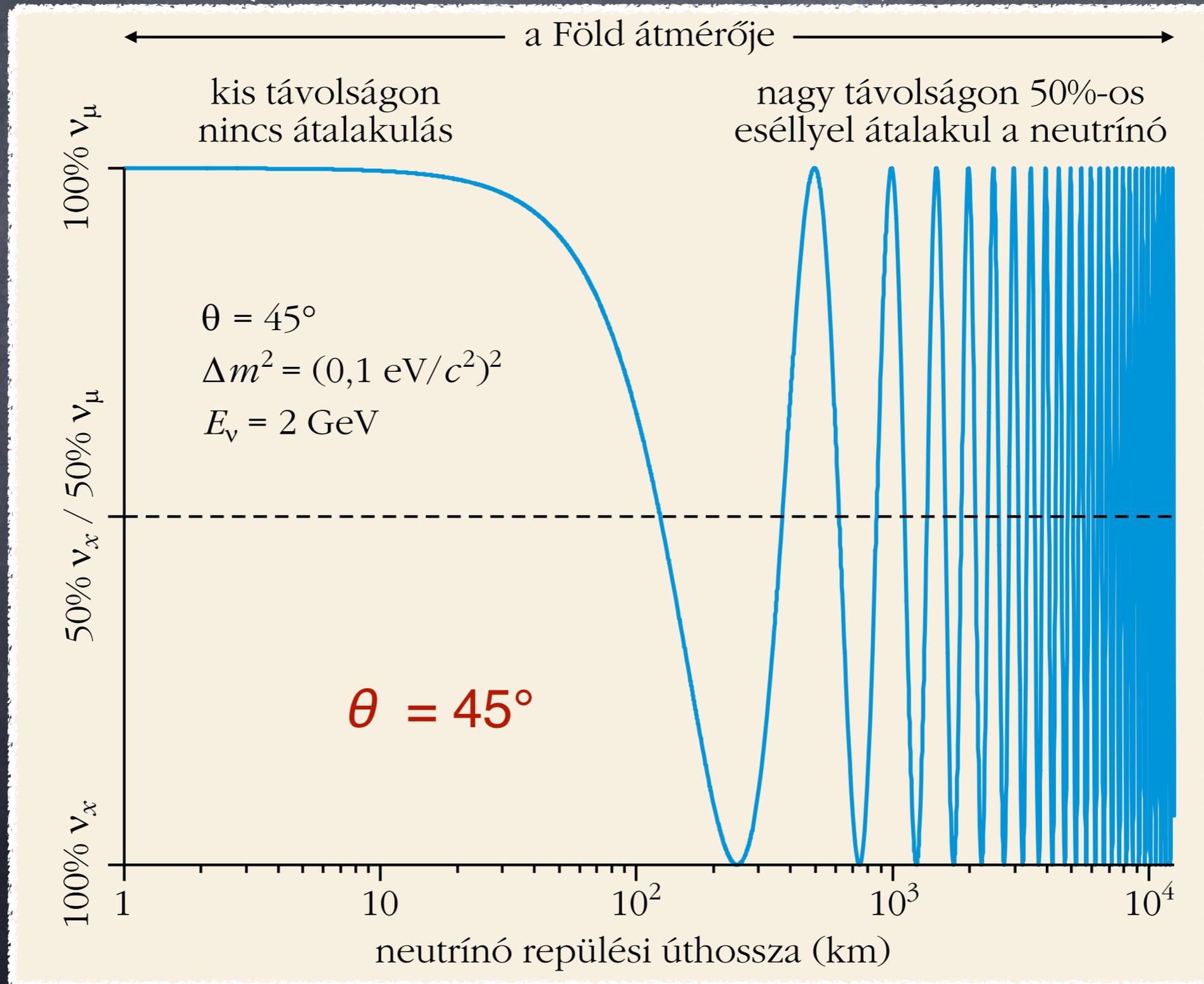


$$\frac{\nu_{\mu} + \text{anti-}\nu_{\mu}}{\nu_e + \text{anti-}\nu_e} = 2$$

	adat	elmélet
elektron események	$93,0 \pm 9,6$	88,5
müion események	$85,2 \pm 9,2$	144,0

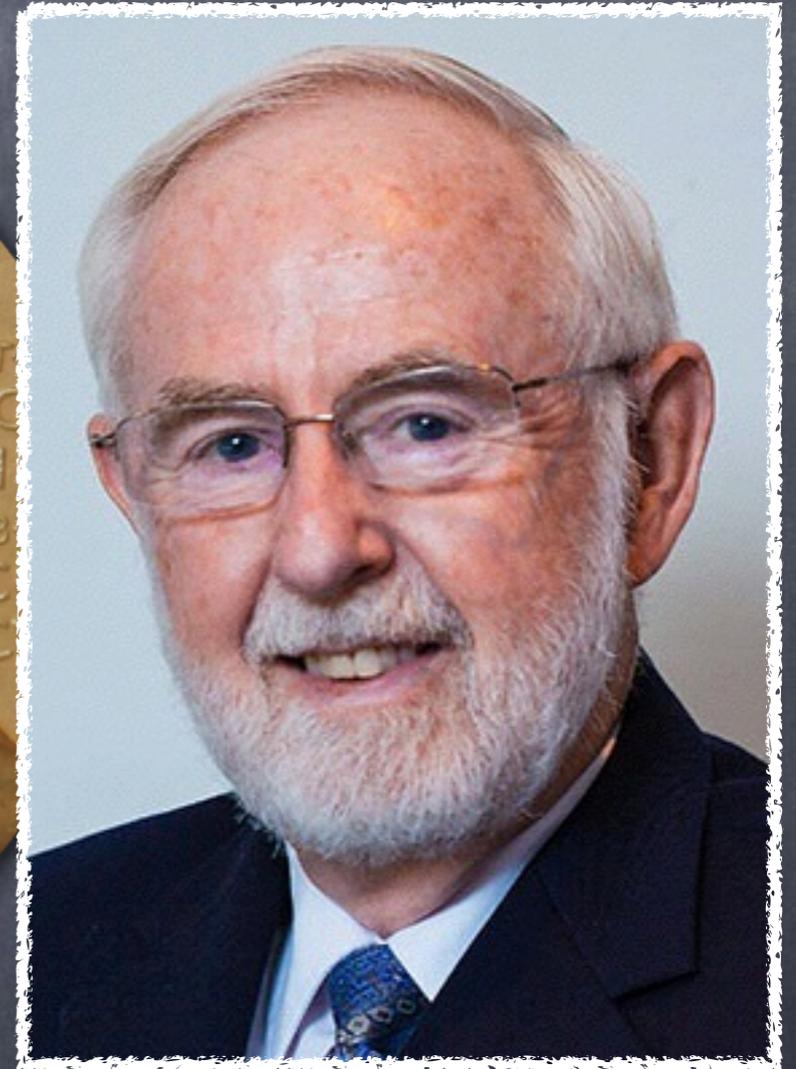
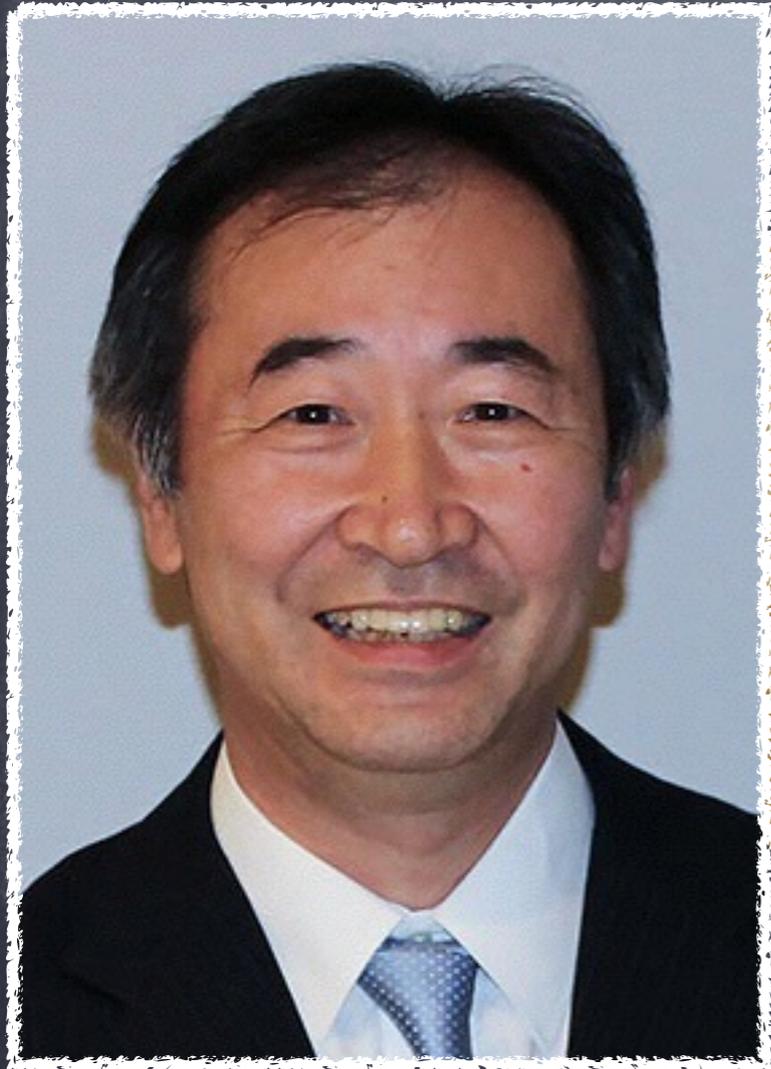
# A rejtélyek magyarázata az ízrezgés

a neutrínók repülésük közben egymásba alakulnak





# A 2015. évi fizikai Nobel díj



Takaaki Kajita

Arthur B. McDonald

*a „neutrínó-ízrezgés felfedezéséért,  
ami bizonyítja, hogy a neutrínóknak van tömegük”*

*vége*