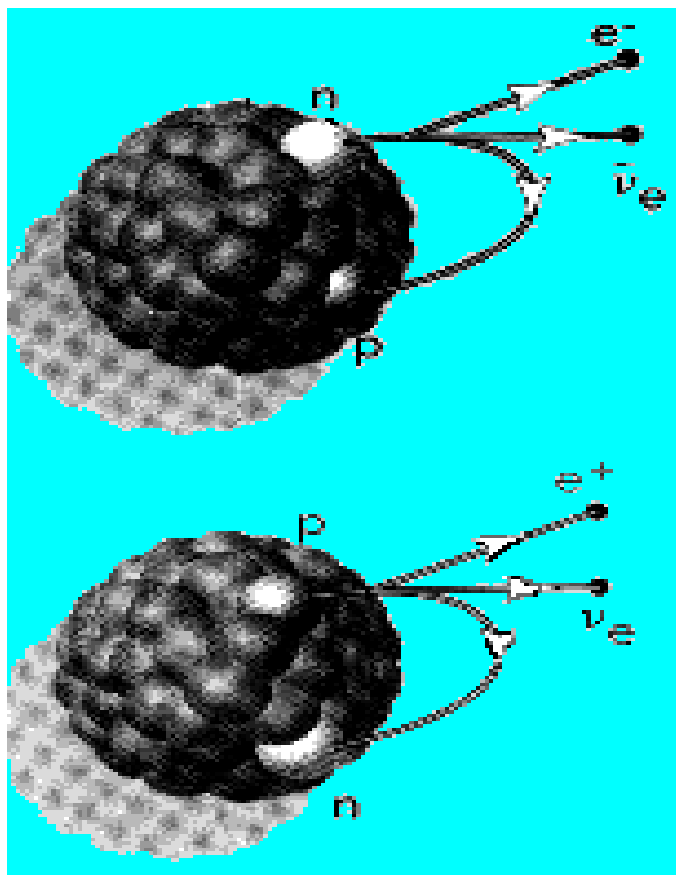


Historia

- 1930: Pauli postuluje istnienie cząstki w celu uratowania zachowania energii-pędu w rozpadach beta (ciągłe widmo), nazywa tę cząstkę neutronem
- 1932: Chadwick odkrywa neutron, Fermi proponuje nazwę neutrino
- 1933: Fermi formułuje teorię oddziaływań słabych
- 1956: eksperyment Reinesa i Cowana: detektor zbudowany obok reaktora jądrowego

Rozpady beta plus, beta minus



Jak wygląda rozkład energetyczny emitowanego elektronu, pozytronu?

Zürich, December 4, 1930

Dear radioactive ladies(*) and gentlemen,

I beg you to most favorably listen to the carrier of this letter. He will tell you that, in view of the wrong statistics of the N and the Li^6 nuclei and of the continuous beta spectrum, I have hit upon a desperate remedy to save the exchange theorem of statistics and the law of conservation of energy. This is the possibility that electrically neutral particles exist which I will call neutrons,² which exist in nuclei, which have a spin $1/2$ and obey the exclusion principle, and which differ from the photons also in that they do not move with the velocity of light. The mass of the neutrons should be of the same order as those of the electrons and should in no case exceed 0.01 proton masses. The continuous beta spectrum would then be understandable if one assumes that during beta decay with each electron a neutron is emitted in such a way that the sum of the energies of neutron and electron is constant. . . .

I admit that my remedy may seem incredible, because one should have seen these neutrons long ago if they really exist. But only he who dares can win and the difficult situation caused by the continuous beta spectrum is illuminated by a remark of my honored predecessor, Mr. Debye, who told me recently in Brussels: Oh, it is best not to think at all, just as with the new taxes. Henceforth every possible solution must be discussed. So, dear radioactive people, examine and judge. Unfortunately I will not be able to appear in Tübingen personally, because I am indispensable here due to a ball which will take place in Zürich during the night from December 6 to 7. With my best regards to you and also Mr. Back.

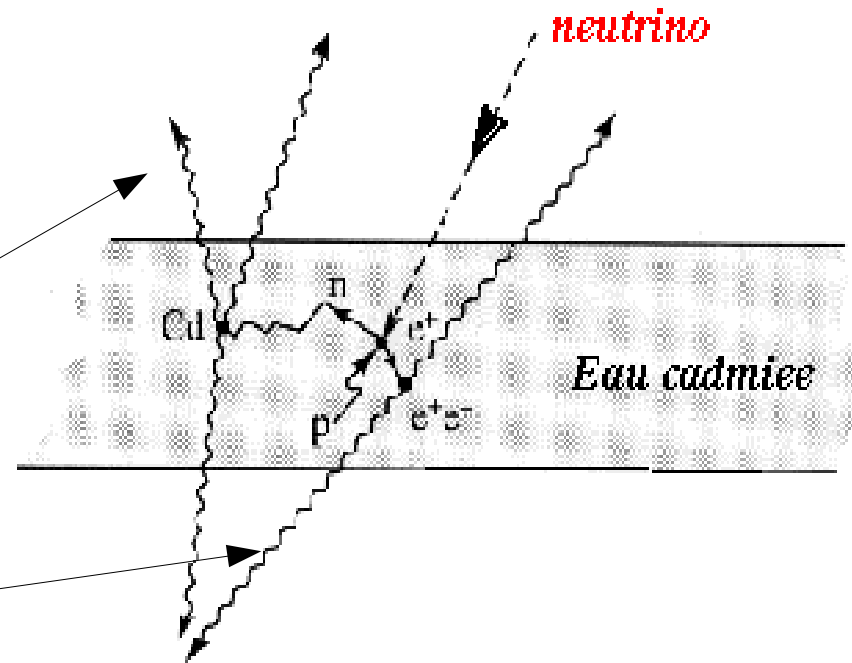
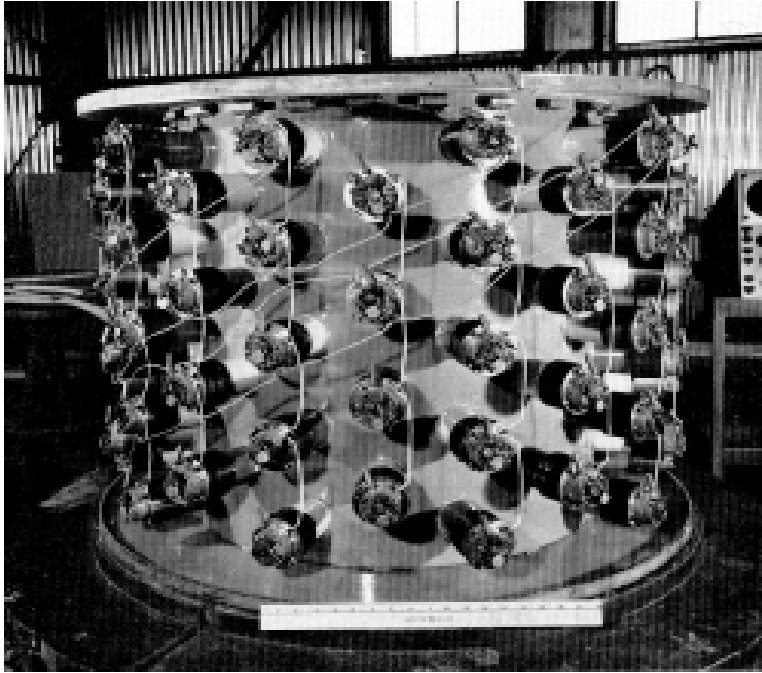
Your humble servant,

W. Pauli

Wykład V: Neutrino, J. Gluza

(*) The radioactive lady was [Lise Meitner](#).

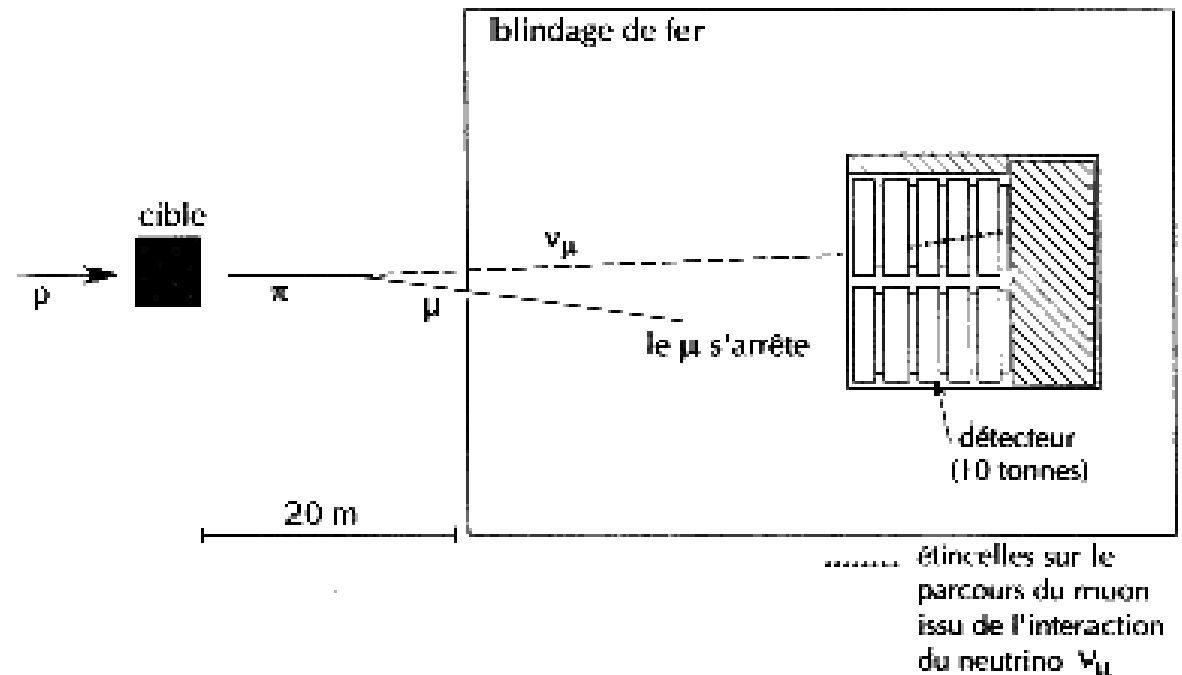
Antyneutrino elektronowe: 1953, Reines-Cowan



Fotony z wychwytu neutronu jakieś 15 ms później od tych z anihilacji pozytronu

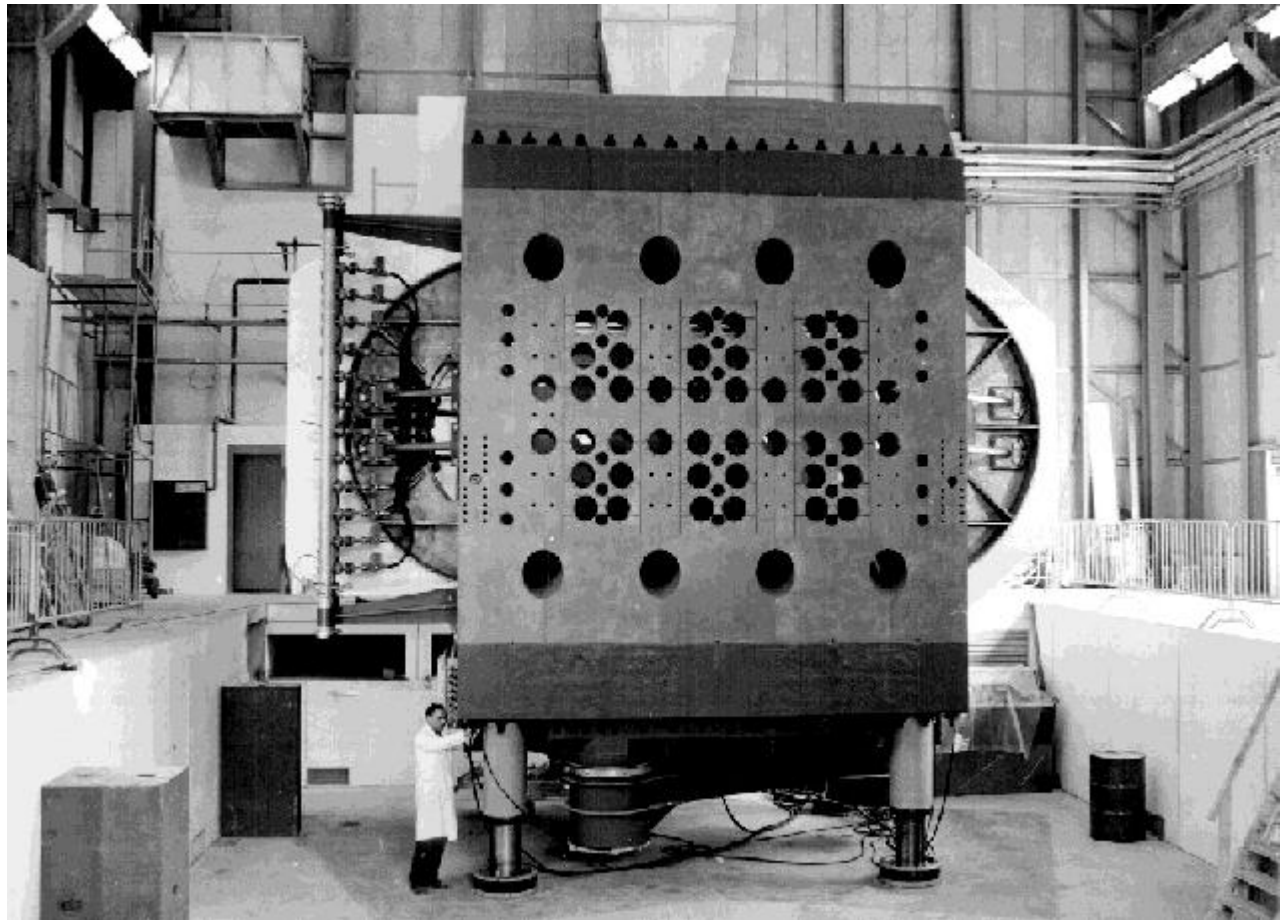
Neutrino mionowe

- 1960: Lee i Young: nie ma rozpadu mionu (zachowanie liczb leptonowych), drugie neutrino?
- 1964: eksperyment w Brookhaven: detekcja mionów



Lata 70-te

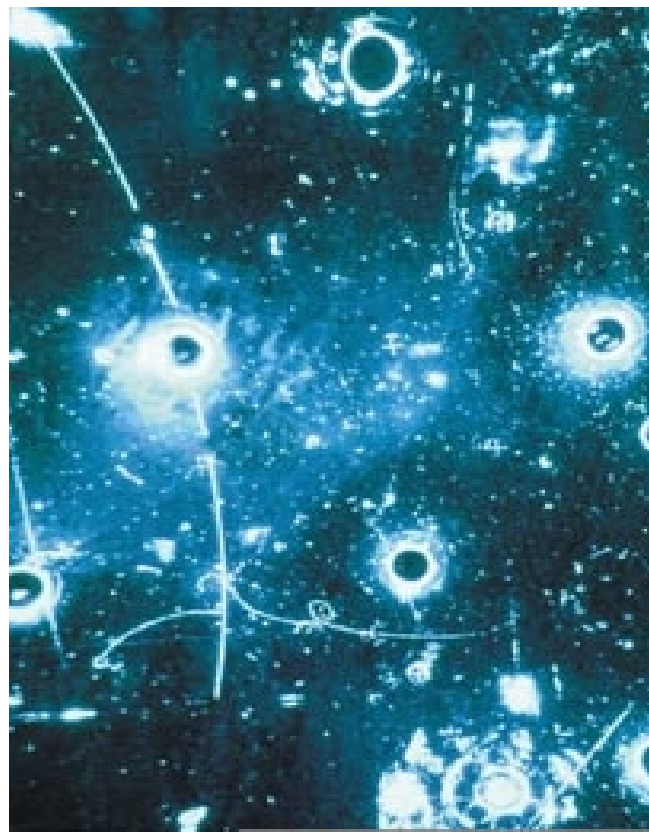
- CDHS, CHARM, CHARM II, BEBC: badanie struktury nukleonów i własności QCD przy pomocy reakcji z neutrinami
- 1973: prądy neutralne: Gargamelle, CERN



Rozpraszanie antyneutrino na elektronach

- Neutrino uderza w elektron, który porusza się emitując 2 fotony, które z kolei produkują pary elektron-pozytron tworzące spirale w polu magnetycznym

Tu wchodzi antyneutrino

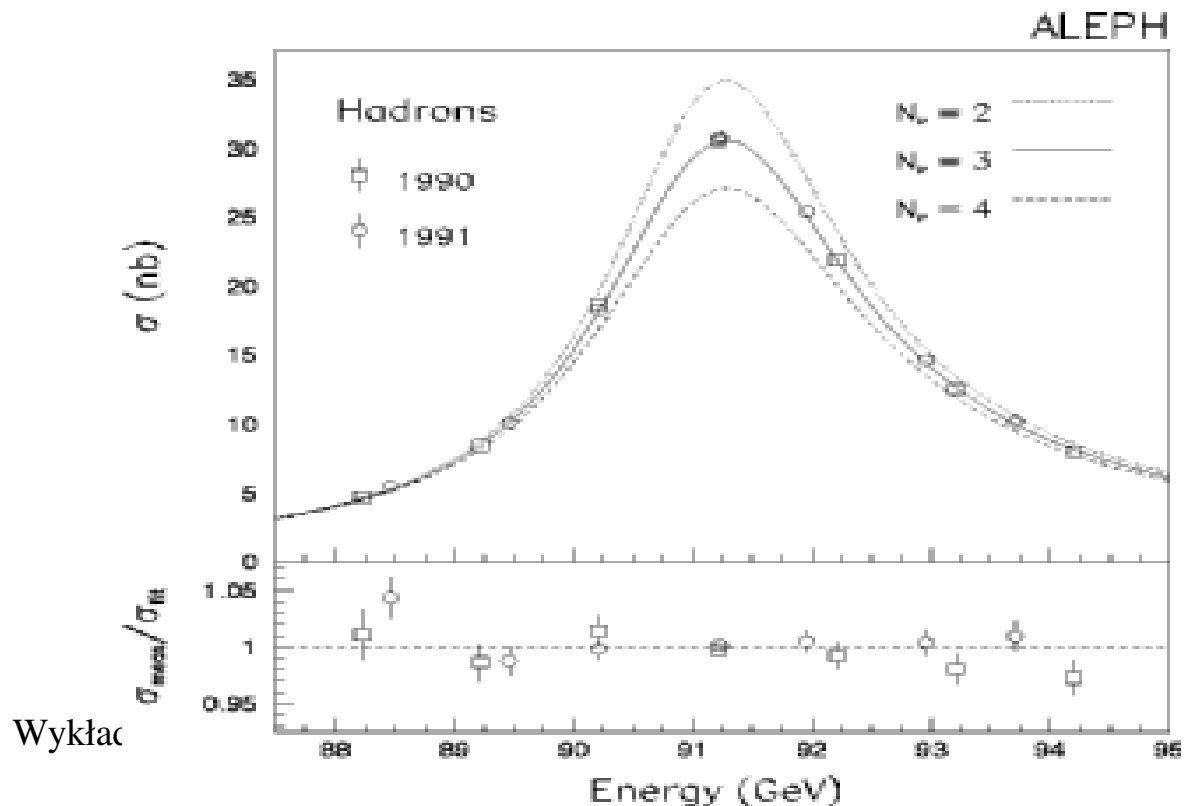


Wykład V: Neutrino, J. Gluza

Później zaobserwowano także rozpraszanie neutrin na hadronach (kwarkach)

Neutrino taonowe

- 1977: Stanford, kwark b, lepton tau: 3 rodzina
- 1998: neutrino taonowe zaobserwowane bezpośrednio w eksperymencie (poprzez tau)
- LEP: 3 neutrina



Trochę liczb

- Słońce emituje $2 \cdot 10^{38}$ neutrin na sekundę!
- Na Ziemi w ciągu sekundy przez 1 cm^2 przechodzi ok. 40 miliardów neutrin
- Detektor zawierający 1000 ton ciężkiej wody obserwuje 30 przypadków dziennie
- Aby schwytać pojedyncze neutrino ze 100% pewnością potrzeba by płyty ołowianej o grubości ok 5 lat świetlnych
- Zakładając masę człowieka 80 kg i gęstość $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$ w ciągu życia człowiek „zarejestruje” jedno neutrino
- Ponieważ przekroje czynne b. Małe (10^{-48} m^2): duże detektory
- Promieniowanie naturalne w Ziemi (niezbyt znane): 20.000 GW (około 20.000 reaktorów jądrowych!) co przekłada się na około 6 milionów neutrin na sekundę na cm^2 .

Źródła neutrín

- Naturalne:**

- Słońce (fuzja lekkich jąder atomowych)
- atmosfera Ziemi (rozpady pionów i mionów)
- wybuch supernowej
- Wielki Wybuch (neutrína reliktove)

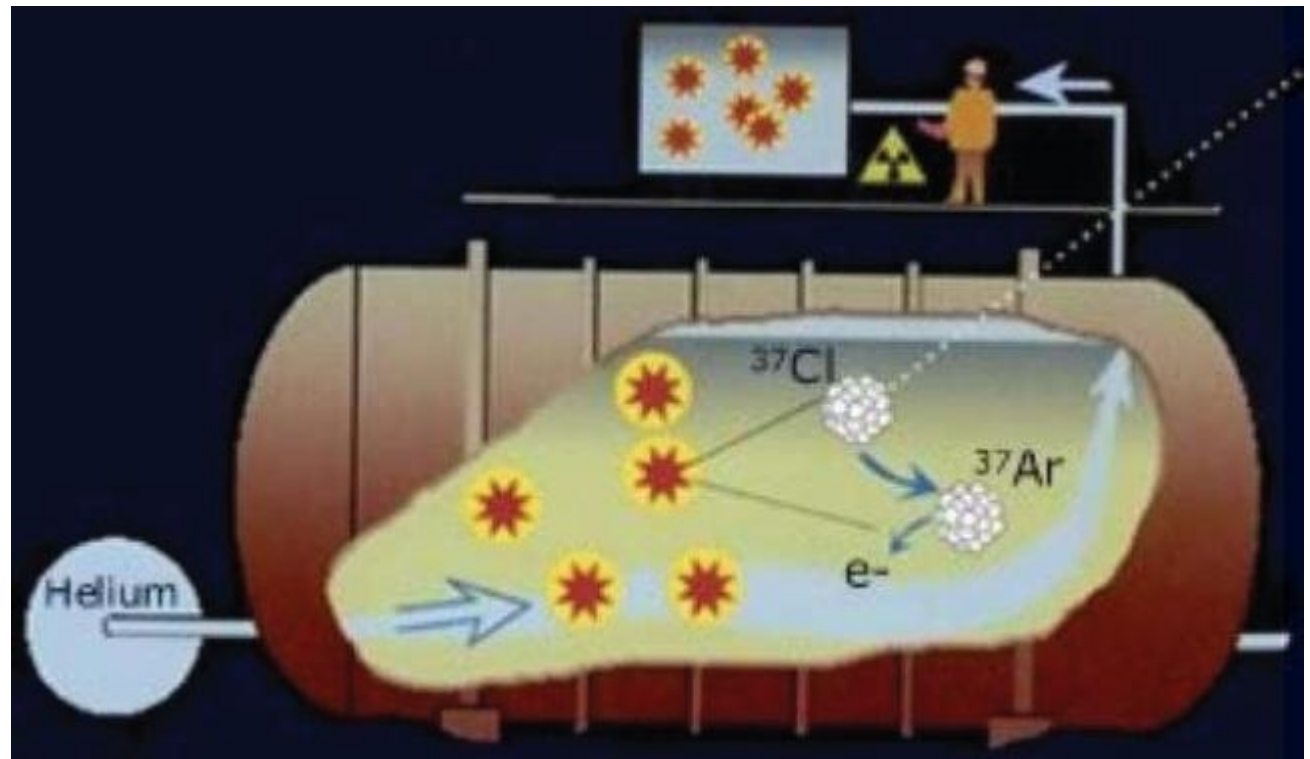
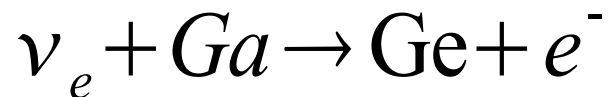
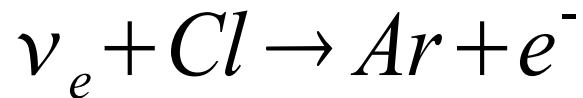
- Sztuczne:**

- reaktor jądrowy (rozszczepianie ciężkich jąder atomowych)
- akcelerator (rozpad pionów)
- fabryka neutrín (akcelerator mionów)

Detekcja neutrin

- metoda radiochemiczna
- – zjawisko scyntylacji
- – zjawisko Czerenkowa
- – jonizacja ośrodka

Metoda Radiochemiczna



Własności:

- 1) Niski próg energetyczny na reakcję
- 2) Brak informacji o kierunku neutrina
- 3) Brak informacji o czasie reakcji
- 4) Brak informacji o energii neutrina
- 5) Brak informacji o rozkładach
- 6) Można mierzyć tylko całkowitą liczbę neutrin
- 7) Tylko neutrino elektronowe

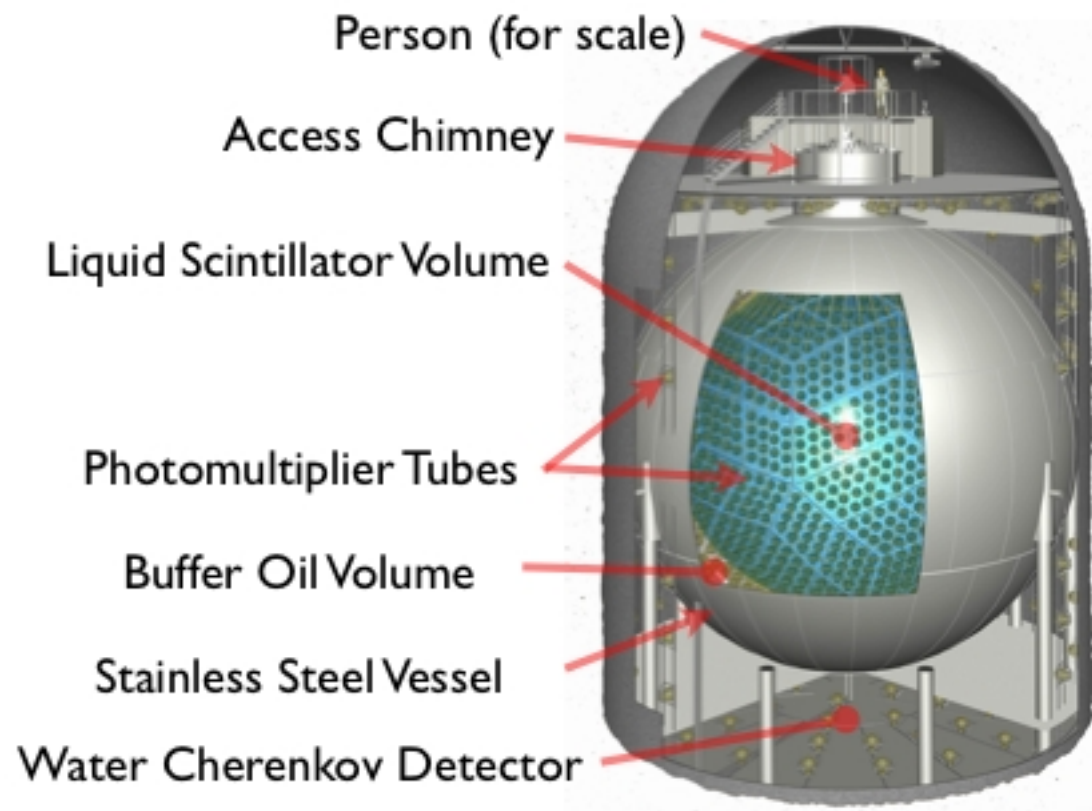
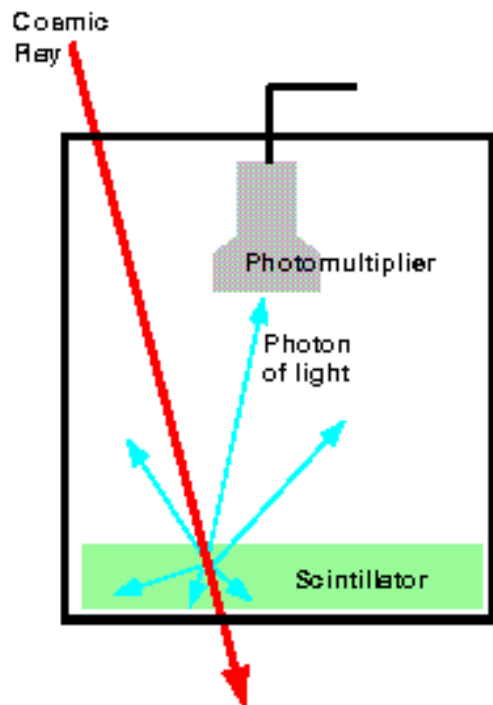
Homestake, USA

- Ponieważ przekrój czynny bardzo mały, potrzeba ok. 10^{30} atomów by wyprodukować jedną reakcję z neutrinem: odpowiada to kilotonom substancji, zwykle mniejsze
- 1 SNU = 10^{-36} oddziaływań/atom/sekundę
- np. Homestake: co 2 miesiące 17 atomów spośród $2 \cdot 10^{30}$ Cl, czyli 615 ton C_2Cl_4 , początki (1968): 3 SNU (przewidywania: 20 SNU)
- Homestake pracował 1967-1994, łącznie 1997 atomów Ar
- Wynik końcowy: 2.56 SNU, teoria 8.6 SNU !!!

Zjawisko scyntylacji

Zalety:

- 1) bardzo niski próg energetyczny
- 2) duży sygnał świetlny
- 3) informacja o czasie zderzenia
- 4) informacja o miejscu zderzenia

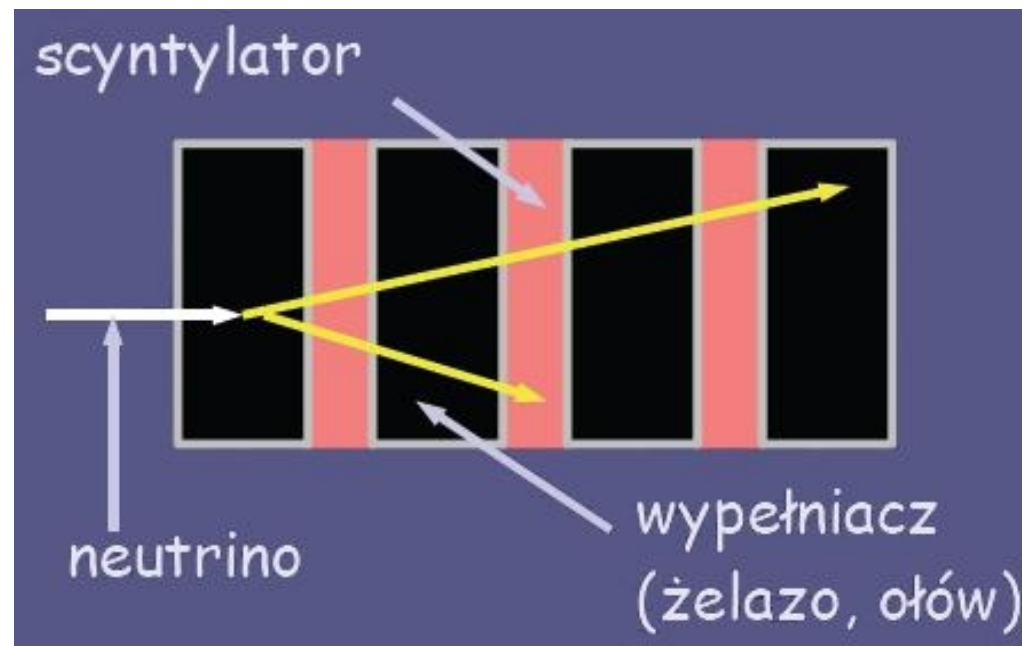


Wady:

- 1) brak informacji o kierunku neutrin
- 2) stosunkowo drogie medium detektora

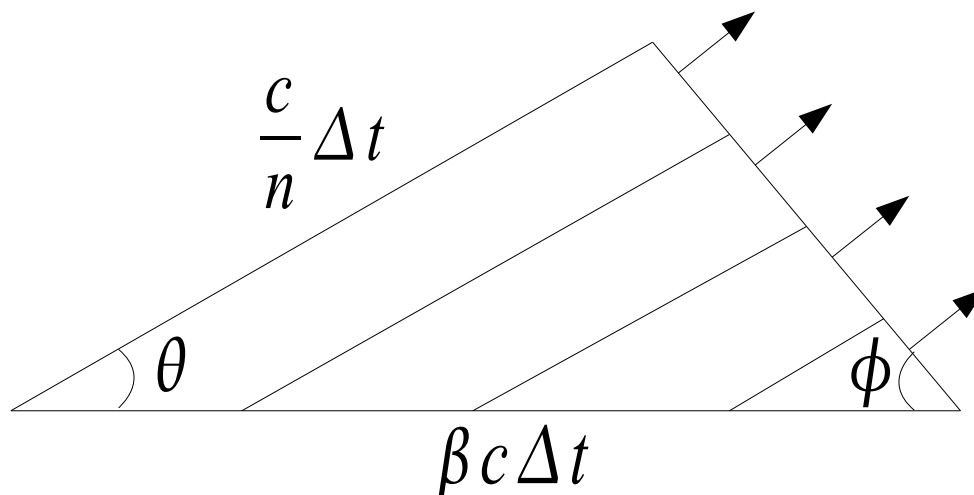
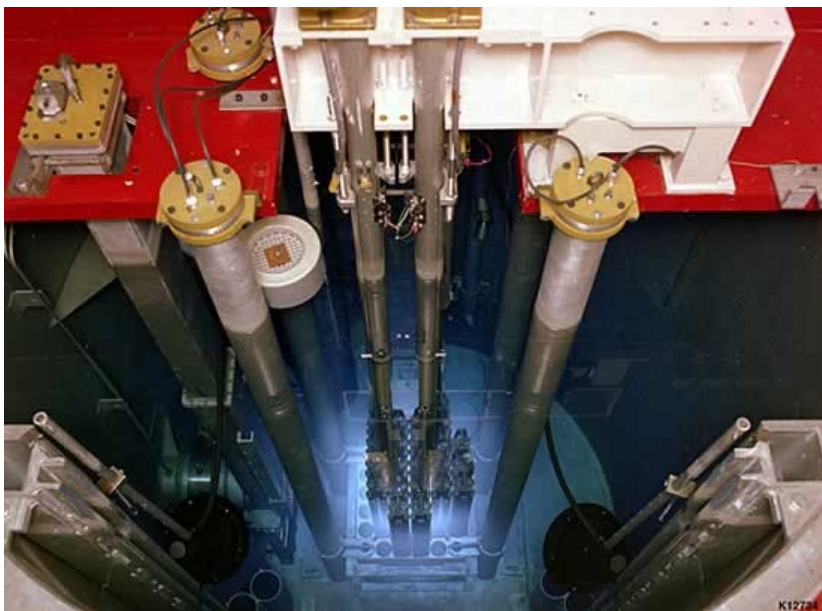
Odtworzenie toru cząstki

Tworząc tak poprzęplatamy scyntylator z pochłaniaczem to możemy odtworzyć tor cząstki



Promieniowanie Czerenkowa

Emisja fotonów pod wpływem koherentnej polaryzacji drobin ośrodka, pod wpływem przelatującej cząstki o $V > c$ (prędkość światła w ośrodku)

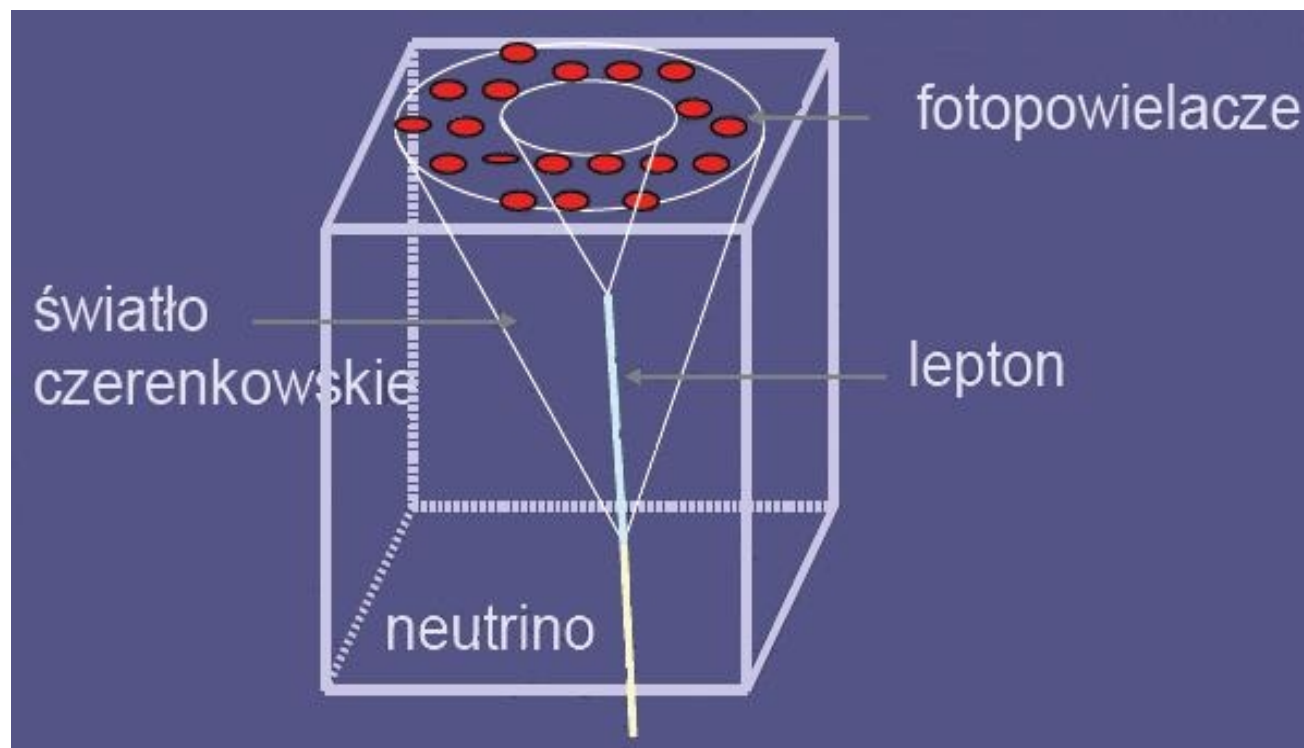


Cząstka	Energia	$\beta=v/c$	Zderzenia	Hamowanie	Czerenkow
Elektron	100 MeV	1	2 MeV	2 MeV	2,7 keV
Proton	1000 MeV	$\sim 0,87$	2 MeV	0,01 keV	1,65 keV

Promieniowanie Czerenkowa

Zalety:

- 1) określenie kierunku
- 2) daje czas zderzenia
- 3) daje energię neutrino
- 4) tanie medium detektora



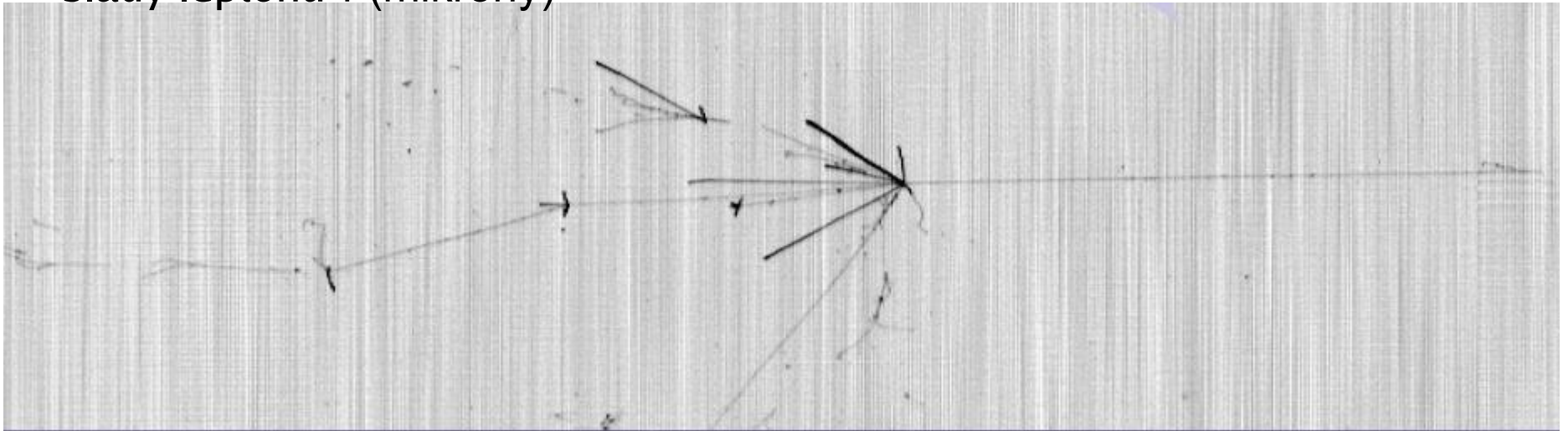
Wady:

- 1) Wysoki próg reakcji
- 2) Słaby sygnał świetlny

Jonizacja (detektory śladowe)

Emulsje jądrowe:

- bardzo duża przestrzenna zdolność rozdzielcza
- ślady leptonu τ (mikrony)



Detektory z ciekłym argonem:

Zalety:

- duża przestrzenna zdolność rozdzielcza
- pełny obraz 3D
- czas oddziaływania
- pomiar energii
- identyfikacja cząstek
- długie ślady cząstek

Wady:

- spore trudności techniczne
- kosztowne i kłopotliwe medium
- potrzeba instalacji dużego układu kriogenicznego

Współczesne układy detekcyjne

Detektory czerenkowskie:

- Super - Kamiokande
- SNO

Detektory śladowe:

- ICARUS

Duże naturalne detektory czerenkowskie:

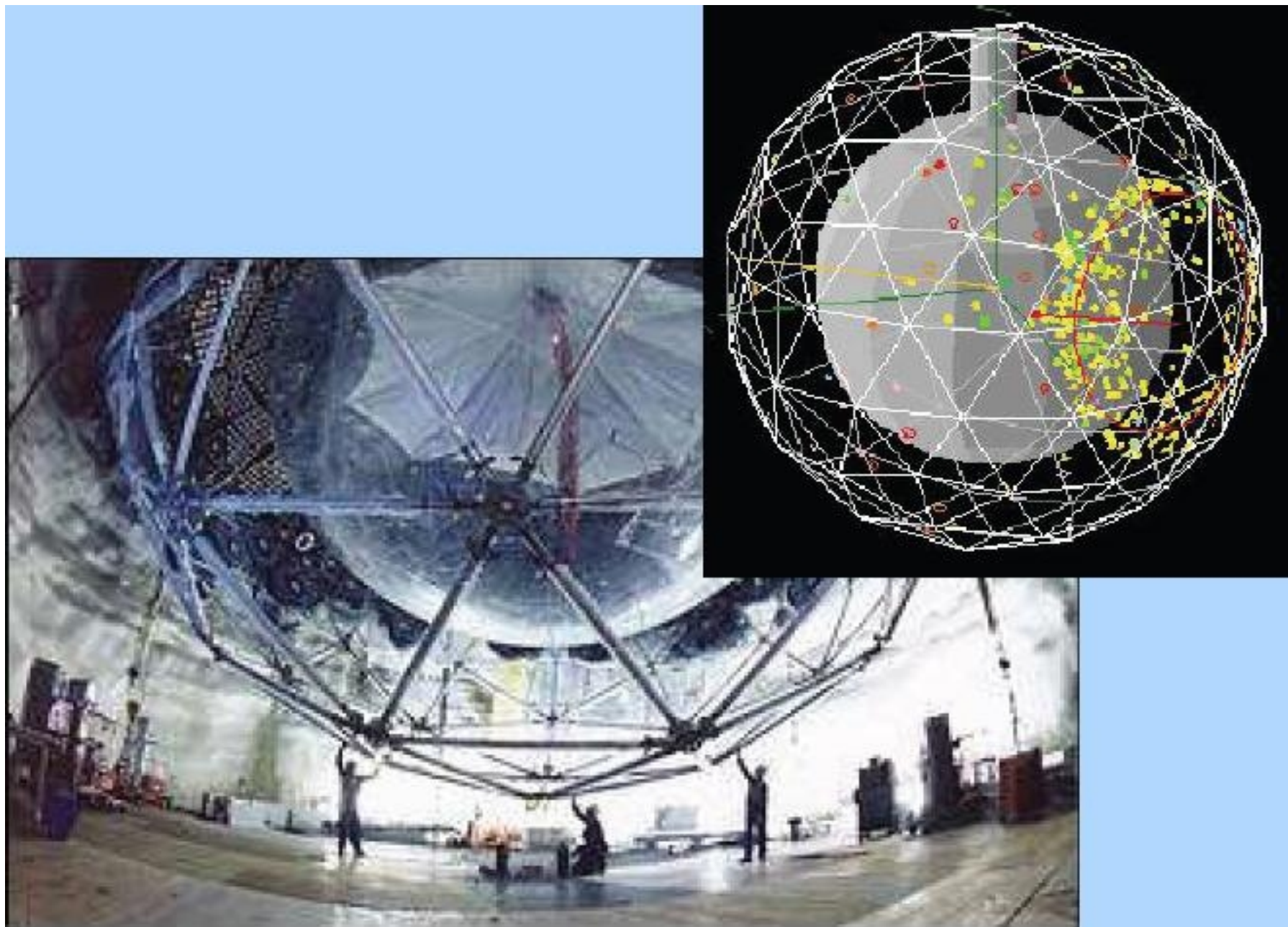
- NESTOR
- ANTARES
- AMANDA / ICECUBE

Detektor SNO

(Sudbury Neutrino Observatory)

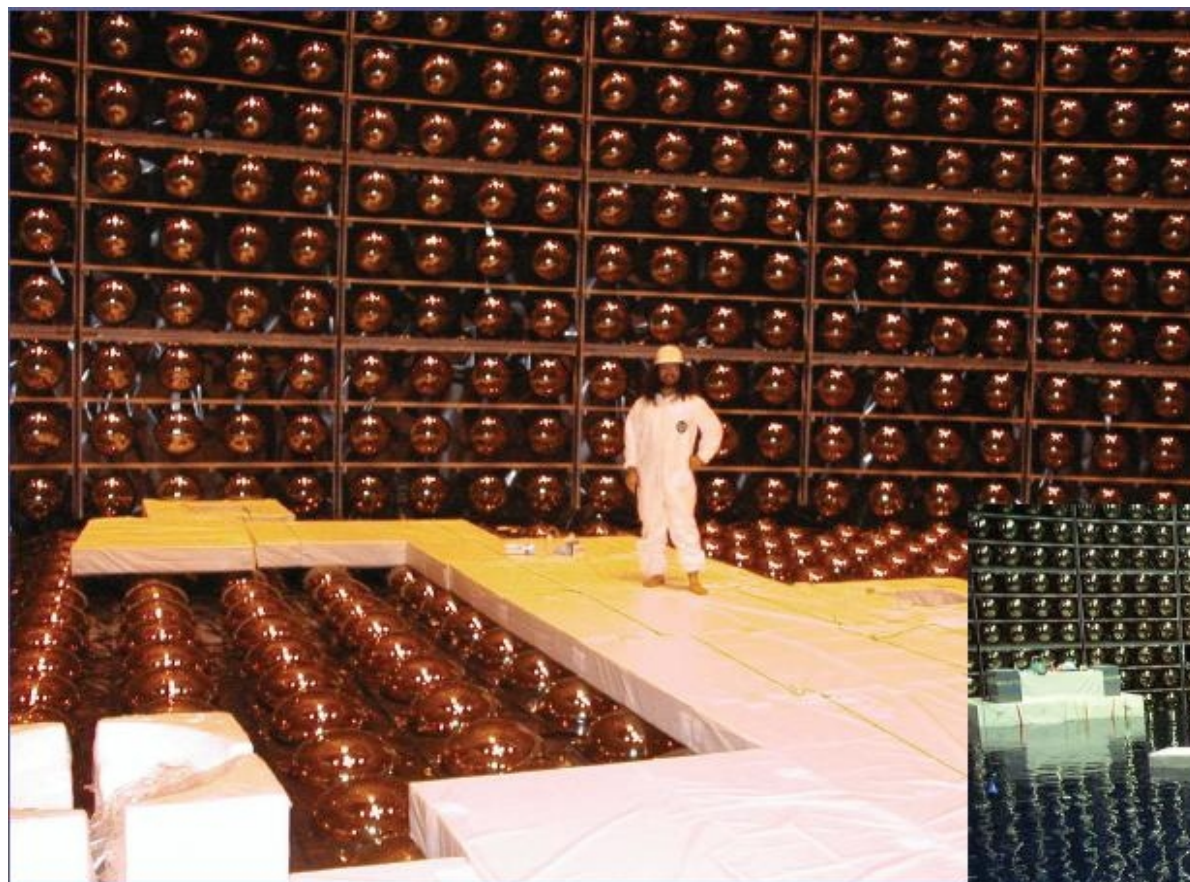


- detektor w kształcie beczki o wysokości 34 m i szerokości 22 m
- wypełniony wodą (H_2O) i ciężką wodą (D_2O)
- detektor zewnętrzny (H_2O) 5300 ton
- detektor wewnętrzny (H_2O) 1700 ton
- wewnątrz detektor w kształcie kuli (D_2O) o średnicy 12 m
- 2072m pod ziemią



Wykład V: Neutrino, J. Gluza

Super – Kamiokande



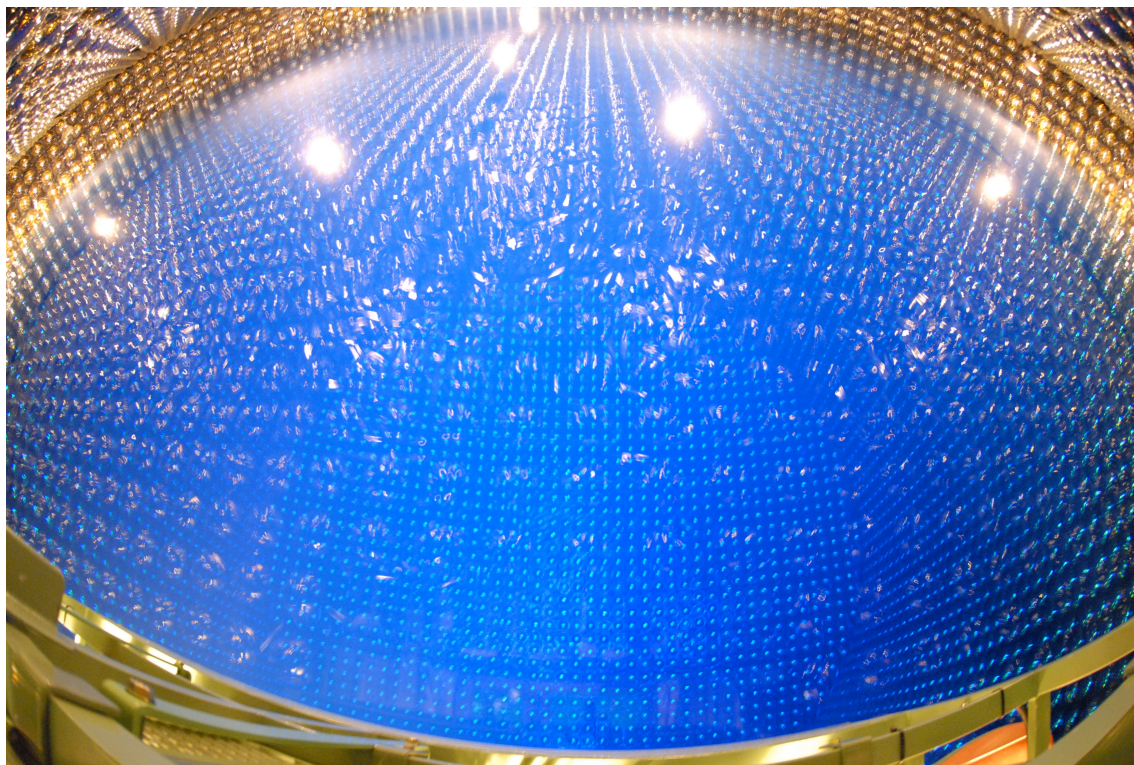
- detektor w kształcie walca
średnica 39 m wysokość 42 m
- 50 000 ton wody
- kopalnia Mozumi (1 km)

– detektor wewnętrzny (ID):
32 kT wody + 11 146 fotopowielaczy

– detektor wewnętrzny (OD):
18 kT wody + 1885 fotopowielaczy



Absolutnie czysta woda w SK



Wypadek w Super – Kamiokande

Listopad 2001:

- pęka jeden z fotopowielaczy
- powstaje fala uderzeniowa
- pękają kolejne fotopowielacze
- czas trwania 40 ms



- powstaje wstrząs o sile 3 stopni w skali Richtera
- zniszczeniu ulega prawie 6000 fotopowielaczy
- straty rzędu 20 mln dolarów



Duże detektory Czerenkowa

medium:

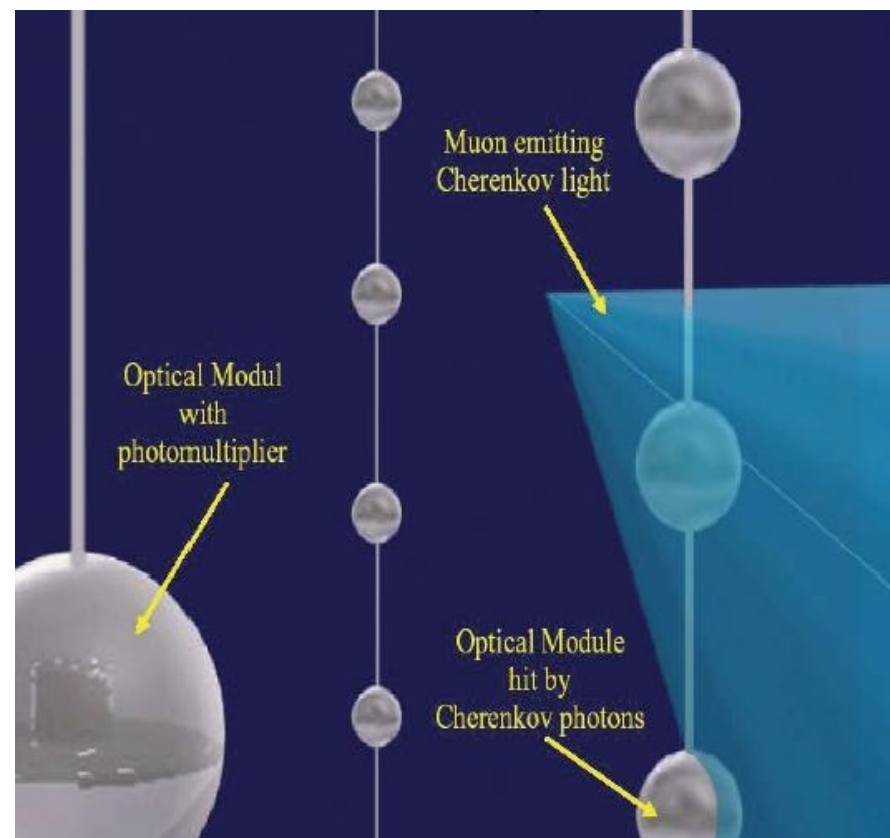
- woda morska
- lód

Zalety:

- są tanie
- jest ich dużo
- przezroczyste na dużych głębokościach (szczególnie lód)
- w wodzie lepszy pomiar kierunku
- w lodzie lepszy pomiar energii

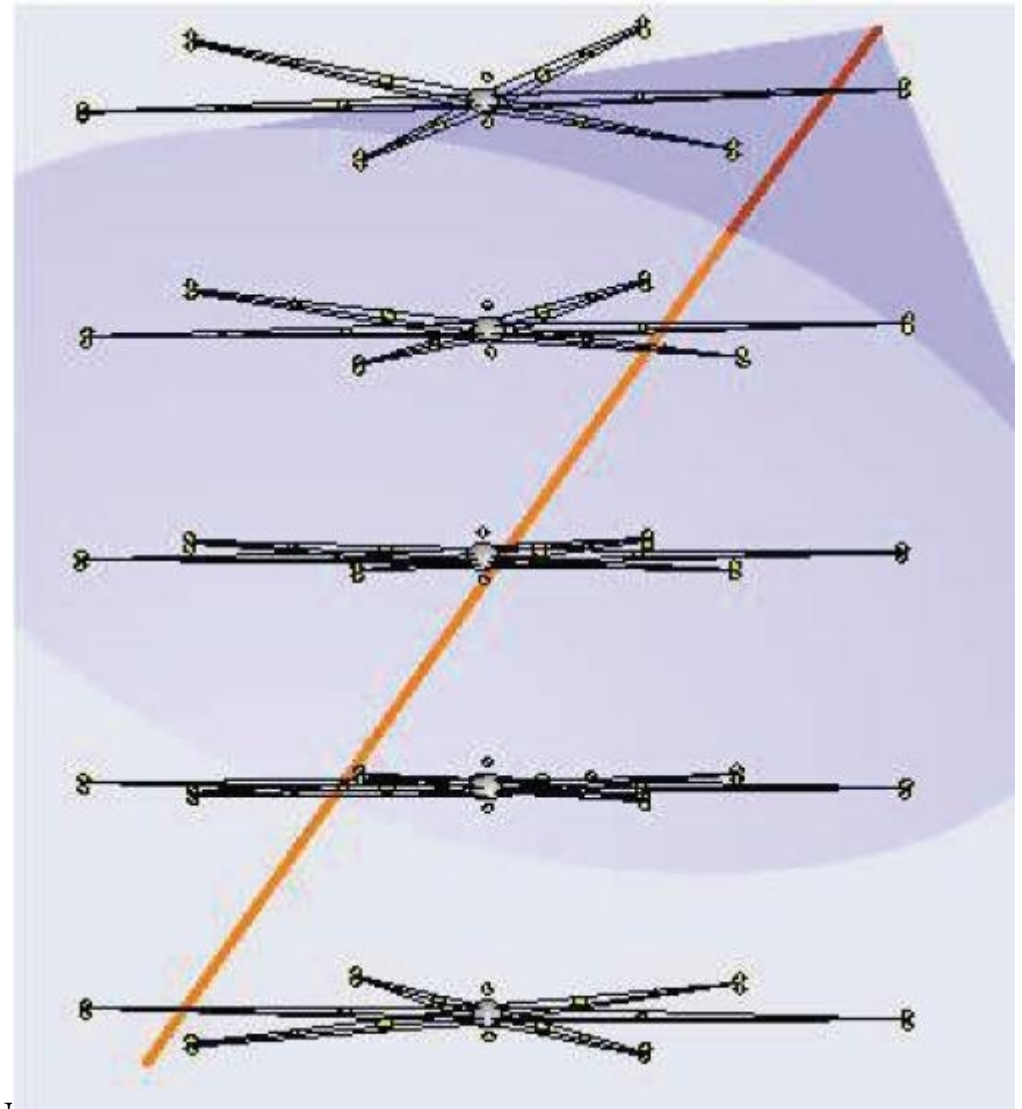
Trudności i wady:

- lód: zamrożone pęcherzyki powietrza
- woda: bioluminescencja
radioaktywny ^{40}K

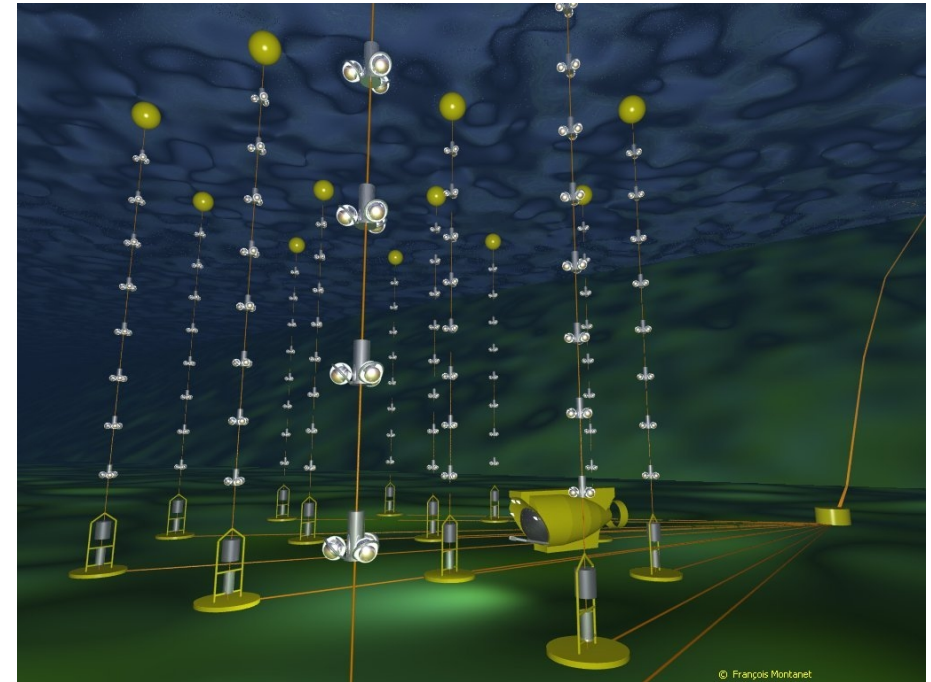
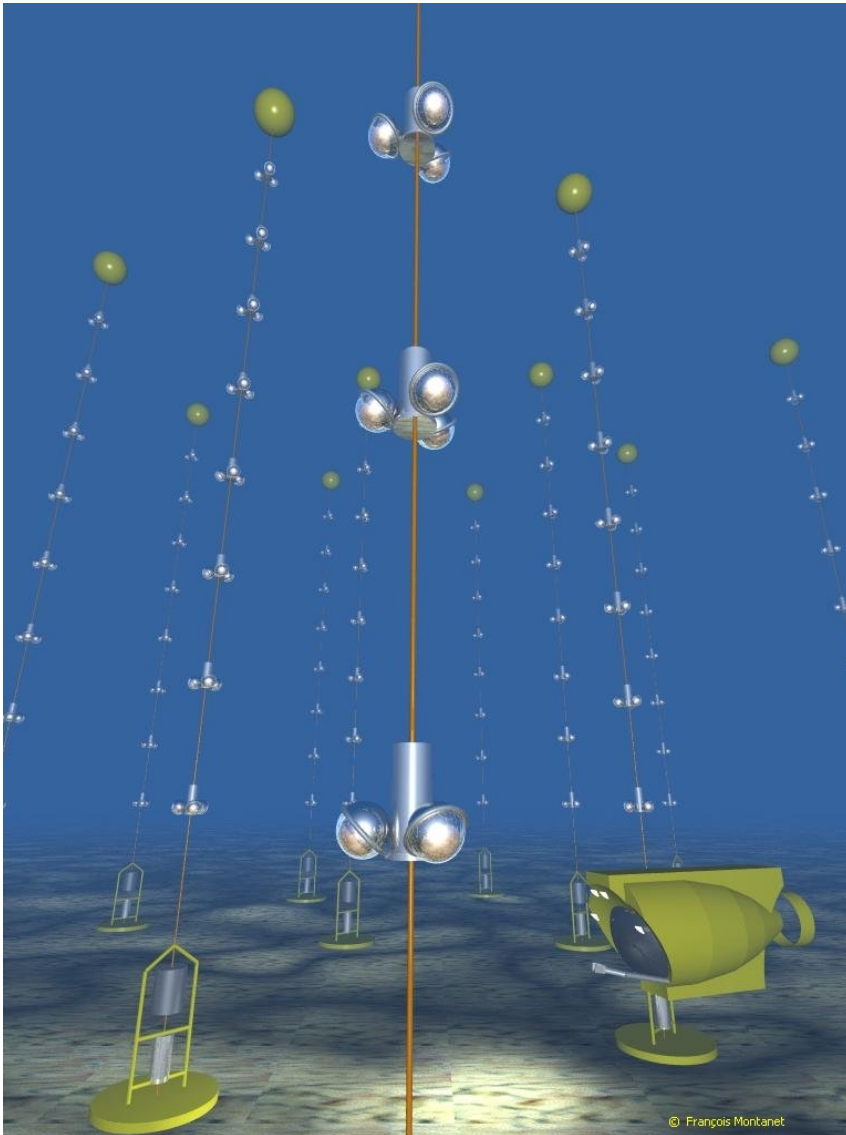


NESTOR (Neutrino Extended Submarine Telescope with Oceanographic Research)

- 12 km od wybrzeża Grecji (Pylos)
- głębokość 4000 m
- pierwsza platforma zainstalowana
- planowane siedem wież



ANTARES (Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environment RESearch)



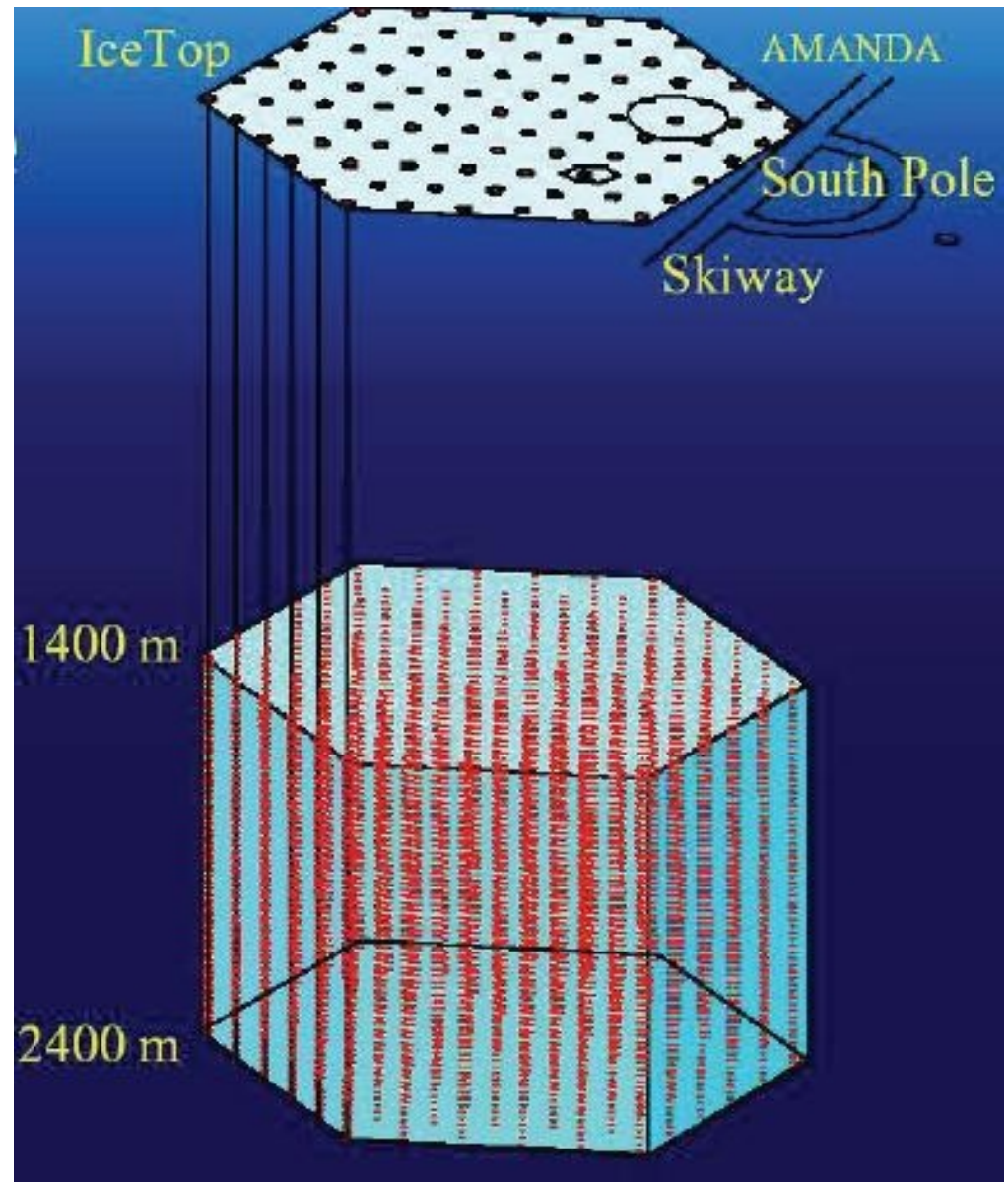
- 40 km od wybrzeża Francji (Toulon)
- głębokość 2350 m
- pierwszy drut zainstalowany w 2003
- pierwsze wyniki obiecujące
- sygnały bioluminescencji

AMANDA (Antarctic Muon And Neutrino Detector Array) i IceCube



IceCube

- w budowie
- 80 sznurów
- 125m między sznurami
- 4800 fotopowielaczy
- $V = 1\text{km}^3$
- neutrino wszystkich zapachów do 10^7eV
- szum od supernowej zwiększony do 10^{20}eV

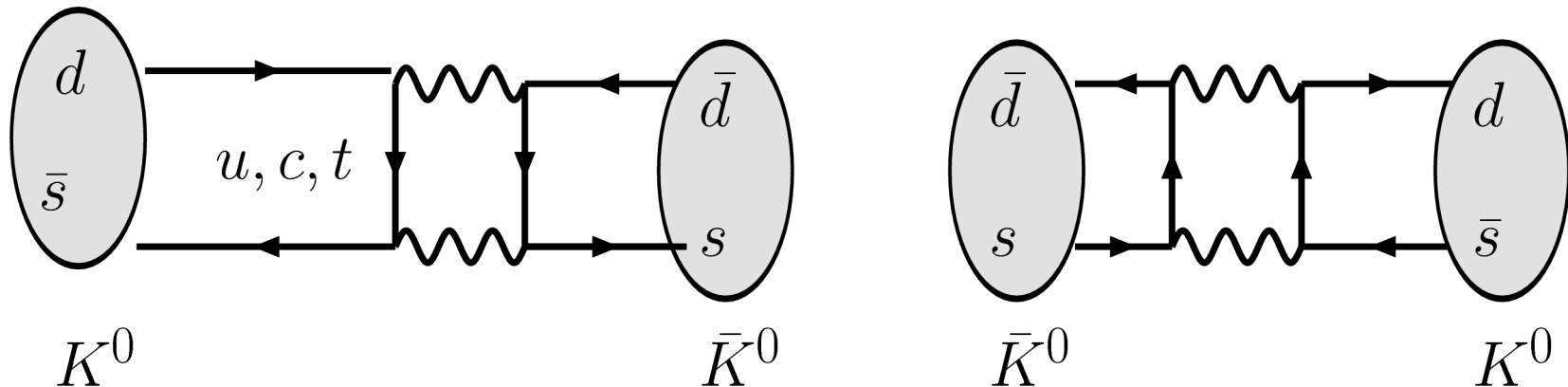


Masy neutrin

- Jeszcze kilka lat temu (PDG, 1996):
- Neutrino elektronowe < 15 eV; mionowe < 170 keV; tau < 24 MeV (głównie rozpady)
- W tej chwili wiemy, że masy neutrin są rzędu meV!
- Jak to możliwe?

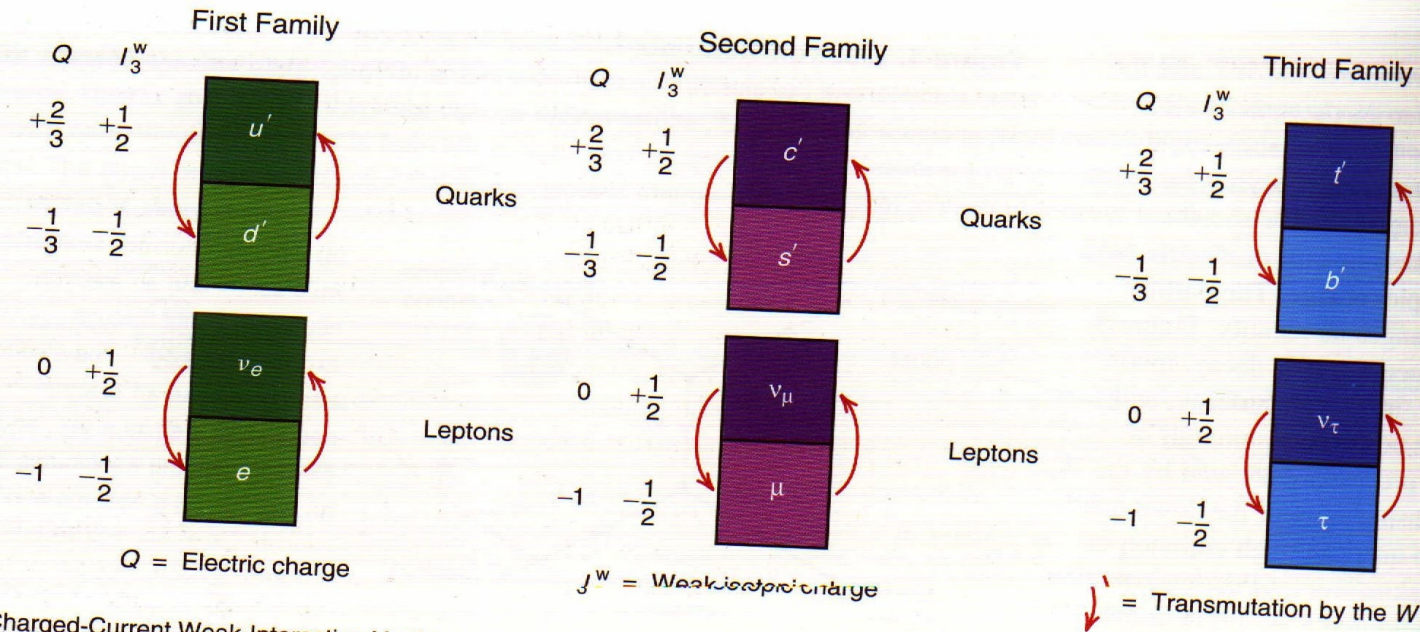
Historia oscylacji

- Oscylacje kaonów
- 1956: oscylacje neutrino-antineutrino (Pontecorvo), w niezgodzie z hipotezą Lee-Younga

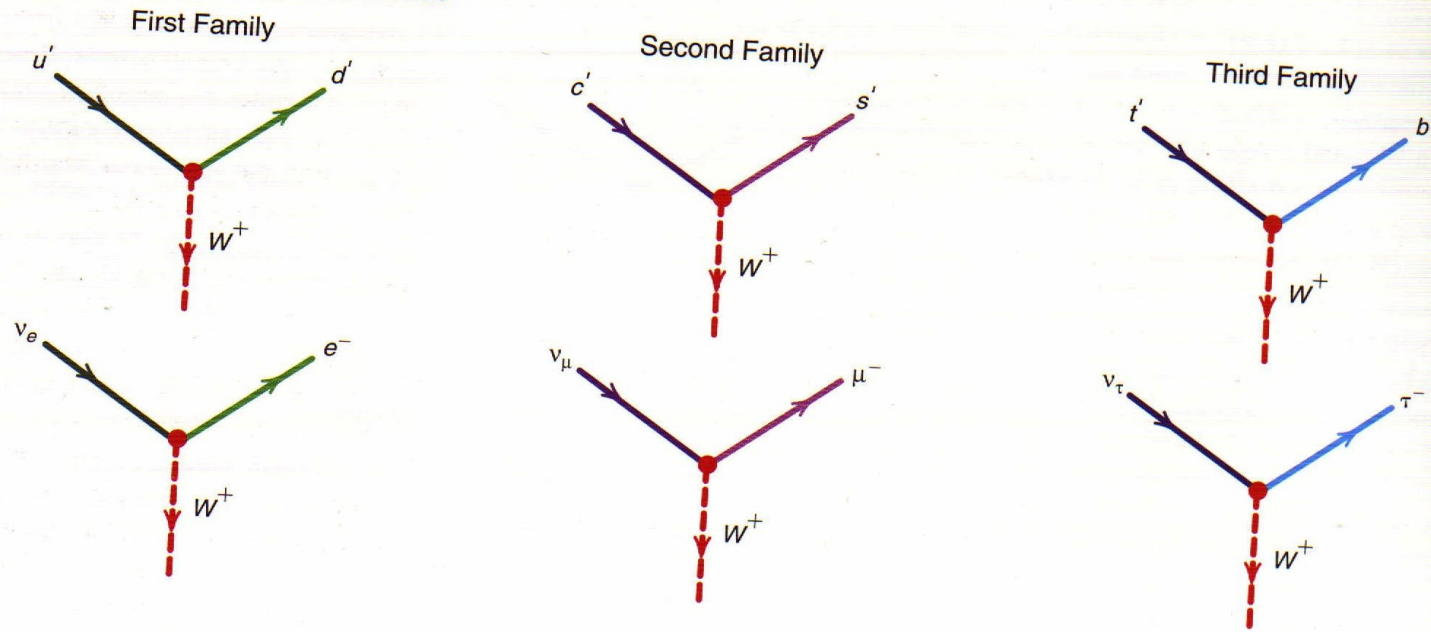


Stany słabe: demokracja

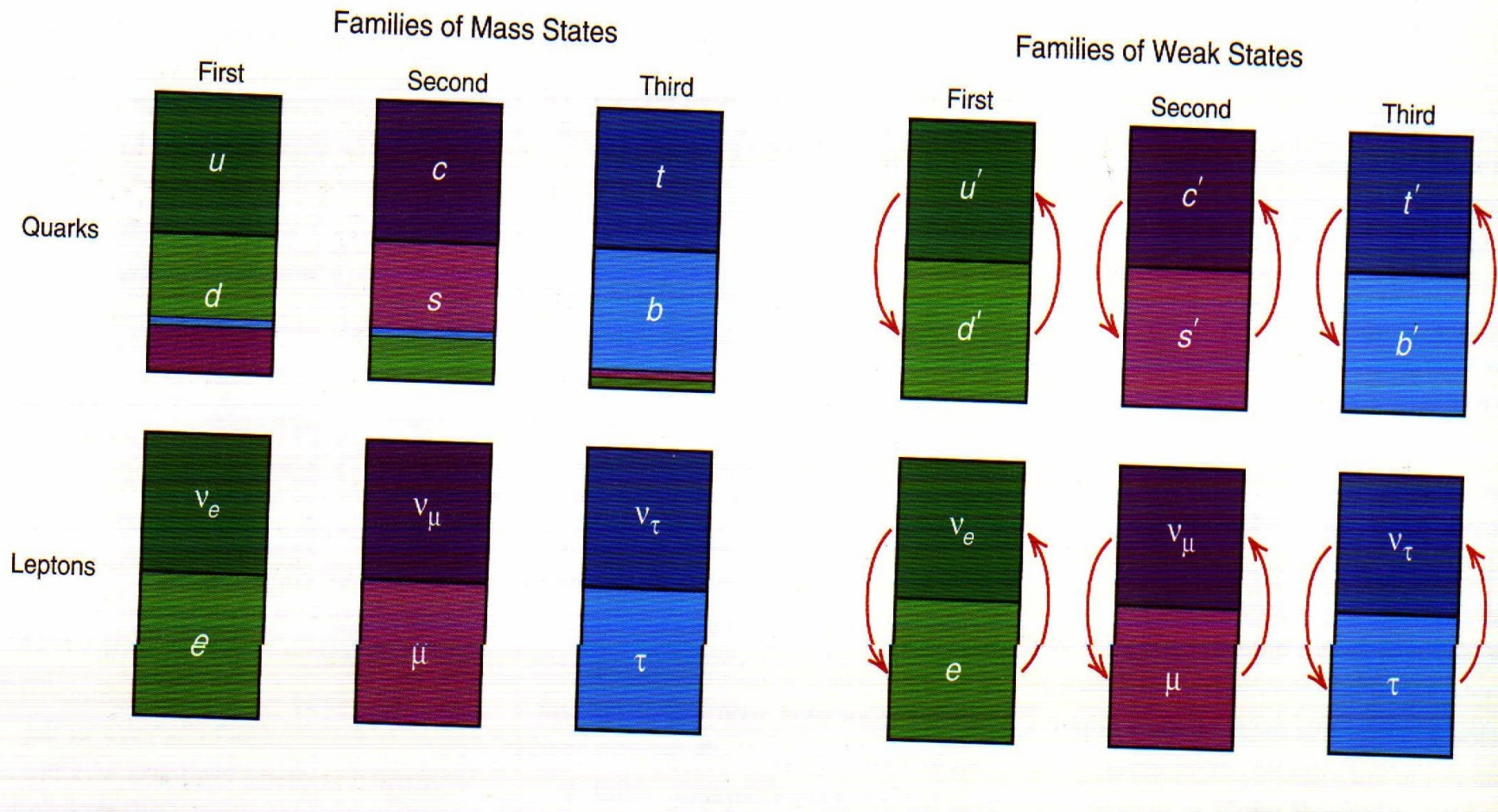
(a) Weak Doublets



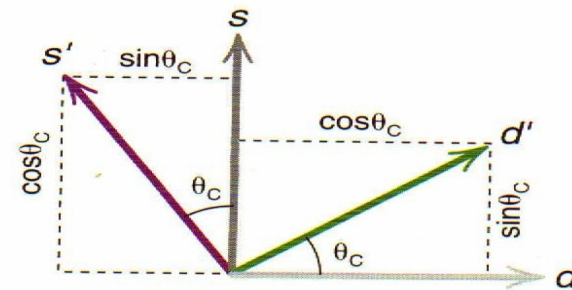
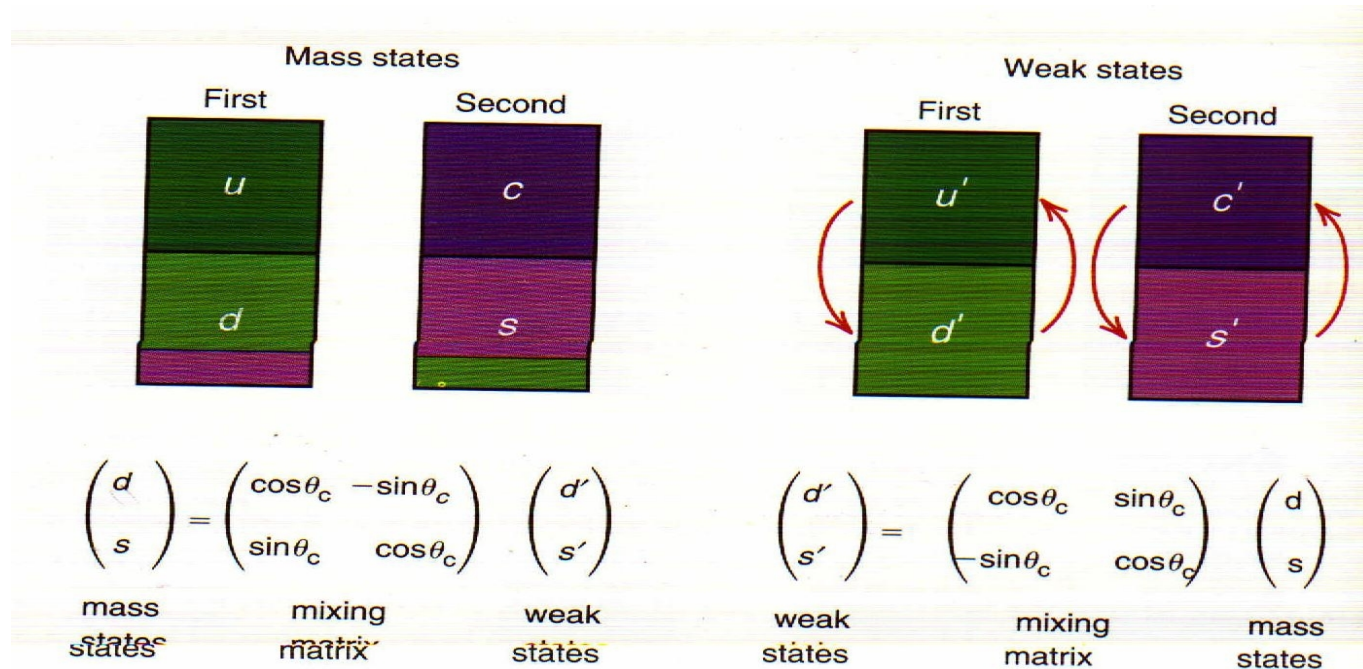
(b) Charged-Current Weak-Interaction Vertices



Stany masowe: różna waga stanów zapachowych

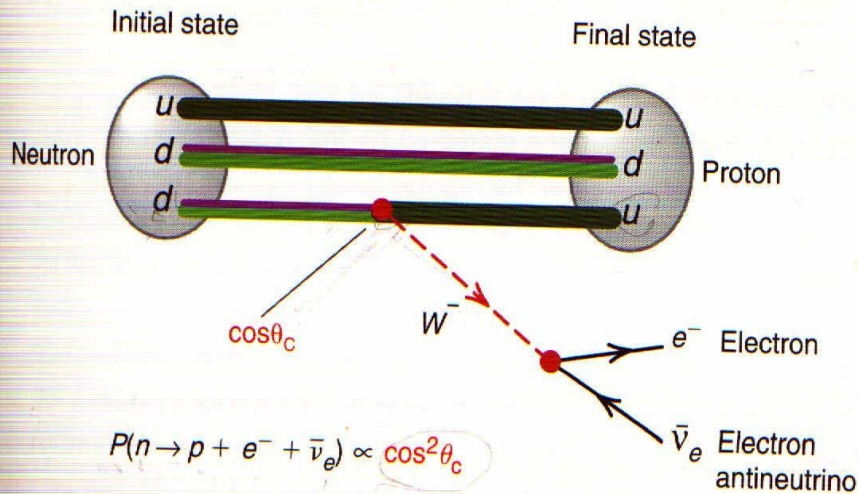
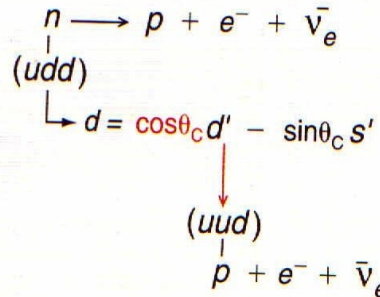


Kąt Cabibbo: mieszanie między kwarkami



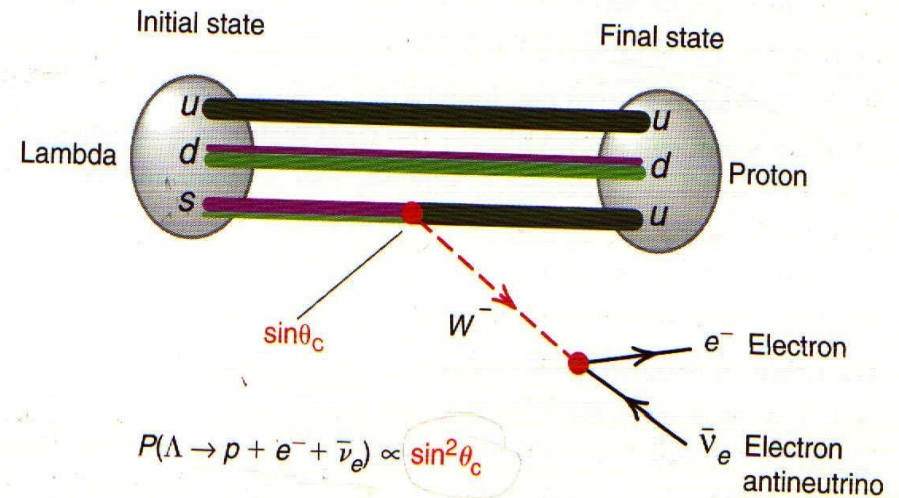
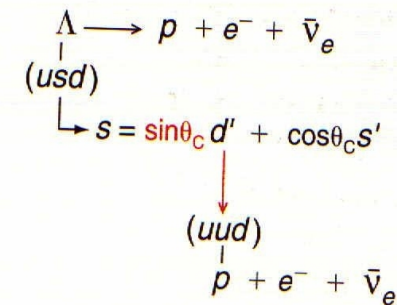
konsekwencje

Neutron Decay



The neutron decay amplitude is proportional to $\cos\theta_c$, the amplitude of the state d' in the d quark. The decay probability is proportional to the square of the amplitude:

Lambda Decay



The lambda decay amplitude is proportional to $\sin\theta_c$, the amplitude of the state d' in the s quark. The lambda decay probability is proportional to the square of the amplitude.

Dwa zapachy: oscylacje, idea

$$|\nu_1(t)\rangle = e^{-iE_1 t} |\nu_1(0)\rangle$$

$$|\nu_2(t)\rangle = e^{-iE_2 t} |\nu_2(0)\rangle$$

$$|\nu_\alpha\rangle = \sum_i U_{\alpha i} |\nu_i\rangle$$

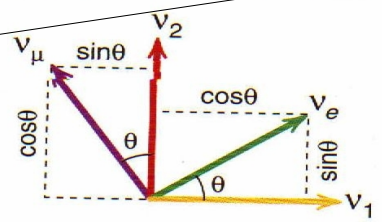
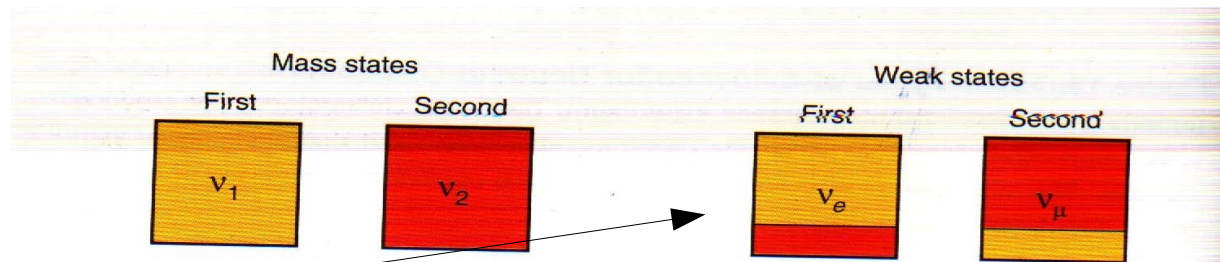
$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \Theta & \sin \Theta \\ -\sin \Theta & \cos \Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix}$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = |\langle \nu_e(t) | \nu_\mu(0) \rangle|^2$$

$$\begin{aligned} |\nu_e(t)\rangle &= \cos \Theta |\nu_1(t)\rangle + \sin \Theta |\nu_2(t)\rangle \\ &= \cos \Theta e^{-iE_1 t} |\nu_1(0)\rangle + \sin \Theta e^{-iE_2 t} |\nu_2(0)\rangle \end{aligned}$$

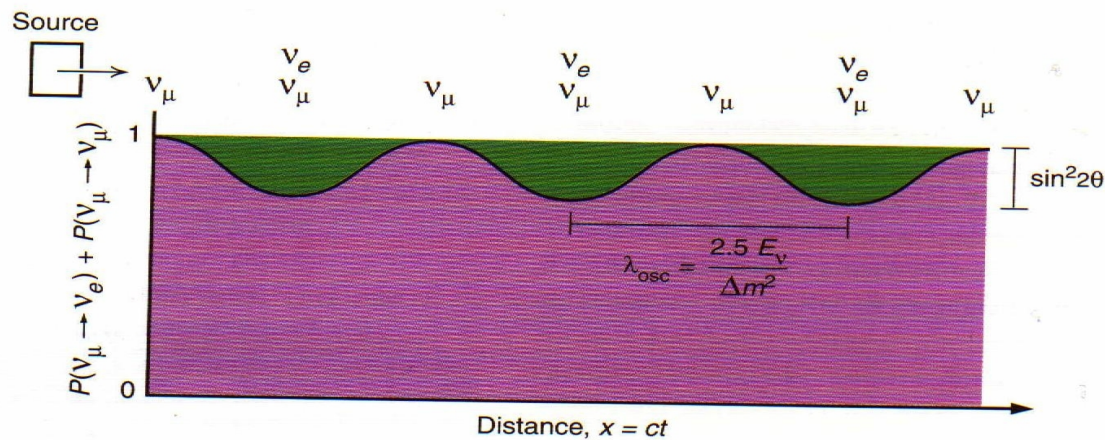
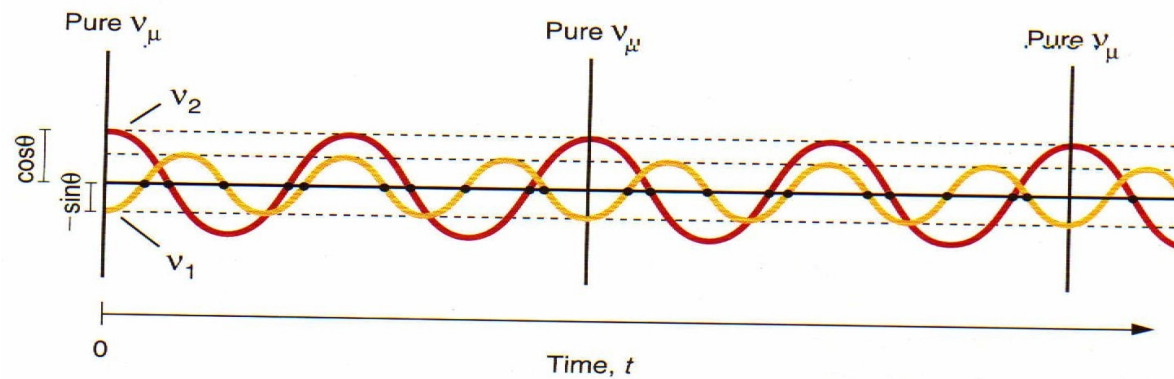
Startujemy
z neutrin
mionowych

$$\begin{aligned} |\nu_1(0)\rangle &= \cos \Theta |\nu_e(0)\rangle - \sin \Theta |\nu_\mu(0)\rangle = -\sin \Theta |\nu_\mu(0)\rangle \\ |\nu_2(0)\rangle &= \sin \Theta |\nu_e(0)\rangle + \cos \Theta |\nu_\mu(0)\rangle = \cos \Theta |\nu_\mu(0)\rangle \end{aligned}$$



$$\begin{pmatrix} v_e \\ v_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix}$$

Stan słaby: mieszanka stanów masowych



Probability that v_μ has become v_e
 Probability that v_μ is still v_μ

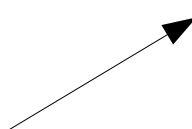
Oscylacje w próżni

$$|\nu_e(t)\rangle = \sin\Theta \cos\Theta(e^{-iE_1t} - e^{-iE_2t})|\nu_\mu(0)\rangle$$

$$E_i \simeq p + \frac{m_i^2}{2E}$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2 2\Theta \sin^2 \frac{\Delta m^2}{4E} t$$

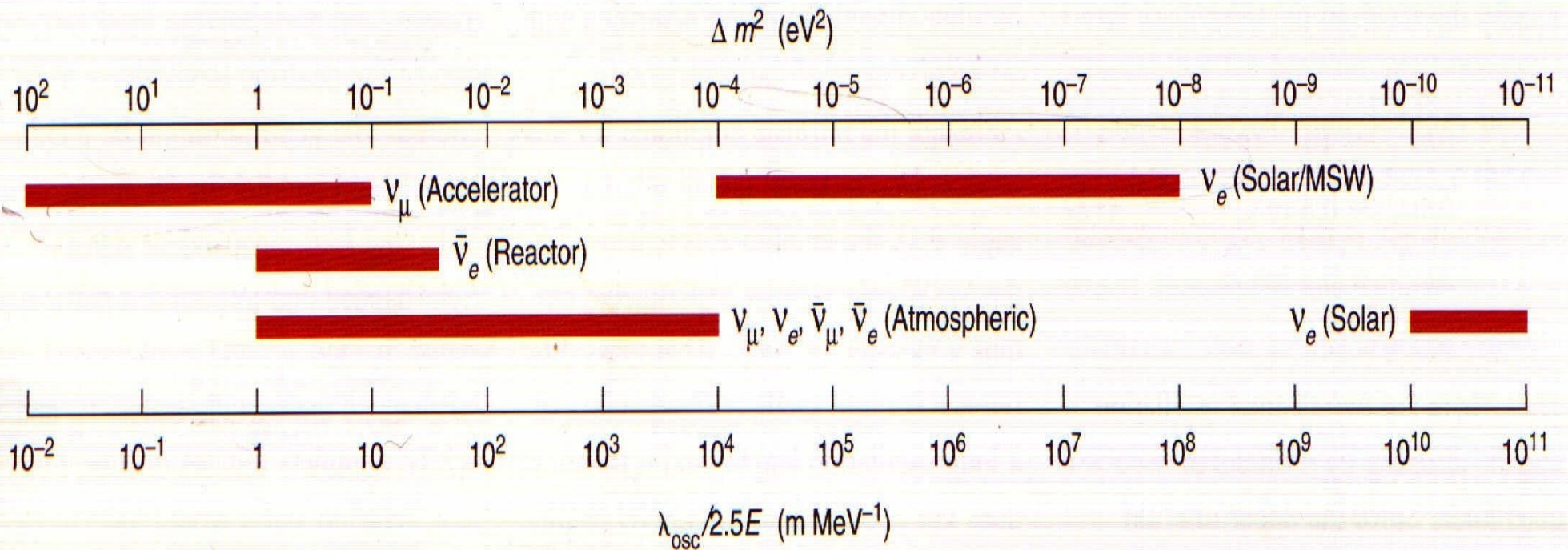
$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2 2\Theta \sin^2 \frac{1.27 \Delta m^2 [\text{eV}]^2 L [\text{km}]}{E [\text{GeV}]}$$


$$\Delta m^2 = m_1^2 - m_2^2$$

wnioski

- Oscylacje neutrin, gdy masy niezerowe
- Kąt mieszania w próżni niezerowy
- Czułość eksperymentów na Δm^2 zależy od L i E : wybór bazy

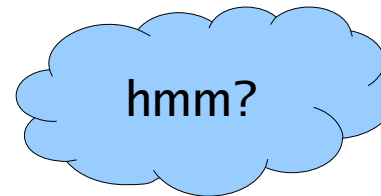
Zakres czułości

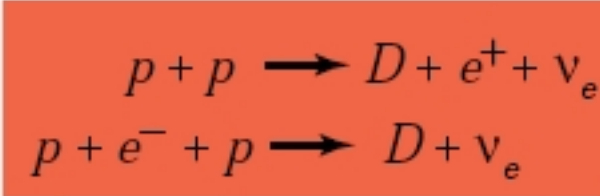


$$\lambda = E\pi/1.27/(m_1^2 - m_2^2)$$

pytanie

- Dlaczego np. neutrino elektronowe może oscylować do neutrina mionowego, nie ma natomiast możliwości oscylacji elektronu w mion?
- Wskazówka: **oscylacje to czysty efekt kwantowy**





pp

pep

Reaction

Neutrino endpoint
energy (MeV)

pp

0.42

pep

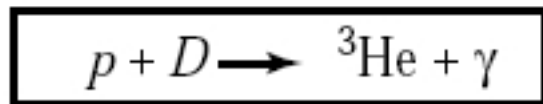
1.44

${}^7\text{Be}$

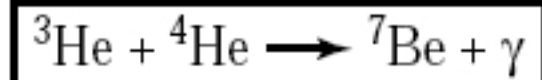
0.86

${}^8\text{B}$

15



14 %

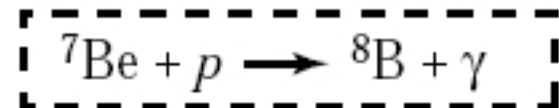


99 %

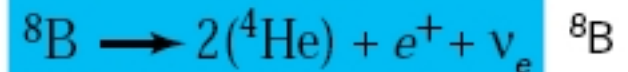
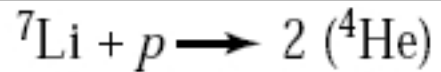
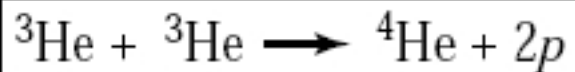
${}^7\text{Be}$



0.1 %



86 %



${}^8\text{B}$

Neutrina ze Słońca

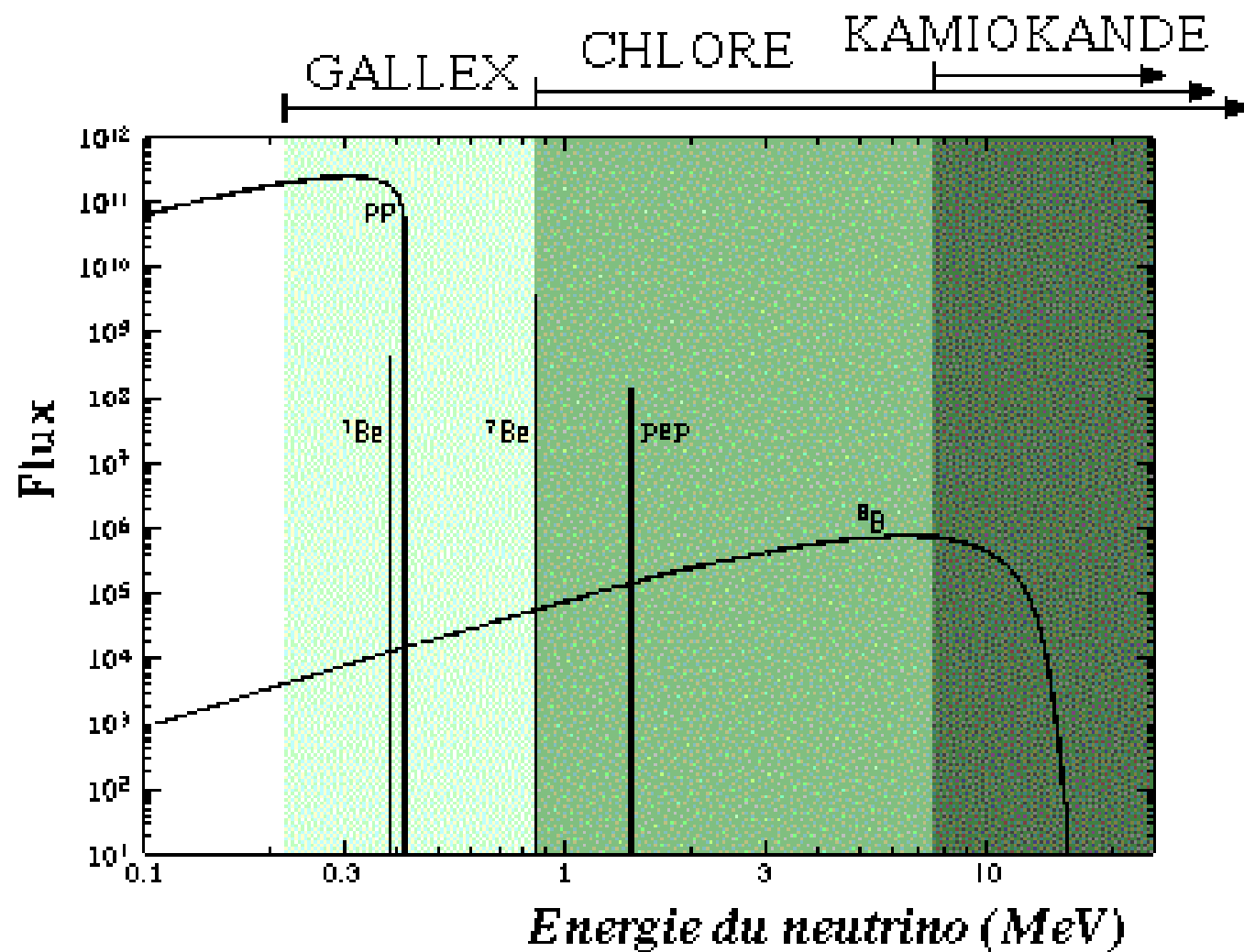
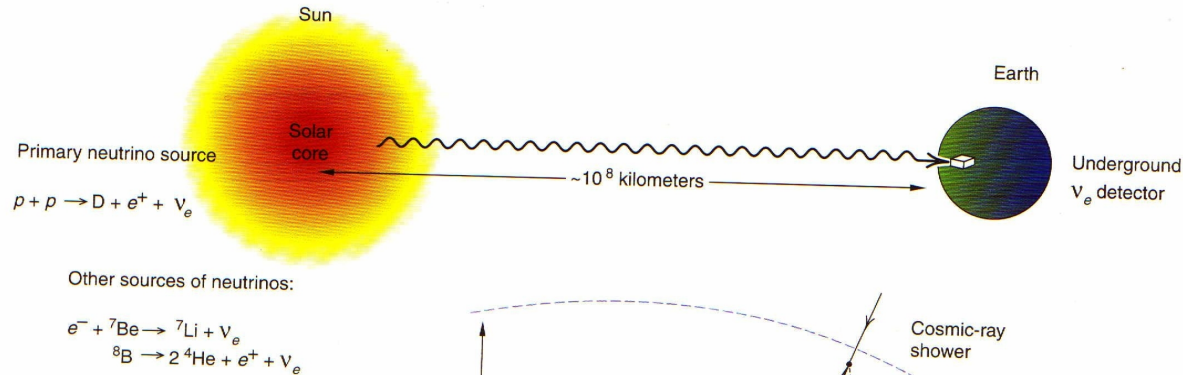
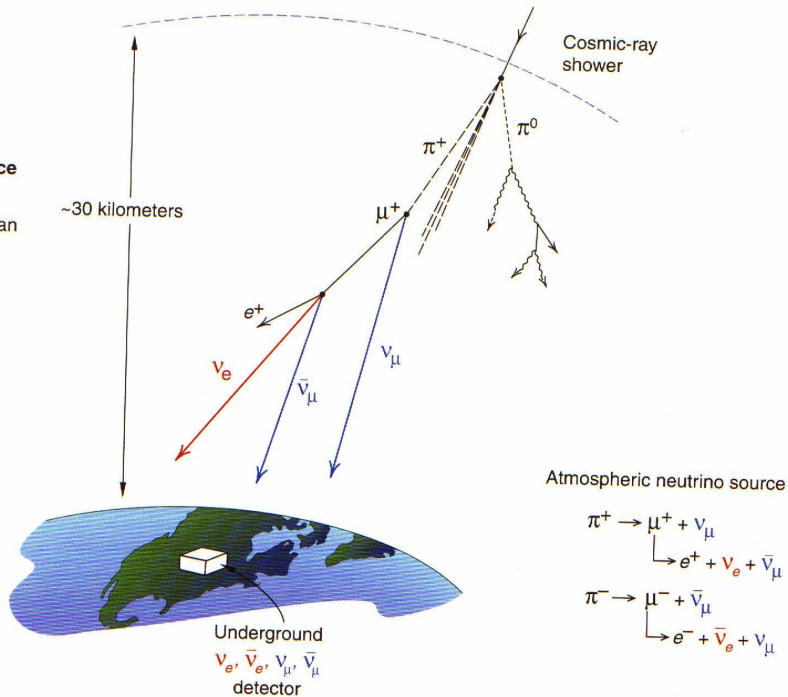


Figure 13. Three Types of Evidence for Neutrino Oscillations

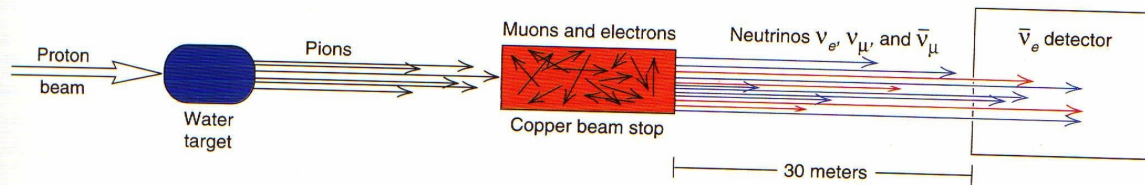
(a) Solar neutrinos—a disappearance experiment. The flux of electron neutrinos produced in the Sun's core was measured in large underground detectors and found to be lower than expected. The "disappearance" could be explained by the oscillation of the electron neutrino into another flavor.



(b) Atmospheric neutrinos—a disappearance experiment. Collisions between high-energy protons and nuclei in the upper atmosphere can create high-energy pions. The decay of those pions followed by the decay of the resulting muons produces twice as many muon-type neutrinos (blue) as electron-type neutrinos (red). But underground neutrino detectors designed to measure both types see a much smaller ratio than 2 to 1. The oscillation of muon neutrinos into tau neutrinos could explain that deficit.



(c) LSND—an appearance experiment. Positive pions decay at rest into positive muons, which then decay into muon antineutrinos, positrons, and electron neutrinos. Negative pions decay and produce electron antineutrinos, but that rate is almost negligible. A giant liquid-scintillator neutrino detector located 30 meters downstream looks for the appearance of electron antineutrinos as the signal that the muon antineutrinos have oscillated into that flavor.



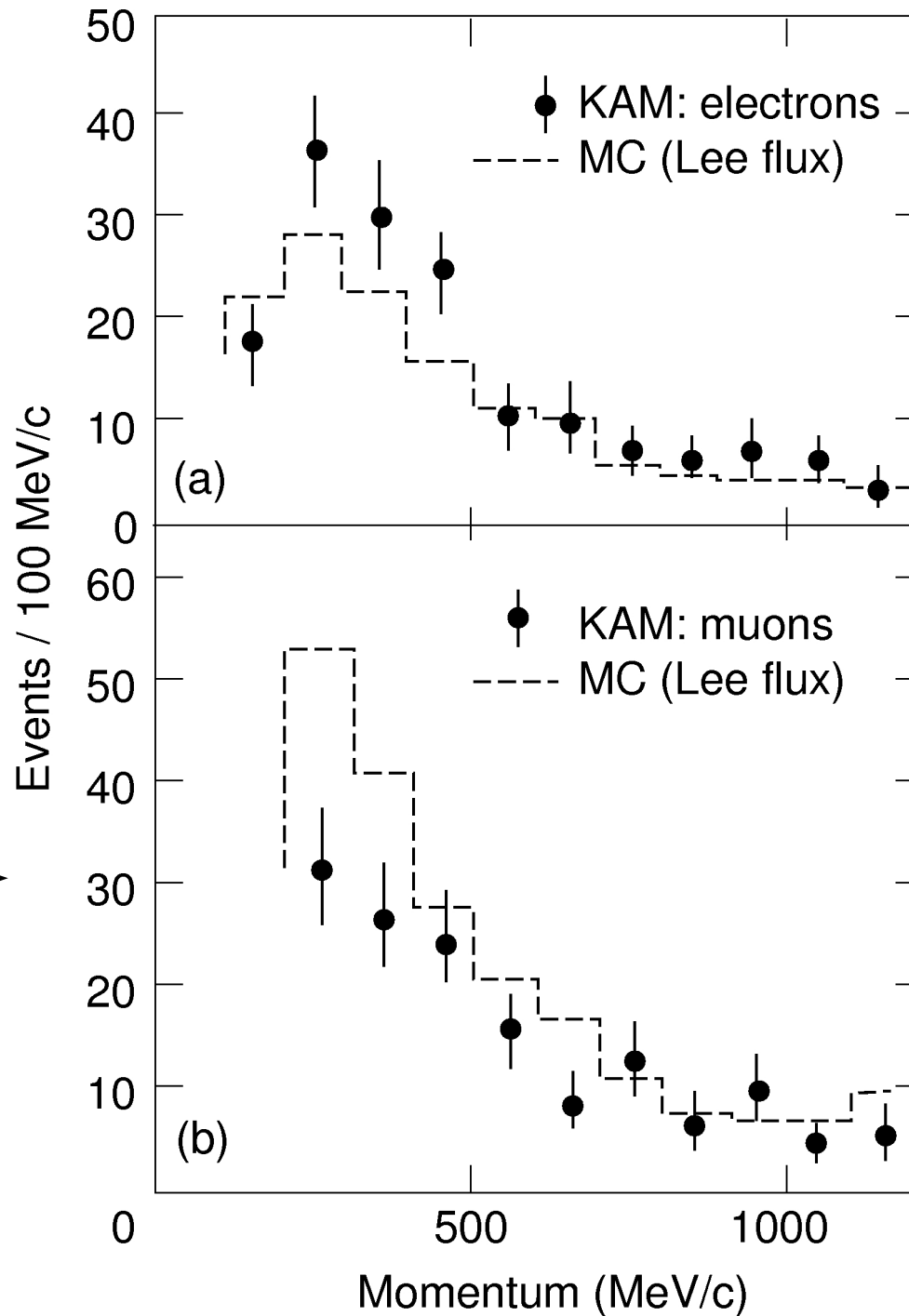
Nieaktualne:
miniboon

Wyniki SK

Za dużo elektronów



Za mało mionów



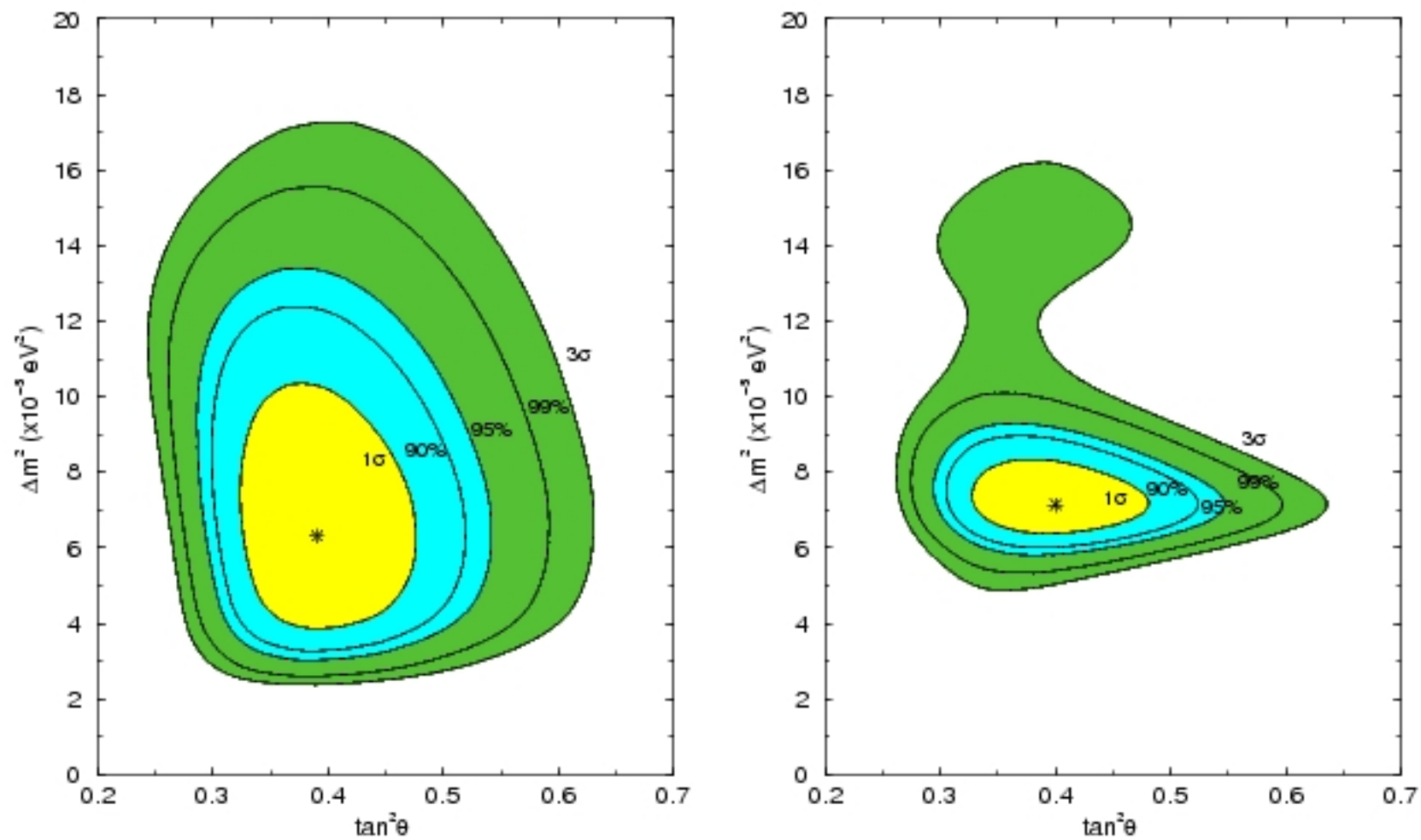
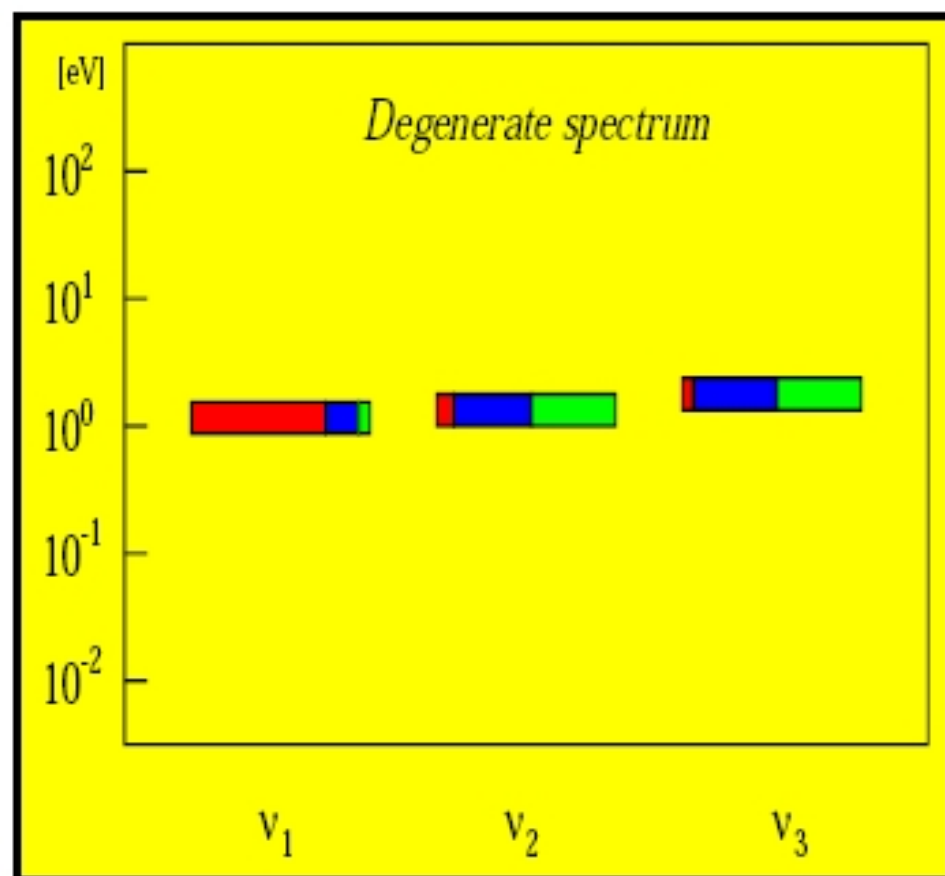
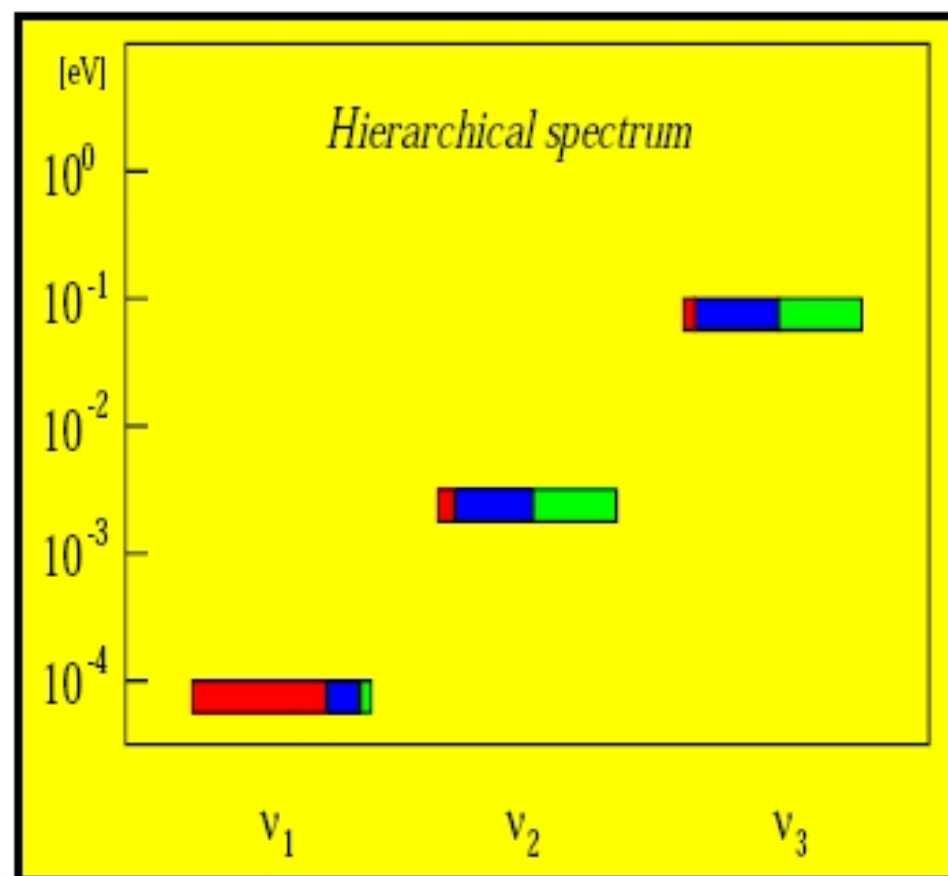


Figure 1: The allowed regions of oscillation parameters from the 2ν analysis of the solar neutrino data (left) and the combined fit of the solar neutrino data and the KamLAND spectrum (right) at 1σ , 2σ , 3σ CL.¹⁵⁾

Which neutrino spectrum?

any of the following can solve solar and atmospheric neutrino problems:



Colour coding for flavour composition: ν_e , ν_μ , ν_τ

i	x_i	x_i^{cent}	σ_i
1	Δm_{32}^2	$2.6 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
2	Δm_{21}^2	$8.3 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
3	$ U_{e1} $	0.835	0.045
4	$ U_{e2} $	0.54	0.07
5	$ U_{e3} $	0.1	0.1
6	$ U_{\mu 1} $	0.355	0.165
7	$ U_{\mu 2} $	0.575	0.155
8	$ U_{\mu 3} $	0.7	0.12
9	$ U_{\tau 1} $	0.365	0.165
10	$ U_{\tau 2} $	0.59	0.15
11	$ U_{\tau 3} $	0.685	0.125

U_{MNSP} - Neutrino Mixing Matrix

Solar

$$\theta_{12} = 30.3^\circ$$

large

Chooz + Super-K

$$\tan^2 \theta_{13} < 0.03 \text{ at } 90\% \text{ CL}$$

small, perhaps 0?

Atmospheric

$$\theta_{23} = \sim 45^\circ$$

maximal

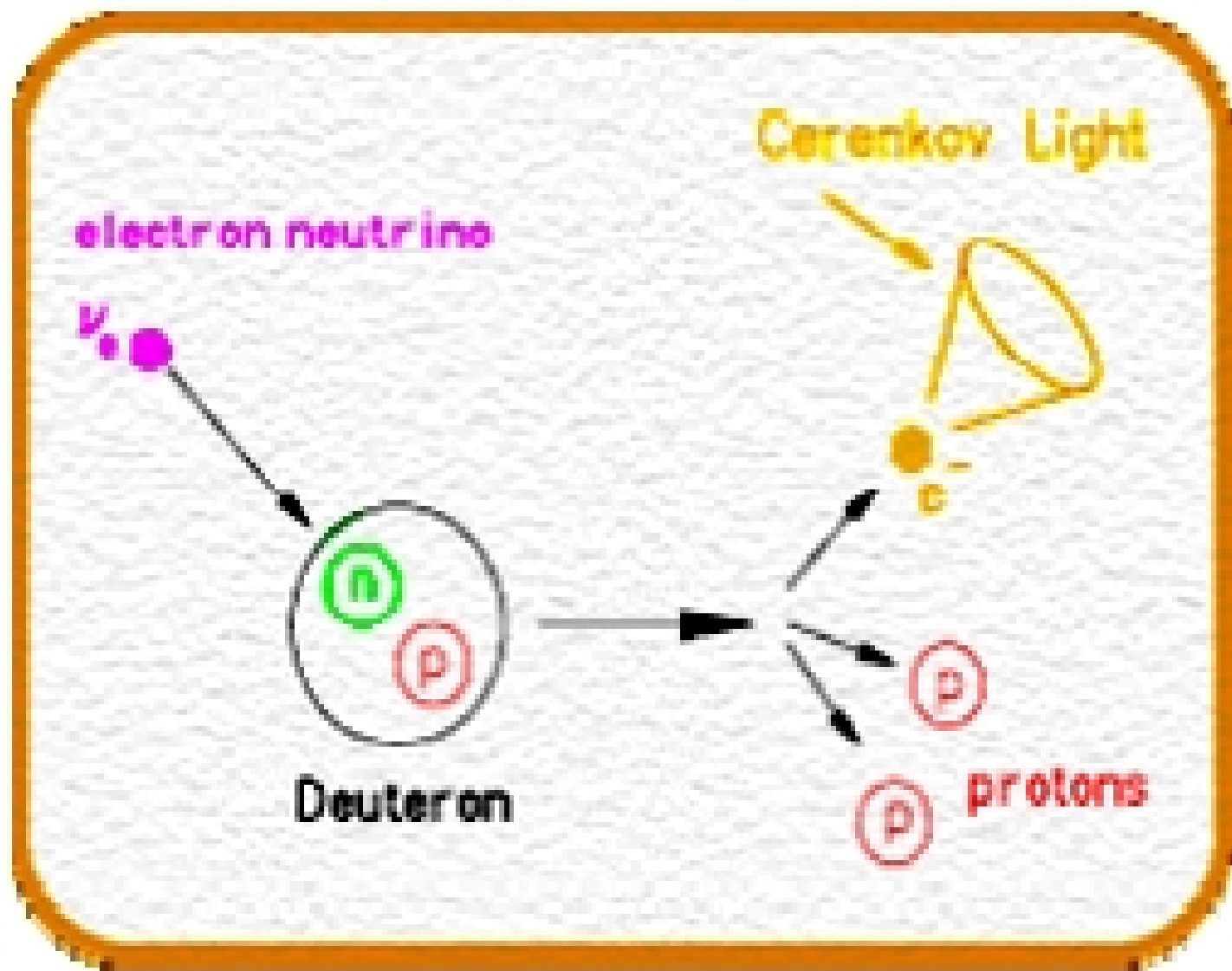
$0\nu\beta\beta$ decay

*Much discussion
To be determined*

$$U = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} \end{pmatrix}$$

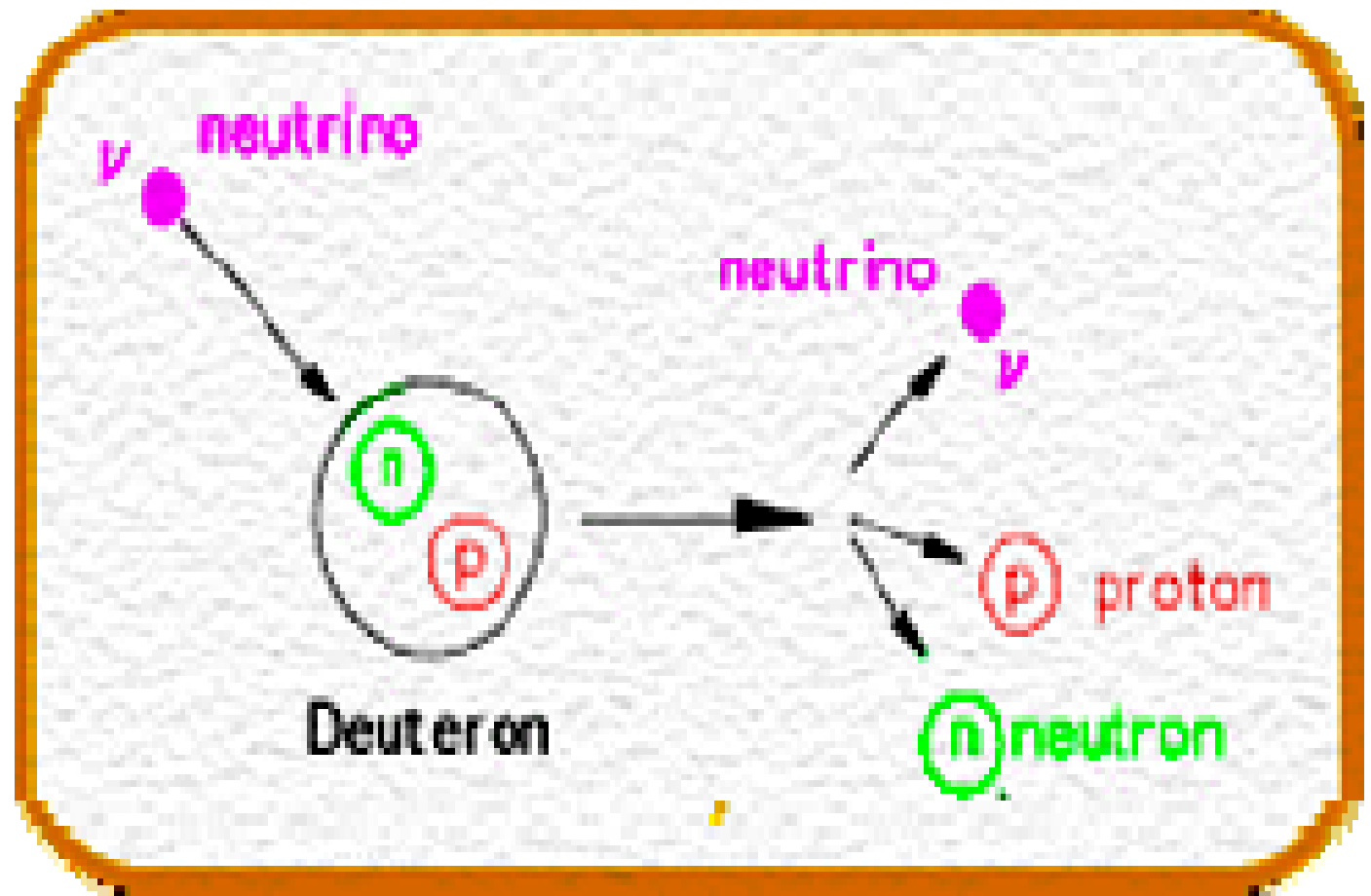
$$= \underbrace{\begin{pmatrix} \cos\theta_{12} & \sin\theta_{12} & 0 \\ -\sin\theta_{12} & \cos\theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\substack{\text{solar } \nu \\ \text{present} \\ \text{Low E solar } \nu + \text{SNO} \\ \text{future}}} \times \underbrace{\begin{pmatrix} \cos\theta_{13} & 0 & e^{-i\delta_{cp}} \sin\theta_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -e^{i\delta_{cp}} \sin\theta_{13} & 0 & \cos\theta_{13} \end{pmatrix}}_{\substack{\text{Dirac phases} \\ \text{reactor experiments + SK} \\ \text{present} \\ \text{reactor and accelerator } \nu \\ \text{future}}} \times \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_{23} & \sin\theta_{23} \\ 0 & -\sin\theta_{23} & \cos\theta_{23} \end{pmatrix}}_{\substack{\text{atmospheric } \nu \\ \text{present} \\ \text{accelerator } \nu \\ \text{future}}} \times \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\alpha/2} & 0 \\ 0 & 0 & e^{i\alpha/2+i\beta} \end{pmatrix}}_{\substack{\text{Majorana phases} \\ \text{0}\nu\beta\beta \text{ experiments} \\ \text{present} \\ \text{0}\nu\beta\beta \text{ experiments} \\ \text{future}}}$$

SNO, CC, elektronowe neutrino

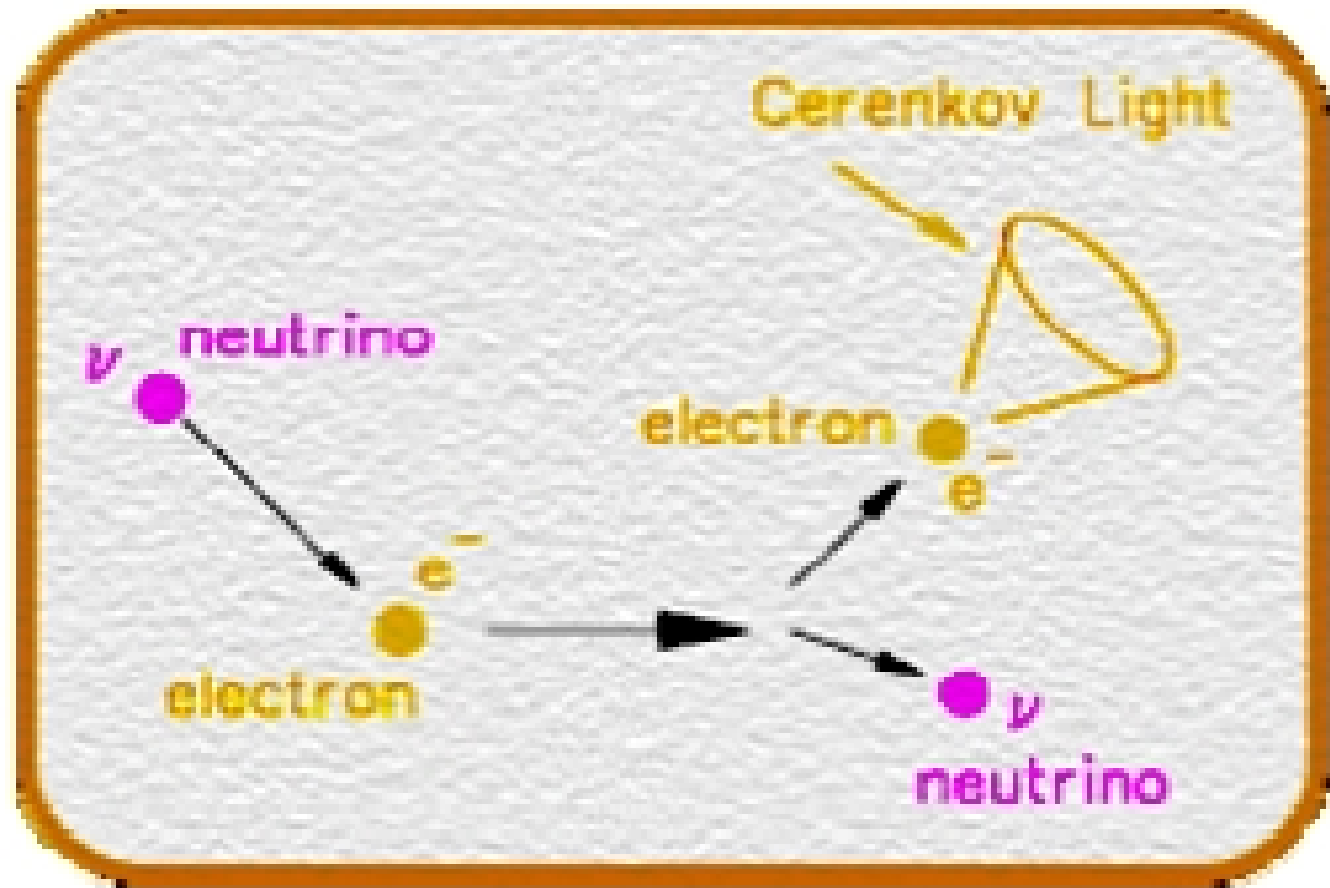


Jak wygląda podstawowy
diagram Feynmana?

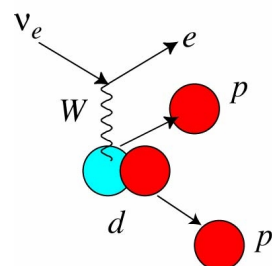
SNO, NC, wszystkie rodzaje neutrin



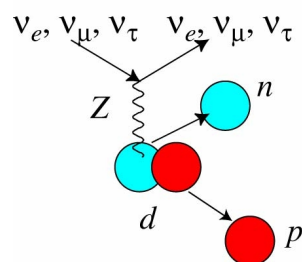
SNO, elastic, głównie elektronowe neutrino



W SNO rejestrowano oddziaływania wszystkich neutrin,
 Strumienie zgadzają się z przewidywaniami SSM
 oscylacje potwierdzone



$$\Phi_{\nu_e} = 1.76 \pm 0.05 \pm 0.09 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$



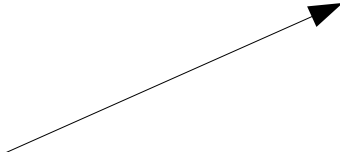
$$\Phi_{\nu_{\mu, \tau}} = 5.09 \pm 0.44 \pm 0.46 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

Dwa teoretyczne wzory

$$m(\nu_e) = \left[|U_{e1}|^2 m_1^2 + |U_{e2}|^2 m_2^2 + |U_{e3}|^2 m_3^2 \right]^{1/2} \leq m_\beta,$$

$$m_\beta = 2.7 \text{ eV [18]} \quad 3.4 \text{ eV}$$

Rozpad trytu

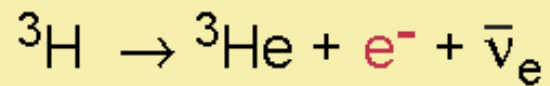


$$|\langle m_\nu \rangle| \equiv \left| \sum U_{ei}^2 m_i \right| < 0.2 \text{ eV}$$

Bezneutrinowy rozpad beta

Back to roots: rozpad trytu

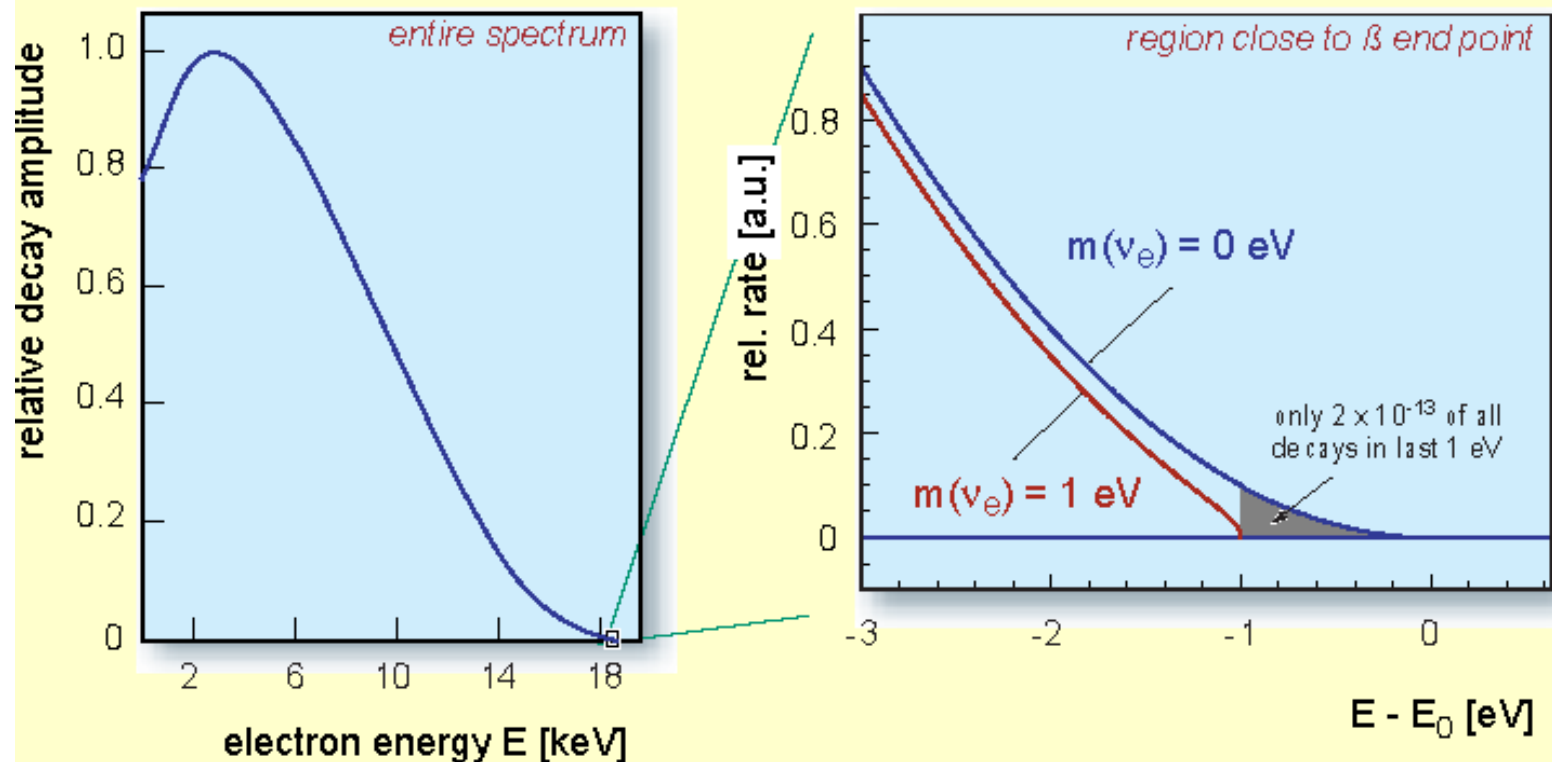
tritium β -decay and the neutrino rest mass



superallowed

half life : $t_{1/2} = 12.32 \text{ a}$

β end point energy : $E_0 = 18.57 \text{ keV}$



Transport Katrin





Podwójny bezneutrinowy rozpad beta

Mass mechanism for $\beta\beta_{0\nu}$ decay

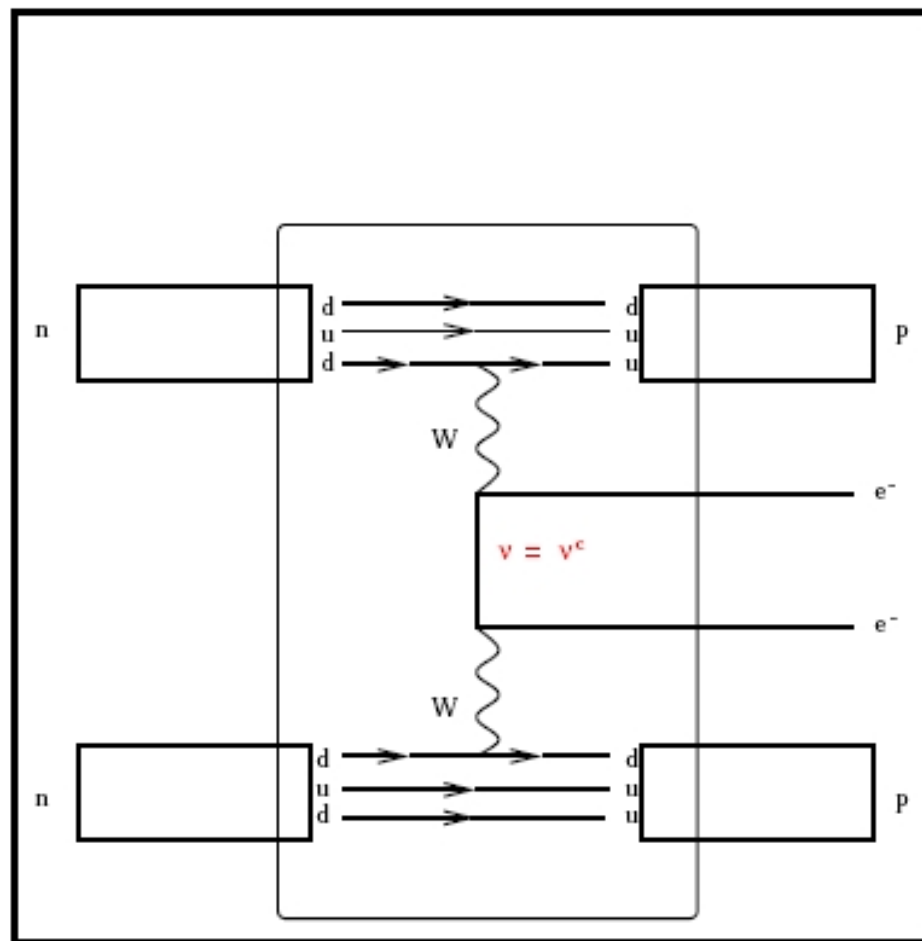
Simplest possibility for $\beta\beta_{0\nu}$ diagram:
Majorana neutrino mass term

requires neutrino to be its own antiparticle
[$\nu = \nu^c$] and involves the $\Delta L = 2$
neutrino propagator:

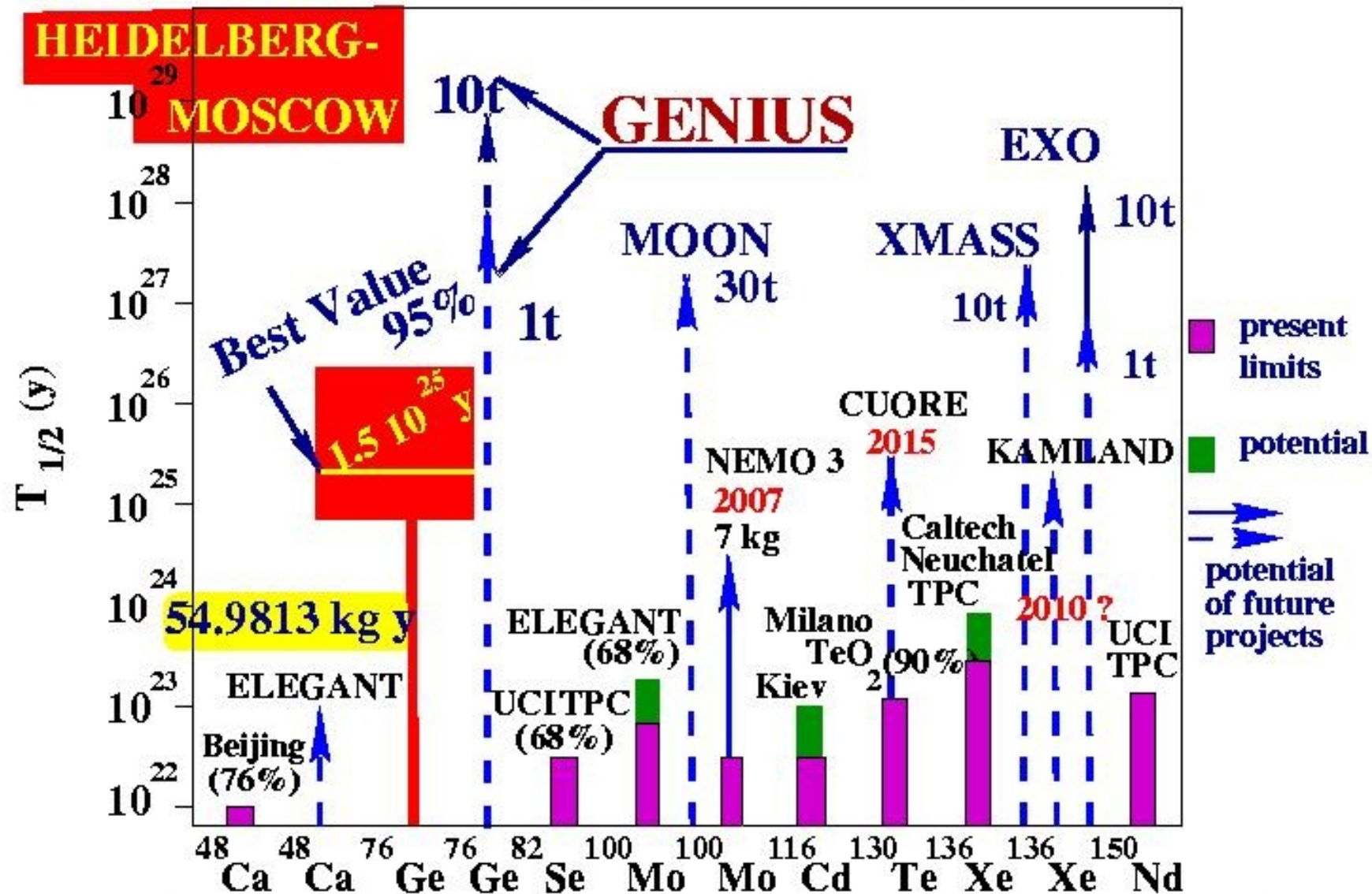
Schechter & JV, PRD24 (1981) 1883

“Mass mechanism” because weak interaction is left-handed

propagator has 2 interesting limits, depending on whether [$m_\nu \ll p$] or $\gg$



and the potential of present and future $\beta\beta$ -experiments



H.V. Klapdor-Kleingrothaus et al. Mod.Phys.Lett.A16(2001)2409-2420

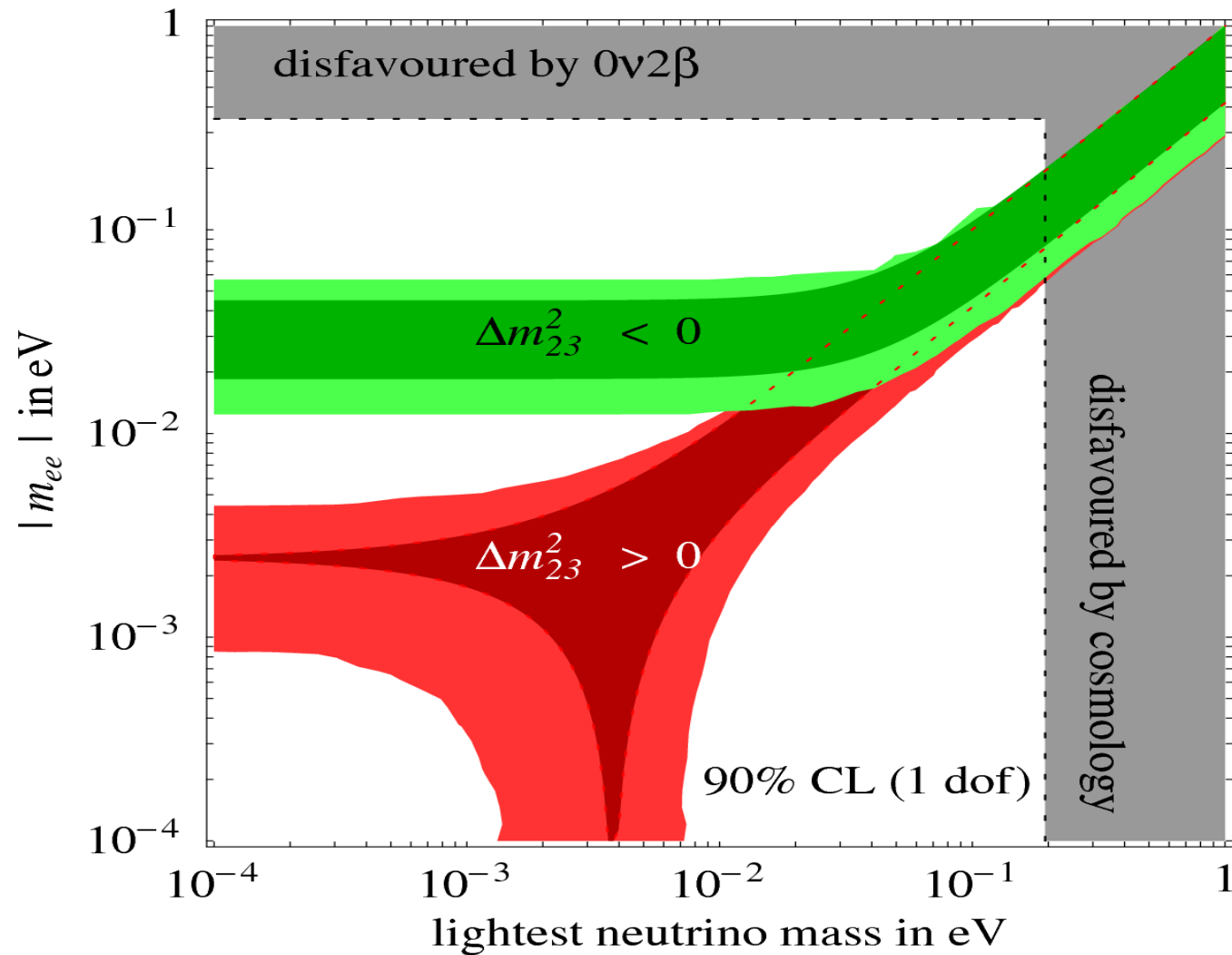
H.V. Klapdor-Kleingrothaus "60 Years of Double Beta Decay", World Scientific (2001)

A summary of current $\beta\beta_{0\nu}$ limits

for references see: S.R. Elliott and P. Vogel, hep-ph/0202264

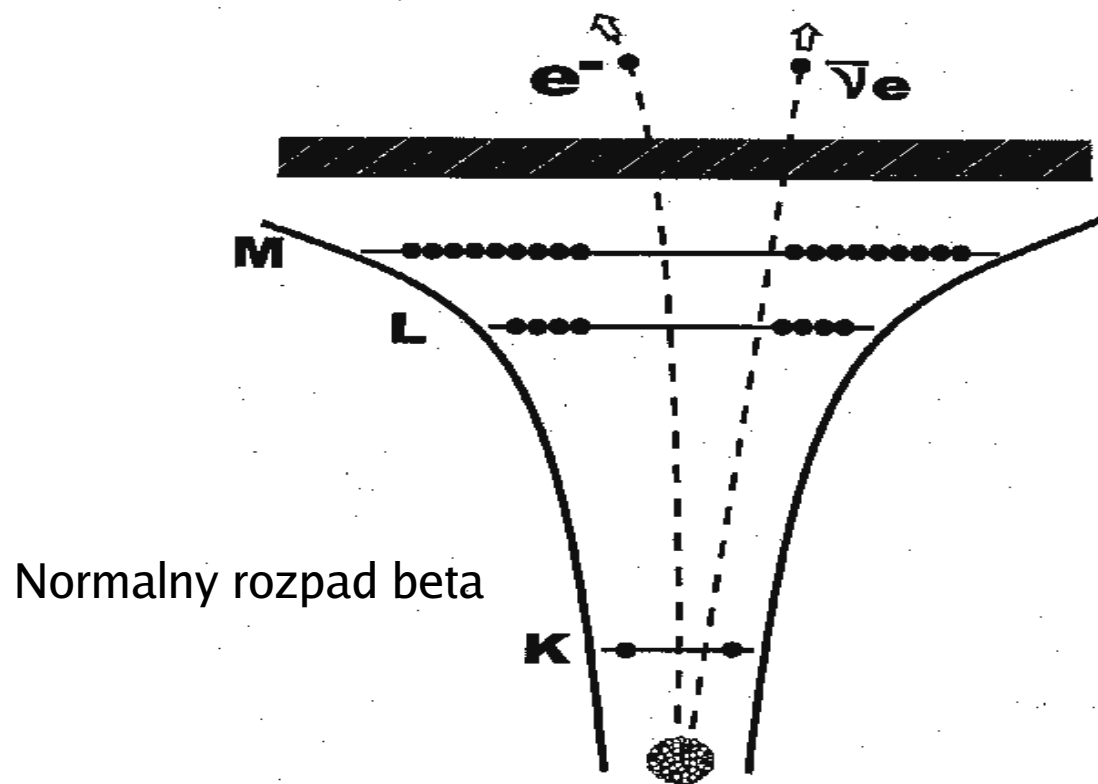
Isotope	$T_{1/2}^{0\nu}$ (y)	$\langle m_\nu \rangle$ (eV)
^{48}Ca	$> 9.5 \times 10^{21}$ (76%)	< 8.3
^{76}Ge	$> 1.9 \times 10^{25}$	< 0.35
^{82}Se	$> 2.7 \times 10^{22}$ (68%)	< 5
^{100}Mo	$> 5.5 \times 10^{22}$	< 2.1
^{116}Cd	$> 7 \times 10^{22}$	< 2.6
$^{128,130}\text{Te}$	$\frac{T_{1/2}(130)}{T_{1/2}(128)} = (3.52 \pm 0.11) \times 10^{-4}$	$< 1.1 - 1.5$
^{128}Te	$> 7.7 \times 10^{24}$	$< 1.1 - 1.5$
^{130}Te	$> 1.4 \times 10^{23}$	$< 1.1 - 2.6$
^{136}Xe	$> 4.4 \times 10^{23}$	$< 1.8 - 5.2$
^{150}Nd	$> 1.2 \times 10^{21}$	< 3

rozpadu trytu oraz bezneutrinowy rozpad beta: także prace w Katowicach

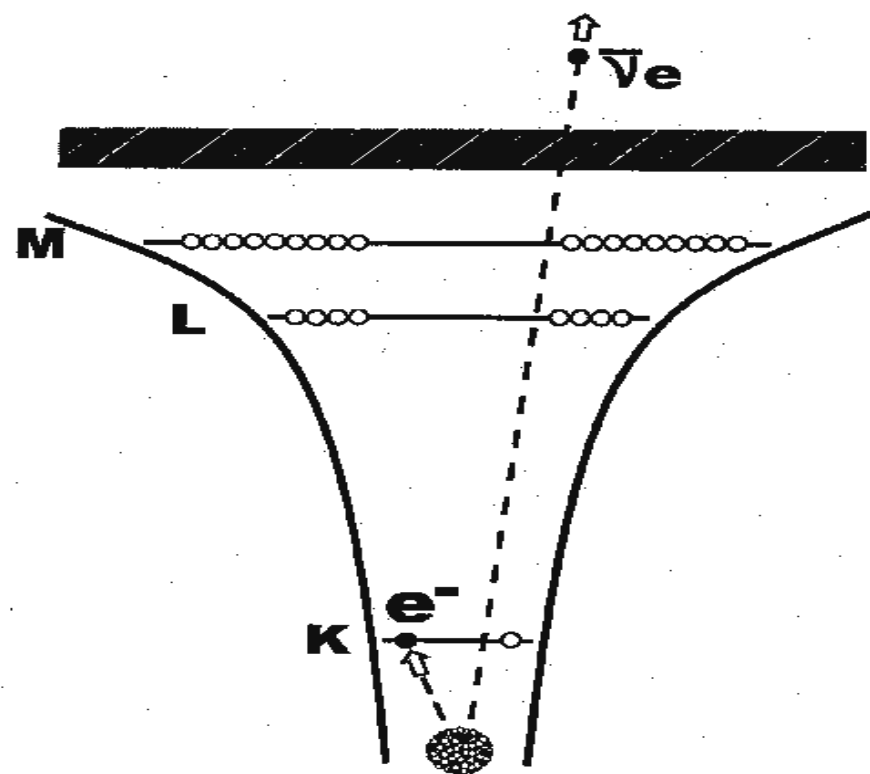


Neutrina ciągle zaskakują: eksperyment w GSI

- GSI w Darmstadt produkuje HCI (highly charged ions), które są beta niestabilne, ale powstaje też EC (electron capture przy rozpadzie beta)



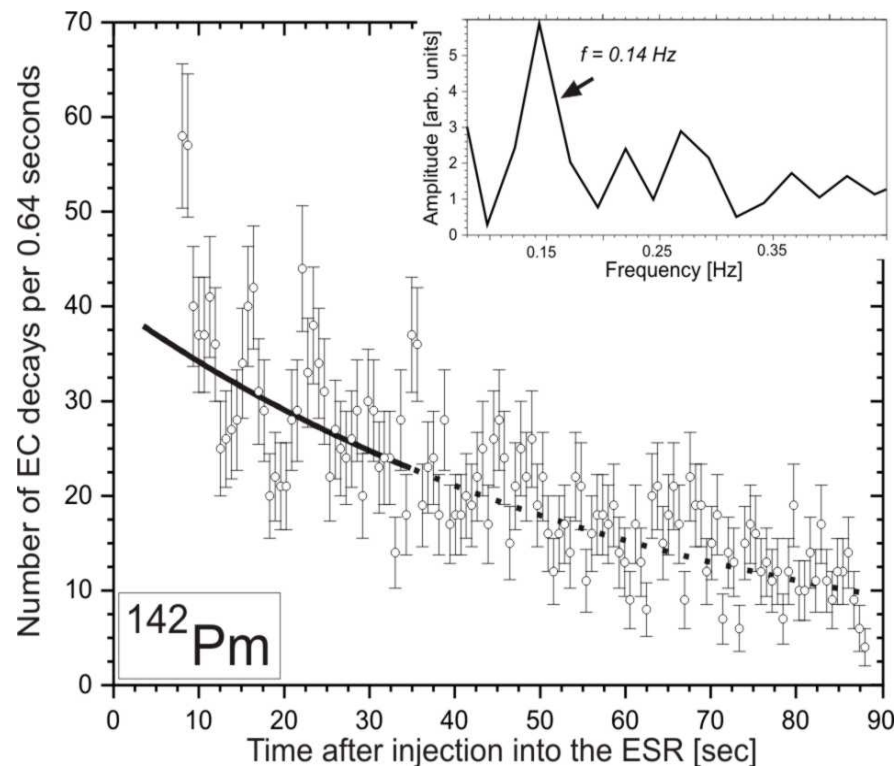
Wykład V: Neutrino, J. Gluza



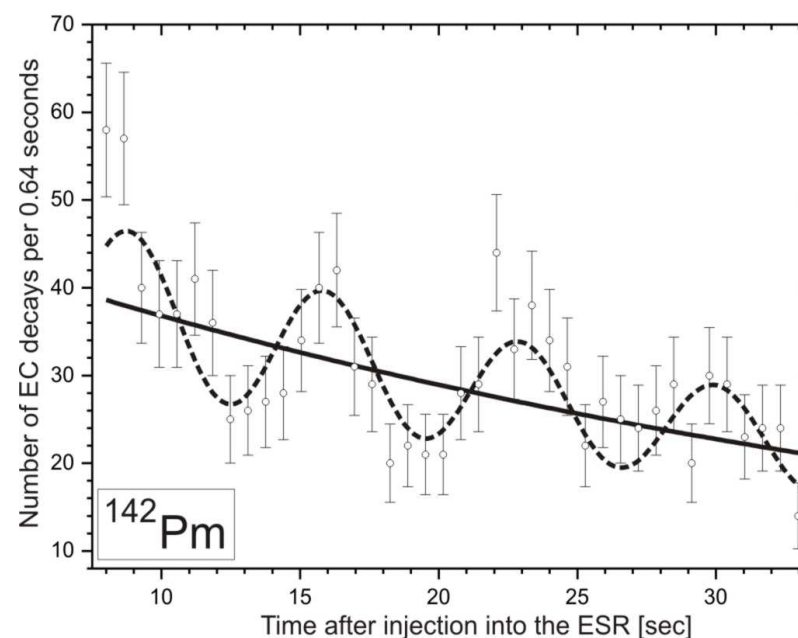
Nowy, związany rozpad beta

Modulowany eksponentyjalny rozpad,

arXiv:0801.2079v1



Powiększone pierwsze 30 sekund



Pomiary czasów życia dla HCl są ważne dla obliczeń procesów nukleosyntezy w gwiazdach

Modulacja 7 sekundowa, skąd?

- Neutrino mają także wpływ na mechanizm wybuchu supernowych oraz są ważne w kosmologii, ale o tym powiem na oddzielnym wykładzie