

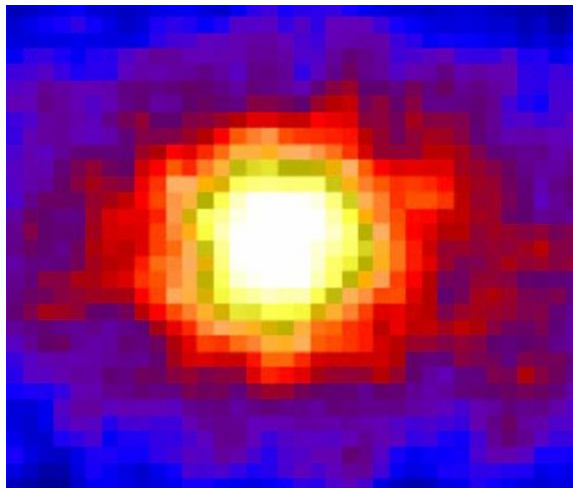
Naturalne źródła neutrin, czyli neutrina są wszędzie

Tomasz Früboes

Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych

16 stycznia 2006

Proseminarium fizyki jądra atomowego
i cząstek elementarnych



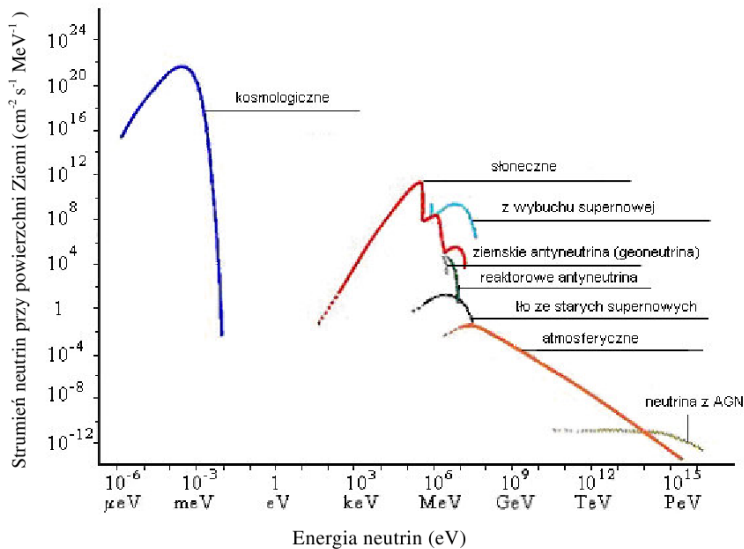
Neutrina wokół nas

- Słońce -
 $7 \cdot 10^{10} / \text{cm}^2 / \text{s}$
(całkowita
emisja $2 \cdot 10^{38} / \text{s}$)

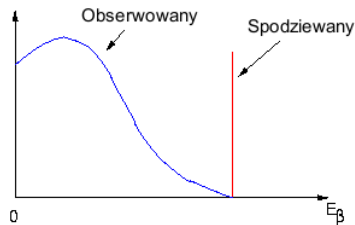
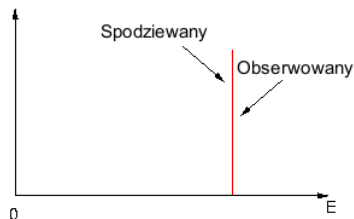
Są jeszcze inne źródła...

- Reaktory
- Ziemia
- Słońce
- Supernowe

Zamiast planu



Historia neutrin - rozpad β



Rozpad α

- Rozpad dwuciałowy
- Spodziewane "spektrum" energii

Do 1930 r. rozpad β jest niezrozumiały

- Po rozpadzie widzimy dwa ciała
- Ciągłe widmo energii
- Niezachowanie energii i pędu?



“I have done something very bad today by proposing a particle that cannot be detected; it is something no theorist should ever do”

Pauli (1930)

- Załóżmy, że istnieje cząstka pozbawiona masy, ładunku i słabo oddziałująca (“neutron”)
- Cząstka zabiera brakującą energię, ale jej nie widać
- Zachowanie energii uratowane

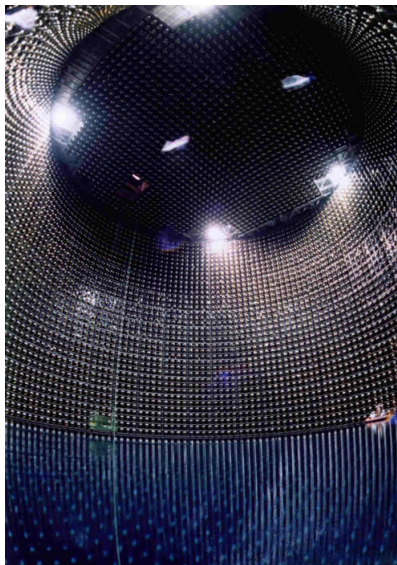
Neutrino dzisiaj - model standardowy

	I	II	III	
Quarks	u	c	t	γ
	d	s	b	g
Leptons	ν_e	ν_μ	ν_τ	Z
	e	μ	τ	W

Three Generations of Matter

Neutrino w modelu standardowym

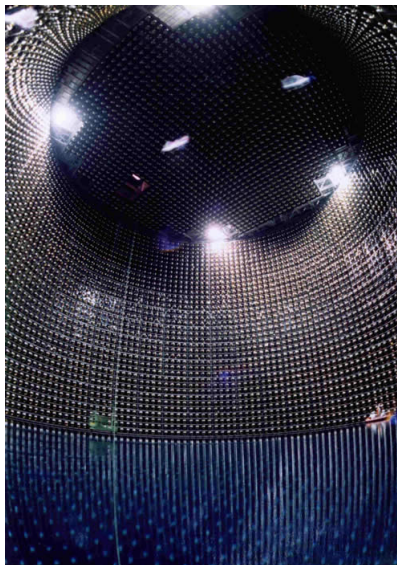
- Jeden z leptonów nienaładowanych
- **Zerowa masa**
- Fermion (spin $\frac{1}{2}$)
- Oddziałuje wyłącznie słabo (i grawitacyjnie)
- Słabo oddziałuje z materią



Dlaczego neutrina są interesujące?

- “Klasyczny” model standardowy $\rightarrow m(\nu) = 0$
- 1998 - eksperyment Super-Kamiokande - niezerowa masa neutrin
- Niezerowa masa, oscylacje, mieszanie zapachów
- \rightarrow konieczna modyfikacja SM, okno na nową fizykę

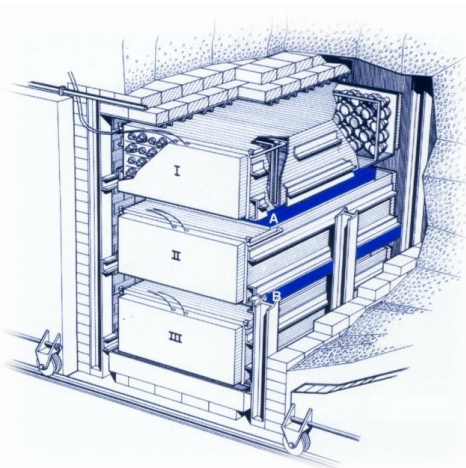
Po co badać neutrina?



Dlaczego neutrina są interesujące?

- Kandydat(?) na ciemną materię
- Cząstka trwała, słabo oddziałująca
- → Badanie odległych obiektów, także słońca i Ziemi

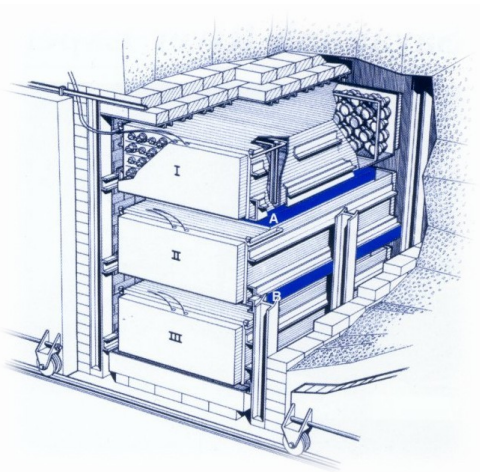
Badanie neutrin - eksperyment Cowana i Reinesa



Prosty sposób wykrycia neutrina (1956)

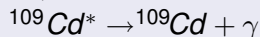
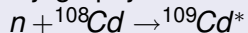
- Strumień neutrin z reaktora powoduje reakcję $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$
- e^+ prawie natychmiast anihiluje produkując 2 fotony
- Wystąpienie dwóch jednoczesnych błysków gamma nie wystarcza do “znalezienia” neutrina

Badanie neutrin - eksperyment Cowana i Reinesa



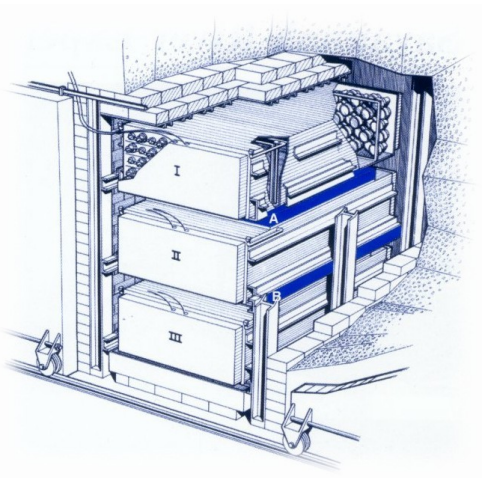
Prosty sposób wykrycia neutrina (1956)

- Po reakcji pozostał neutron, kadm informuje o jego pojawieniu:



- Kolejny błysk gamma wykrywany 5 μs później

Badanie neutrin - eksperyment Cowana i Reinesa



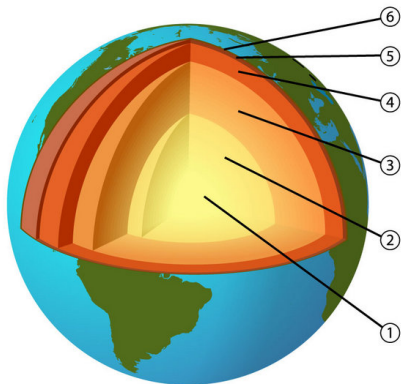
Prosty sposób wykrycia neutrina (1956)

- W sumie 200 litrów wody i 40 kg CdCl_2
- Trzy zdarzenia neutrinowe na godzinę
- Nobel z fizyki w 1995



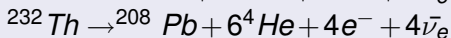
Kości człowieka produkują neutrina

- Całe ciało - 20 mg ^{40}K
- $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + e + \bar{\nu}_e$
- W wyniku rozpadów - 340 mln neutrin na dobę

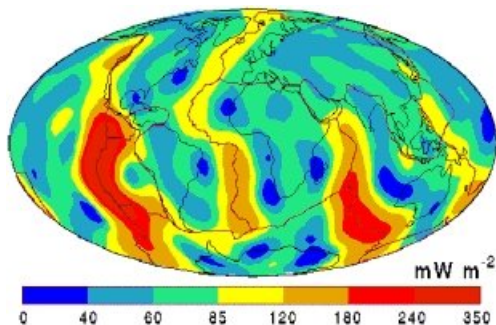


Modele przewidują skład Ziemi

- Podstawowy model - BSE (Bulk Silicate Earth)
- Skład Ziemi - z meteorytów chondrycznych
- Strumień geoneutrino dostarcza informacje o uranie i torze:



- Znaczne ilości neutrino dostarcza też ${}^{40}\text{K}$, mają one jednak zbyt niską energię aby być rejestrowane

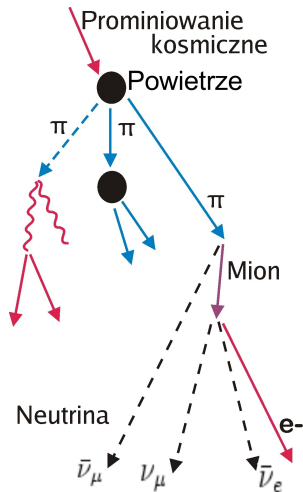


Ciepło Ziemi

- Ciepło produkowane przez Ziemię - około 44 TW
- Ciepło produkowane przez Ziemię w połowie pochodzi od rozpadów U i Th (model BSE)
- Mierząc strumień neutrin szacujemy masę Th i U, stąd możemy obliczyć produkowane ciepło

Pierwsze wyniki eksperymentu KamLand

- Ciepło z rozpadów Th i U $\rightarrow 38_{-33}^{+35}$ TW (obliczone na podstawie strumienia neutrin)
- Ciepło produkowane przez Ziemię - około 44 TW
- \rightarrow Potrzebna lepsza statystyka



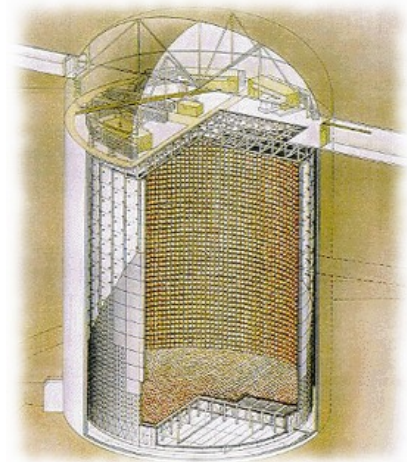
Promieniowanie kosmiczne produkuje piony...

- ...te zaś rozpadają się produkując neutrina:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$$

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

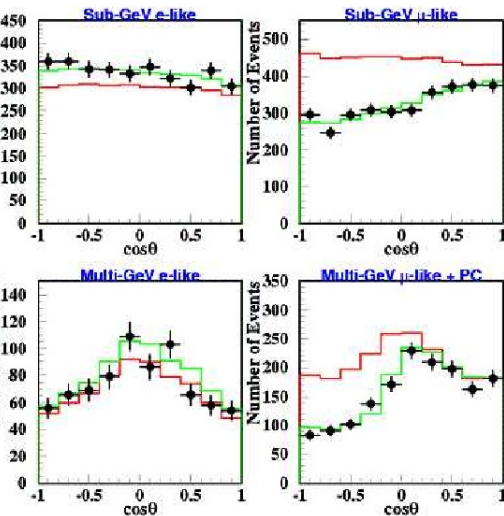
- Neutrino mionowych jest 2× więcej niż elektronowych, tyle też spodziewamy się zobaczyć



Eksperyment Super-Kamiokande

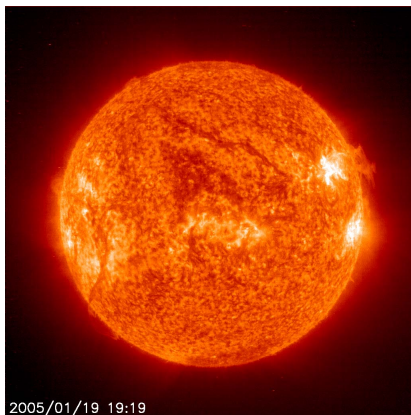
- Stara kopalnia, 1 km pod ziemią
- Walec (40 m × 40 m) wypełniony wodą
- 11000 fotopowielaczy (każdy ~50 cm średnicy)
- Detekcja dzięki promieniowaniu Czerenkowa

Neutrina atmosferyczne - eksperyment Super-K



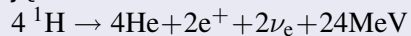
Super-Kamiokande pokazuje oscylacje

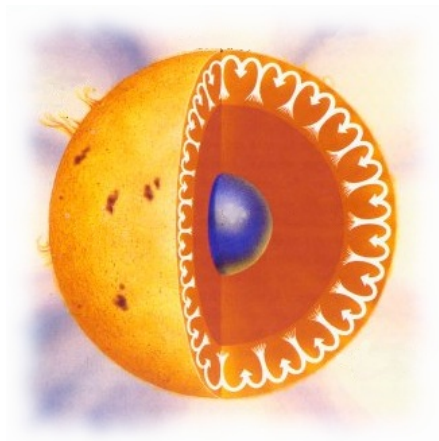
- Spodziewamy się $\frac{\nu_\mu}{\nu_e} = 2$
- Zmierzony stosunek $\frac{\nu_\mu}{\nu_e} = 1.3$
- $\frac{\nu_\mu}{\nu_e}$ zależy od kąta!
- Wy tłumaczenie - oscylacje neutrin



Reakcje jądrowe są źródłem neutrin

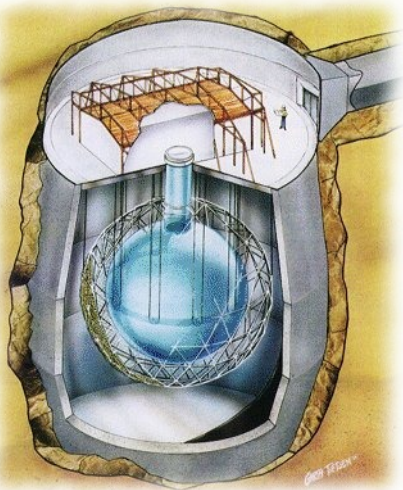
- Neutrina produkowane w jądrze słońca:





Problem neutrin słonecznych

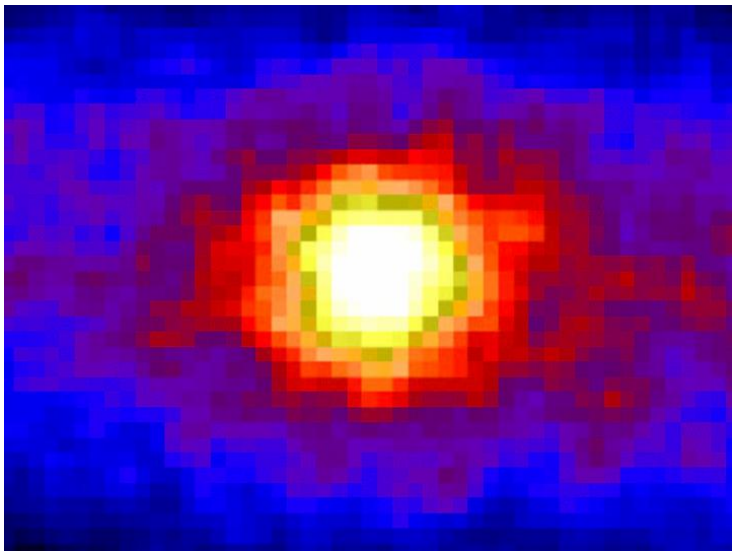
- Standardowy model słońca określa strumień neutrin
- Pomiary (czułe tylko na ν_e) rejestrują od $\frac{1}{3}$ do $\frac{1}{2}$ spodziewanego strumienia
- Możliwe wytłumaczenia - OTW lub SM lub model słońca błędne
- Błędny okazał się model standardowy cząstek...

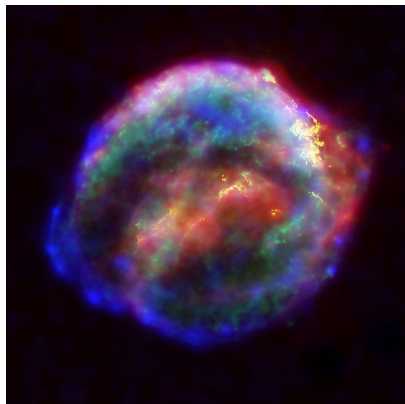


Sudbury Neutrino Obserwatory

- 1000 T ciężkiej wody
- ~ 9500 fotopowielaczy
- 2000 m pod ziemią
- Czuły na wszystkie typy neutrin
- Jeden z wyników - całkowity strumień neutrin słonecznych się zgadza (2002)

Słońce widziane przez Super-Kamiokande





Supernowa = niezwykle jasny obiekt

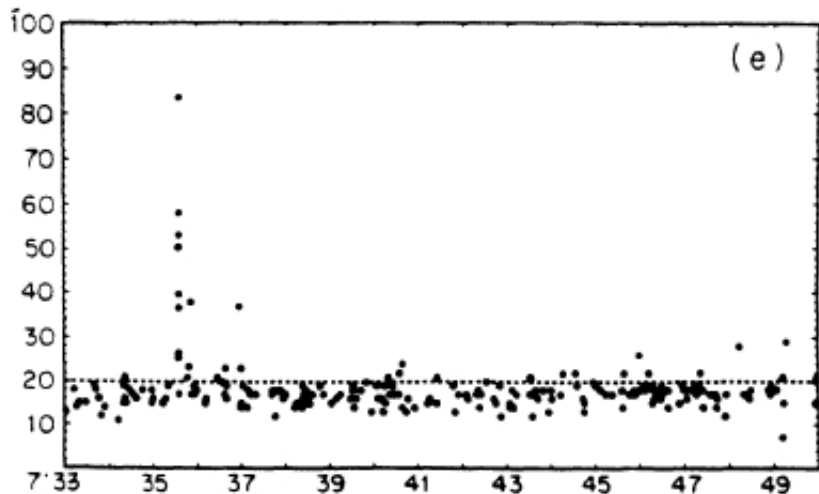
- Masywna gwiazda zapada się po ustaniu reakcji termojądrowych
- Podczas eksplozji neutrina uciekają natychmiast
- Fotony muszą poczekać, aż fala uderzeniowa dojdzie z jądra do powierzchni
- Strumień neutrin unosi niemal całą energię (99%)



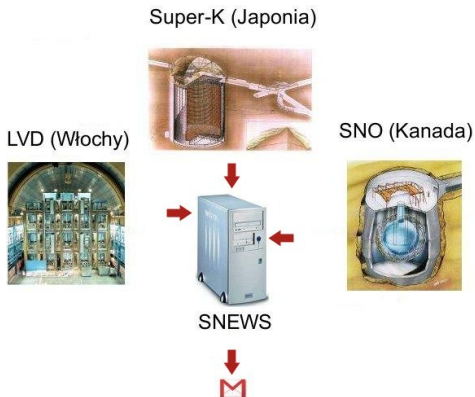
Supernowa 1987a

- Pierwsza “współczesna” supernowa
- Nasza galaktyka, 164 000 lat świetlnych
- Obserwowana przez trzy detektory neutrin - Kamiokande II (11 neutrin), IMB (8), Baksan (5)
- Wszystkie neutrina wyemitowane w czasie krótszym niż 13 s !
- Błysk świetlny dotarł 7 godzin później

Sn1987a w Kamiokande-II

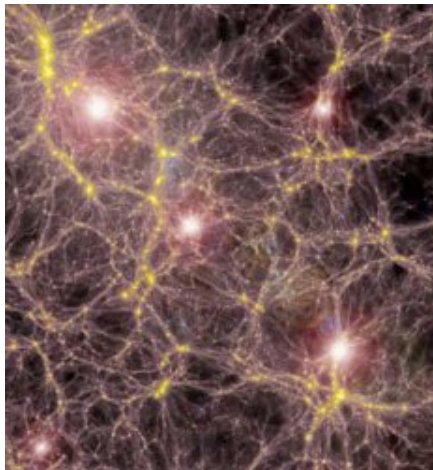


SNEWS: wykrywanie supernowych



Neutrina wcześniej od fotonów

- Neutrina uciekają w ciągu kilku sekund
- Fotony muszą “poczekać” na eksplozję gwiazdy
- → kilka godzin różnicy



Promieniowanie tła zawiera(?) neutrino

- Wielki Wybuch \rightarrow tło \rightarrow neutrino
- Niskoenergetyczne - na razie niemożliwe do rejestracji
- Kandydat na ciemną materię - Hot Dark Matter
- Jeśli nawet - cząstka relatywistyczna, problem z powstawaniem galaktyk
- Potrzebne Cold Dark Matter

Podsumowanie

- W ostatnich latach neutrino dały impuls do rozwoju SM. Wiele faktów z życia neutrin czeka nadal na wyjaśnienie
- Słabo oddziałujące neutrino pozwalają zajrzeć w niewidoczne miejsca - wewnątrz Ziemi, słońca, jądro galaktyki, (...). Pomogą też w obserwacji supernowych

- 1 Wstęp
 - Zamiast planu
 - Strumienie
 - Rozpad β
 - Pauli
 - Model Standardowy
 - Po co badać
 - Eksperyment Cowana i Reinesa
- 2 Źródła
 - Człowiek
 - Ziemia
 - Atmosfera
 - Słońce
 - Supernowe
 - SNEWS
 - Wszechświat