

Nötrino Fiziği II

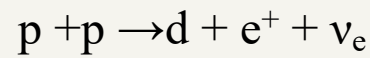
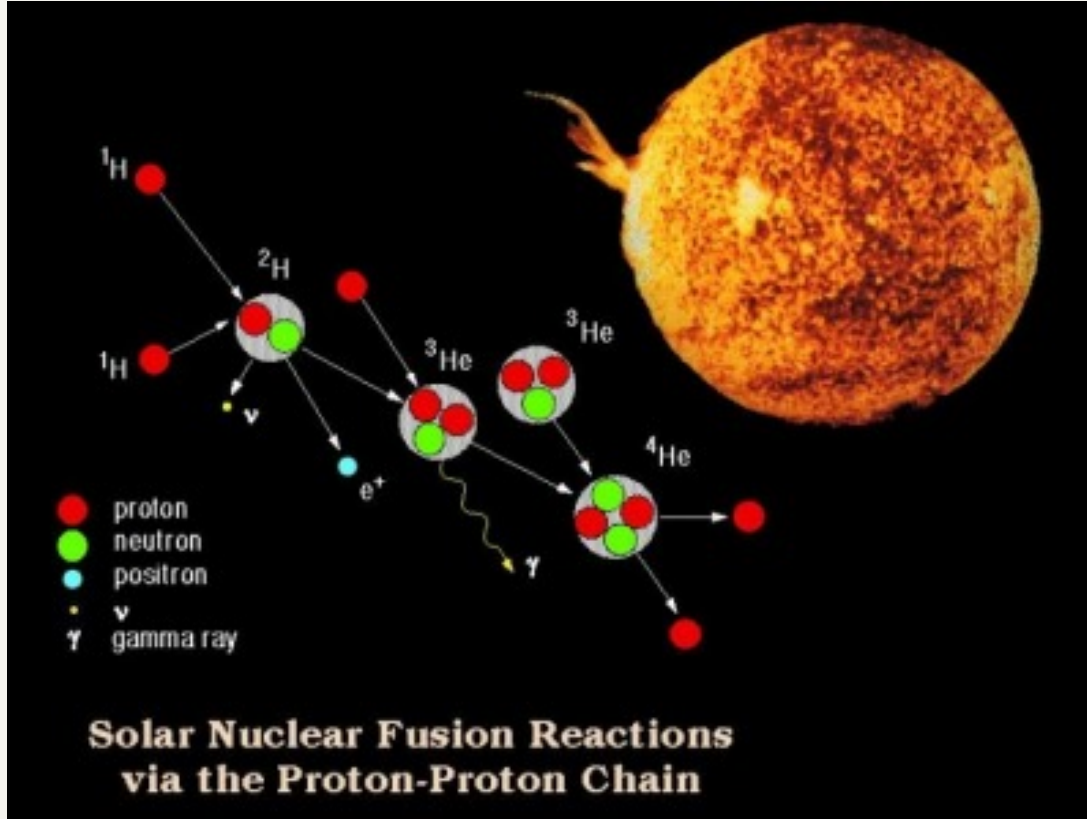
Nötrino salınım deneyleri/sonuçları

A stage with red curtains and a bright green spotlight illuminating a white box with the text "PART II".

PART II

Güneş nötrinolarının salınımları

- Güneşin çekirdeğinde 15.5×10^6 K sıcaklıkta gerçekleşen füzyon ile 4 proton birleşip Helyum çekirdeğini oluştururken nötrinolar açığa çıkar.



Nötrinolar Güneşte ν_e olarak DOĞARLAR....

The Sudbury Neutrino Observatory SNO

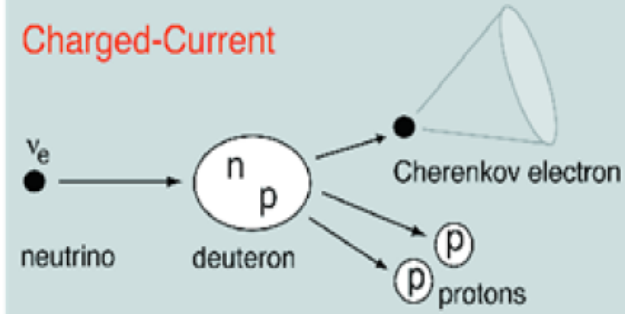


- 1000 ton saf ağır-su (D_2O), 12 m çapındaki kürenin içinde
- Sudbury (Kanada) eski Nikel madenine kuruldu.

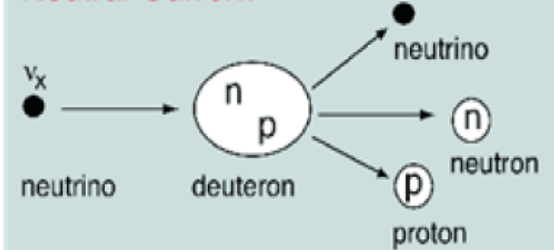
- SNO: Ağır-su deneyi, Cherenkov detektör
- 8B ν_e larına duyarlı
- Hedef ağır su, 3 çeşit nötrino etkileşimlerine duyarlı
- Super-kamiokande sadece nötrino elastik saçılma etkileşimlerine duyarlı

Neutrino Reactions on Deuterium

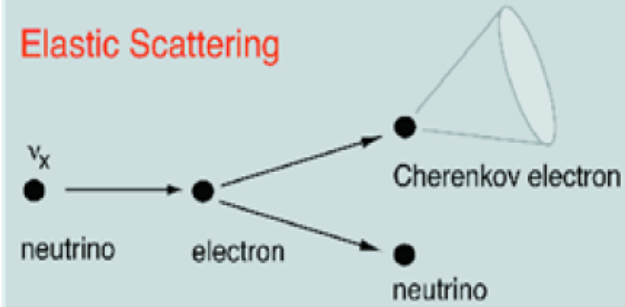
Charged-Current



Neutral-Current



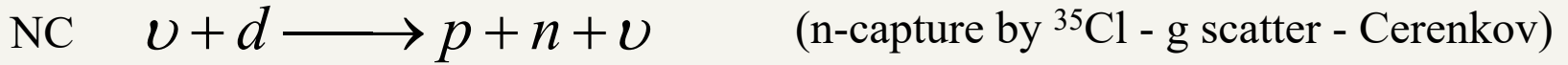
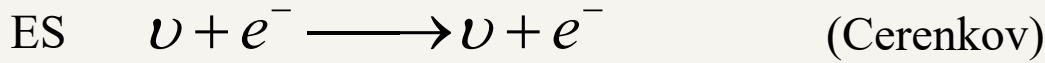
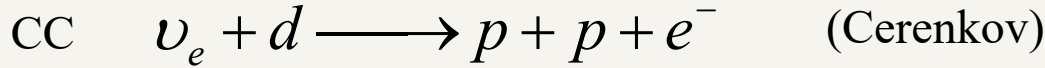
Elastic Scattering



SNO nötrinoları nasıl tespit ediyor?

- Nötrino etkileşimlerini iki farklı yolla tespit ediyor:

Sadece ν_e
yapabilir

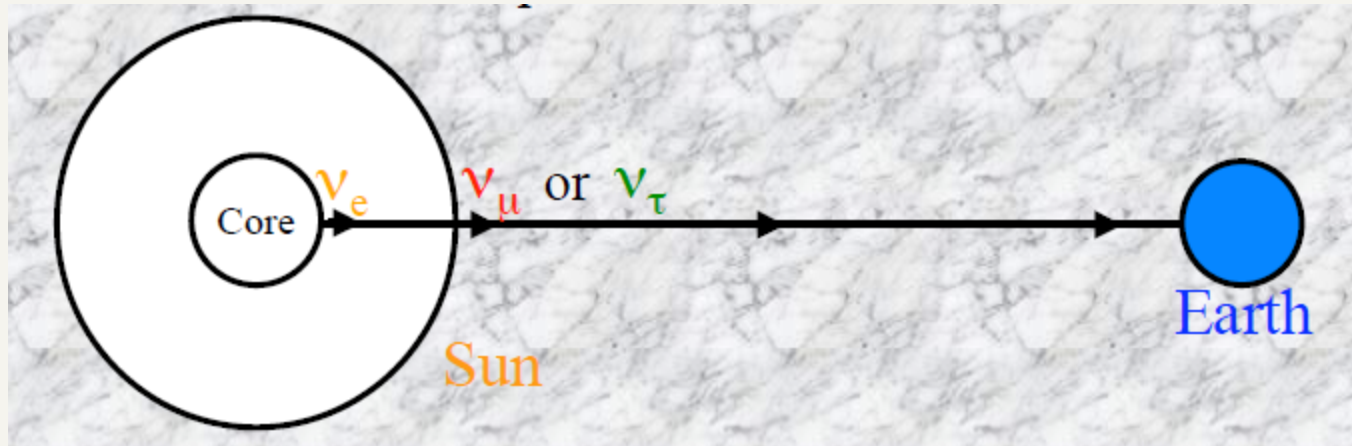


Bütün ν
çenileri
yapabilir

- CC etkileşimi yoluyla ν_e tespit ediliyor.
- NC etkileşimi ise $\nu_e + \nu_\mu + \nu_\tau$ toplam sayısını veriyor.
 - SNO deneyi CC/NC = 1/3 ölçtü

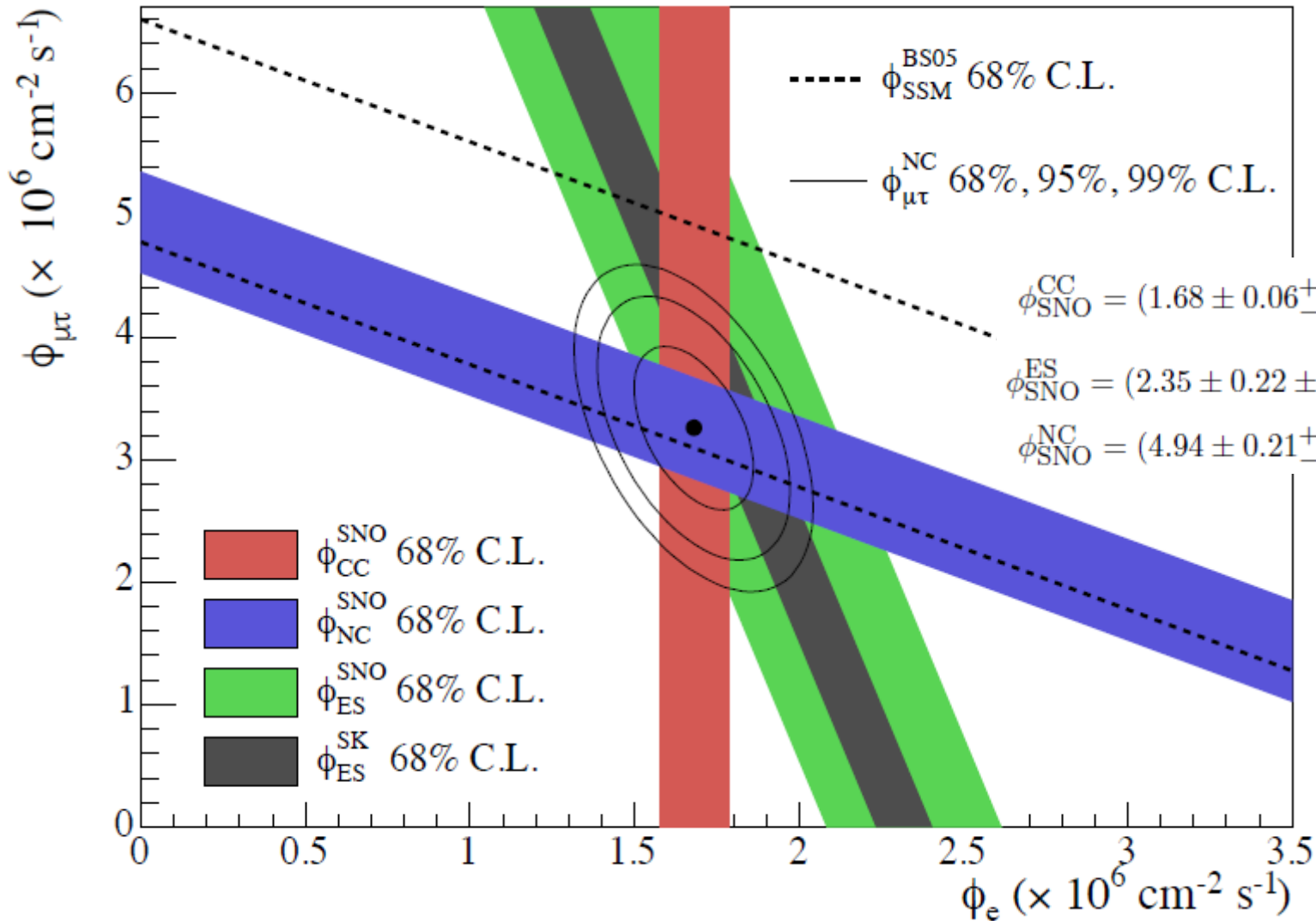
Güneş nötrinolarının salınımları

- Güneşte oluşan ν_e 'ların $2/3$ ν_μ ve ν_τ dönüşüyor!!
Sadece ν_e 'ların $1/3$ 'ü dünya'ya dönüşüm yapmadan ulaşıyor.

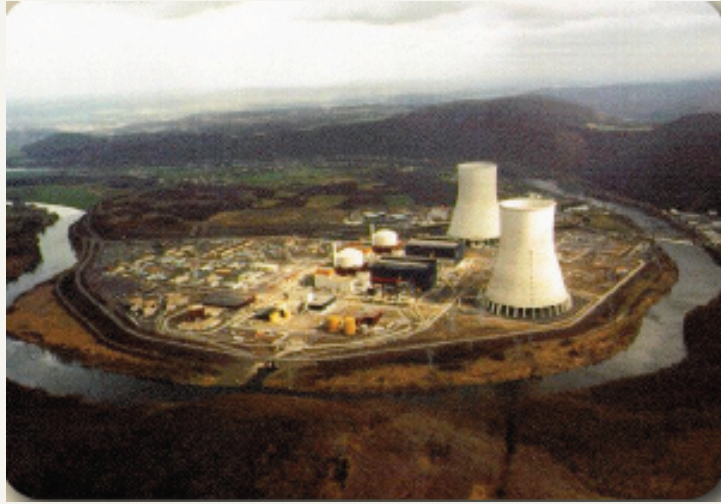


- Deneysel olarak ν_μ ve ν_τ direkt olarak tespit edilemediğinden bu tip deneylerde ν_e 'daki azalma miktarı ölçülmektedir.

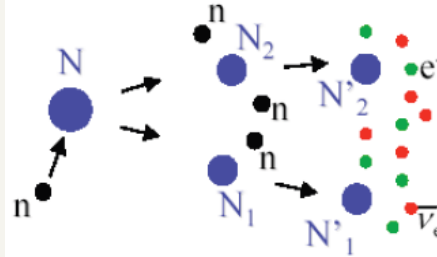
SNO nötrinoları nasıl tespit ediyor?



Reaktör nötrinolarının salınımları



1kg ^{235}U fizyonunda 10^{24} nötrino açığa çıkar



Fizyon başına çıkan enerji
ve nötrino sayısı:
200 Mev/fizyon
6 ν_e /fizyon

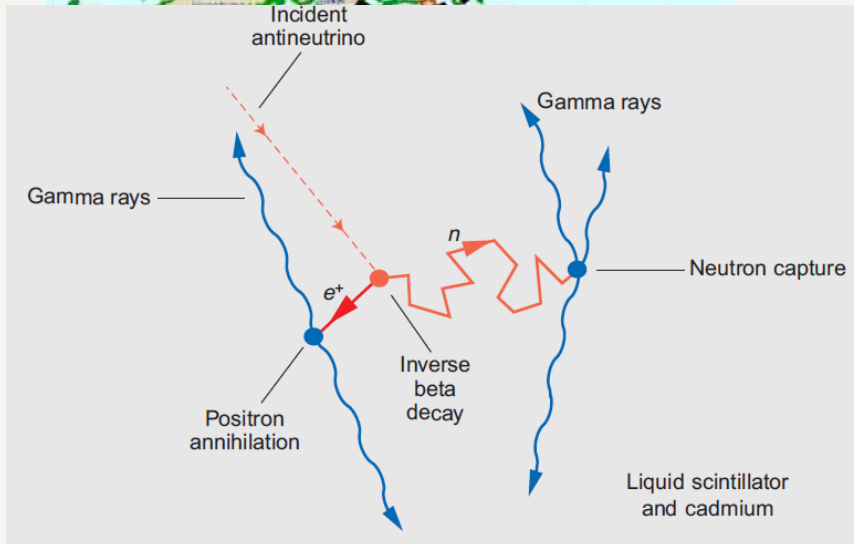
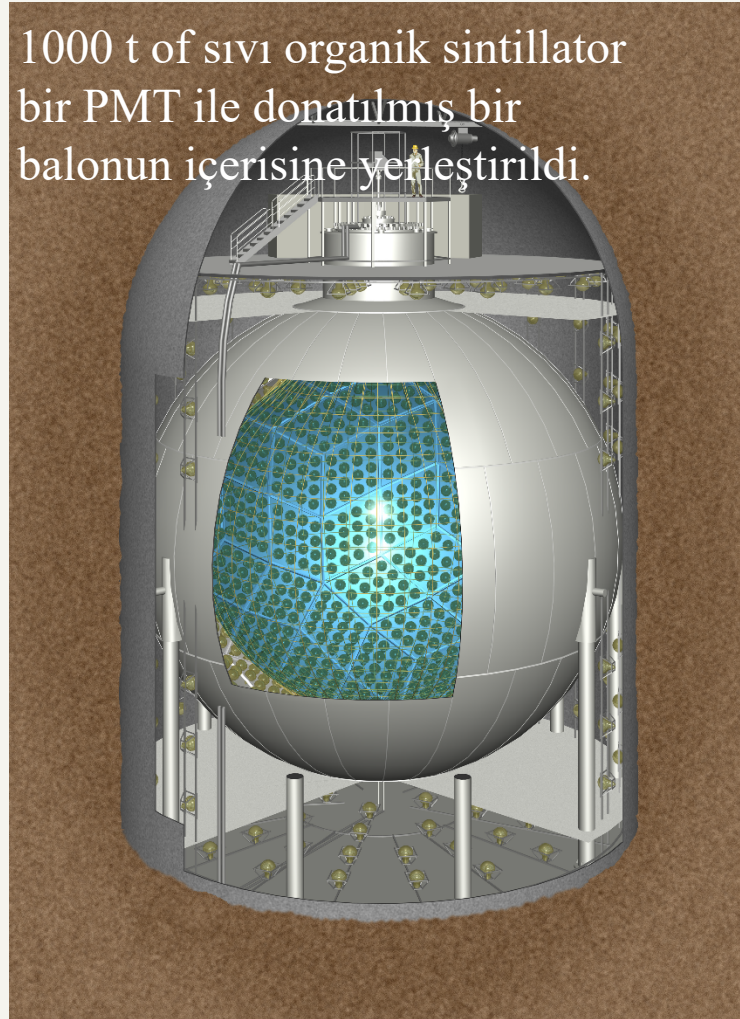
Akkuyu nükleer reaktörü : $\frac{4800\text{MW}}{200\text{ MeV}} \sim 3 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$

- Nükleer reaktörler $\bar{\nu}_e$ üretiyor.
- Reaktör algıçları sadece $\bar{\nu}_e$ tespit edebiliyor.
- $\bar{\nu}_\mu$ ve $\bar{\nu}_\tau$ tespit edilemiyor.
- SNO bulduğu sonuç göre bir çok reaktör $\bar{\nu}_e$ ları yaklaşık 160 km mesafe kat ettikten sonra $\bar{\nu}_\mu$ ve $\bar{\nu}_\tau$ dönüşüyor.

KamLAND deneyi



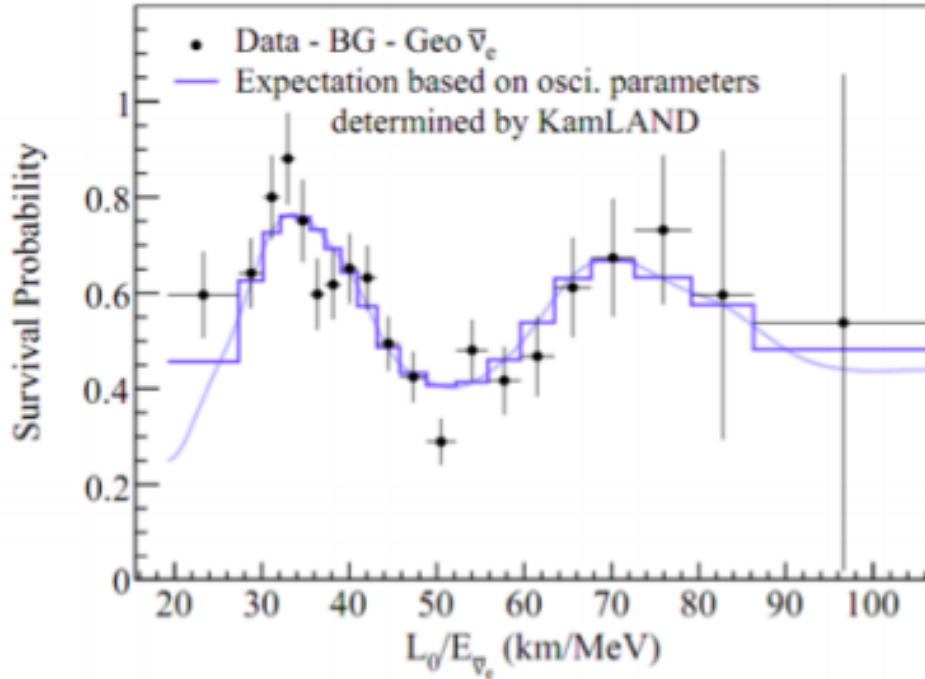
1000 t of sıvı organik sintillator bir PMT ile donatılmış bir balonun içerisine yerleştirildi.



Japonya'da ~50 kurulu nükleer santral var.

KamLAND deneyi

Salınım paterni gören ilk deney



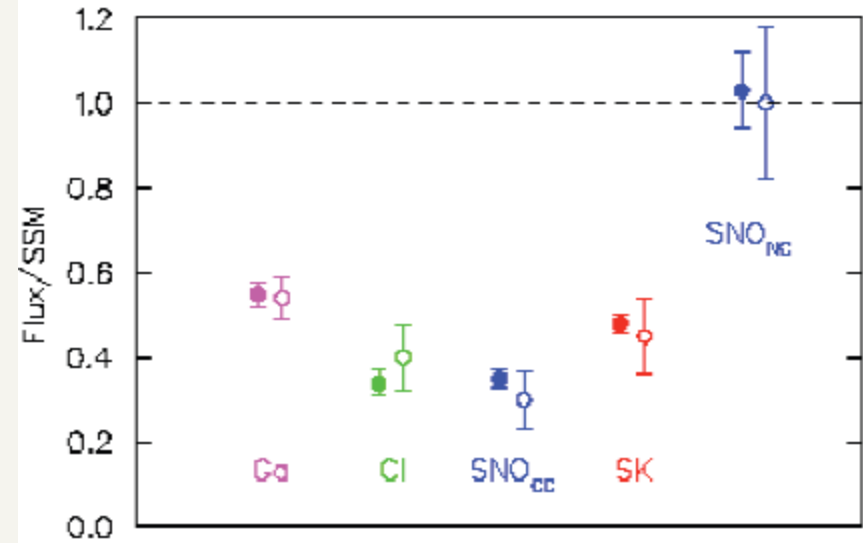
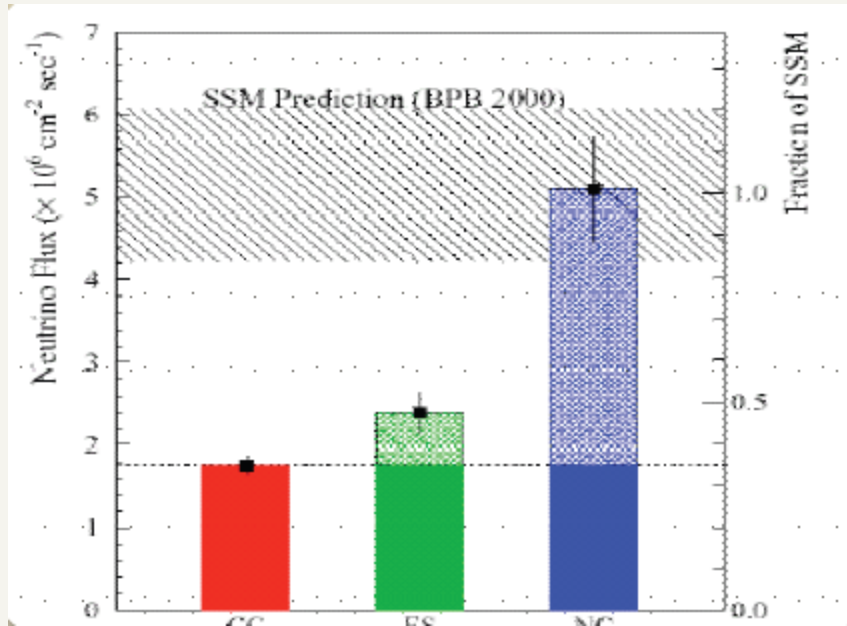
Tespit edilen $\bar{\nu}_e$ etkileşimi:
1609

Beklenen $\bar{\nu}_e$ etkileşimi:

2179 \pm 89 (salınımın olmadığı durumda)

Aradaki fark salınımın olduğunu gösteriyor.

Solar nötrino problemi/çözümü



- Güneş hesaplanan sayıda nötrino üretmek devam ediyor fakat sadece ν_e değil ν_μ ve ν_τ üretmek.
- Hem Bahcall hemde Davis yanılmadı.

Solar nötrino problemi/çözümü

- April 2002: SNO Experiment
“Direct Evidence for Neutrino Flavor Transformation from Neutral-Current Interactions in the Sudbury Neutrino ”
- October 2002: Nobel prize for
 - Raymond Davis (Homestake)
 - Masatoshi Koshiha (Superkamiokande)
- December 2002:
“First Results from KamLAND: Evidence for Reactor Anti-Neutrino Disappearance ”



Raymond Davis



Masatoshi Koshiha



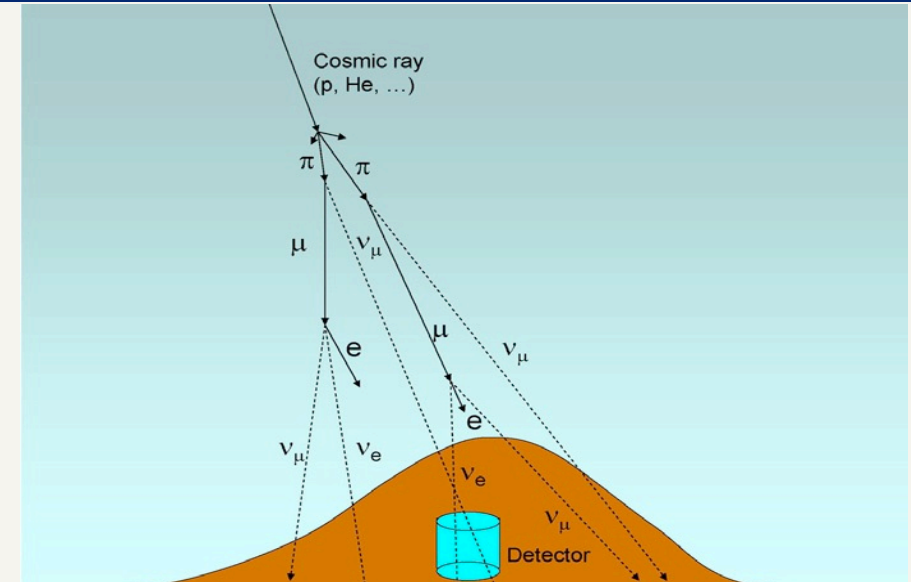
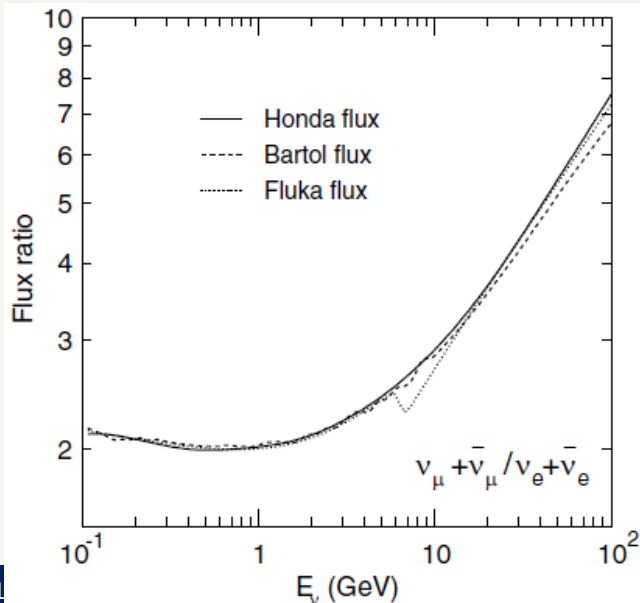
The Nobel Prize in Physics 2002

Raymond Davis Jr. and Masatoshi Koshiha *"for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos"*

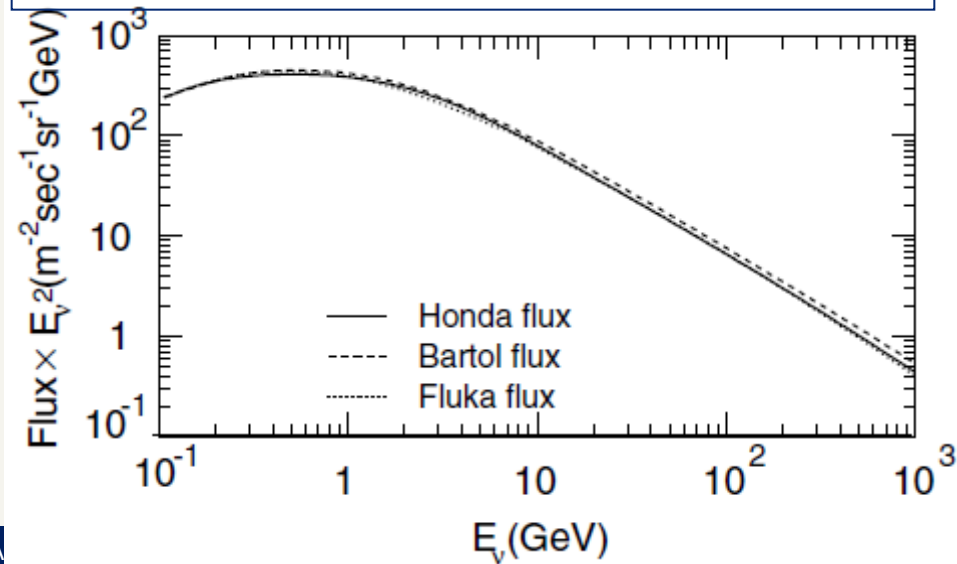
Atmosfer nötrinolarının salınımları

Kozmik ışınlar (He, p..) atosferdeki atomlarla etkileşip K ve π mezonlarını oluşturuyorlar. Bu mezonların bozunumlarından ν_e ve ν_μ oluşuyor.

- 1 $A_{cr} + A_{air} \rightarrow \pi^\pm, K^\pm, K^0, \dots$
- 2 $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu,$
- 3 $\mu^\pm \rightarrow e^\pm + \nu_e + \nu_\mu;$



Nötrinonun enerjisi 100 MeV -100 GeV arasında



Kamiokande & SKamiokande

- 1982-83 yıllarında ilk gerçek zaman nötrino detektörü

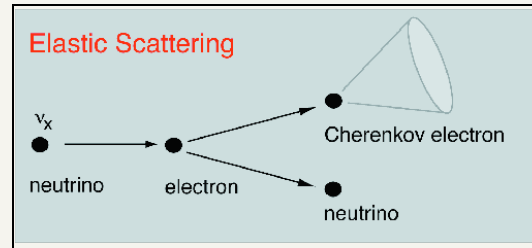
Kamiokande

- 3000 ton saf su
- 1000 PMTs

SuperKamiokande

- 50000 saf su
- 11200 PMTs

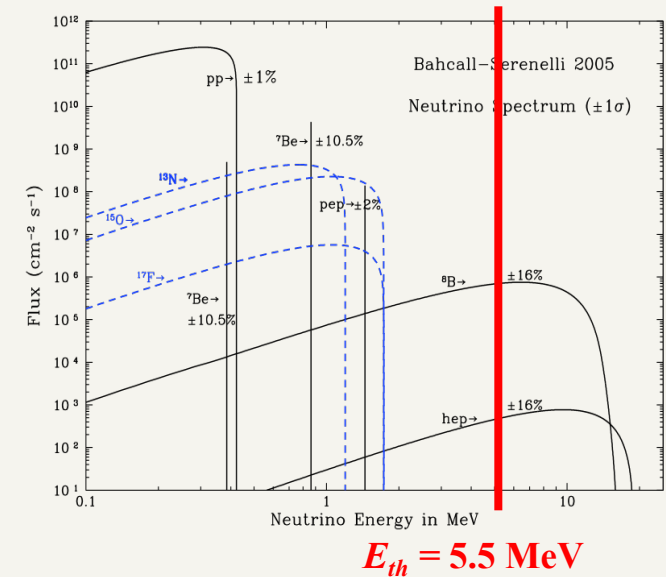
- Cherenkov Detektörü



$$E_{th} = 7.5 \text{ MeV (Kamiokande)}$$

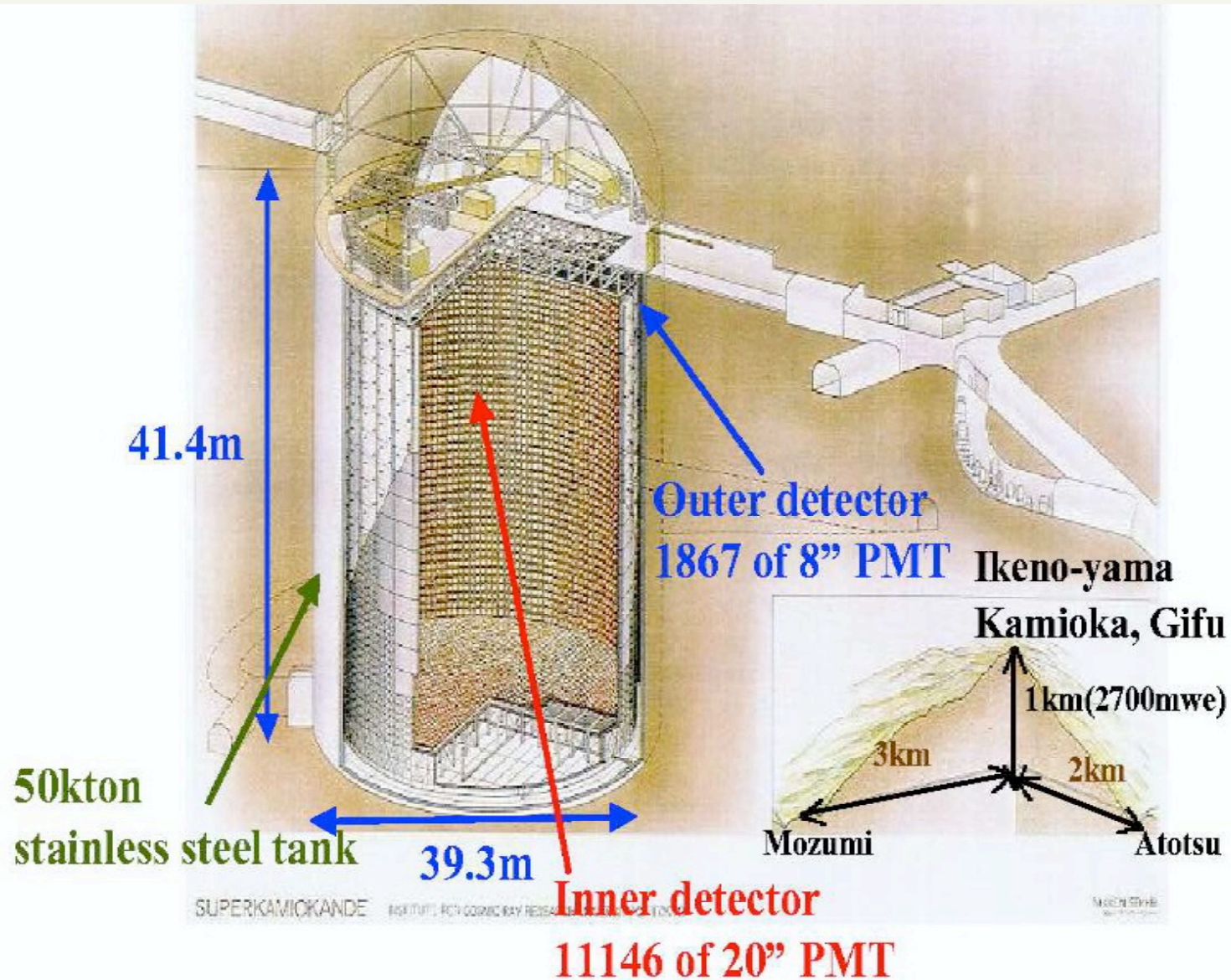
$$E_{th} = 5.5 \text{ MeV (SKamiokande)}$$

Sadece ^8B nötrinolar tespit ediliyor

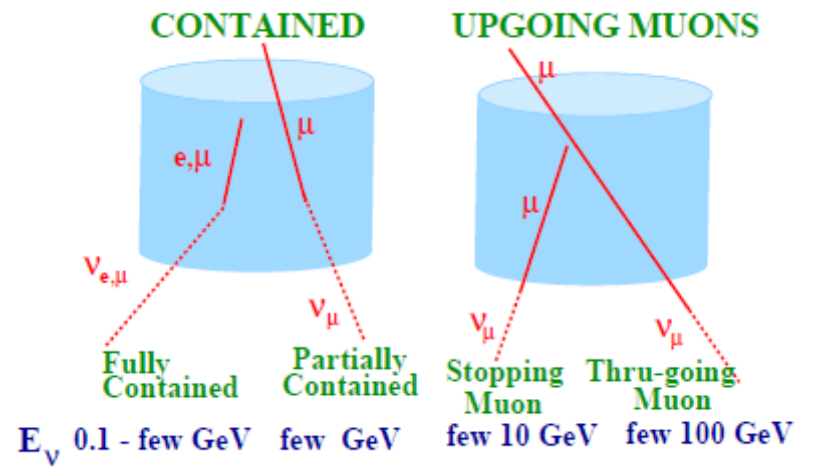
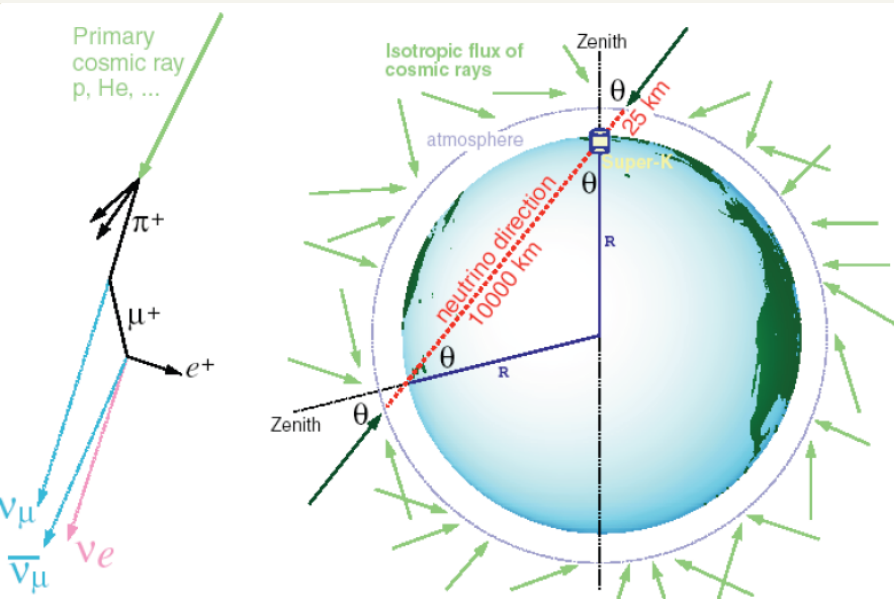


SuperKamiokonde

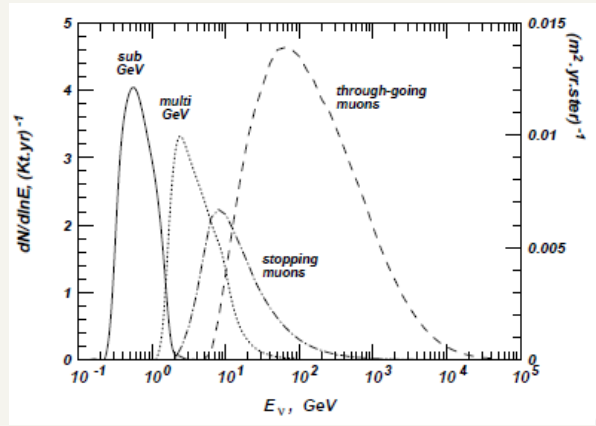
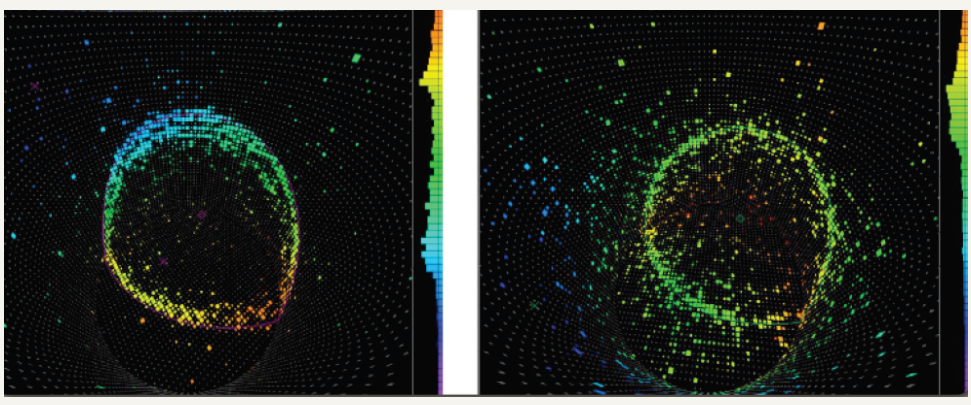
- Detektör, Kamioka çinko madeninin içerisine yapıldı
- Fikir babası Masatoshi Koshiya



Atmosferik nötrino salınımları



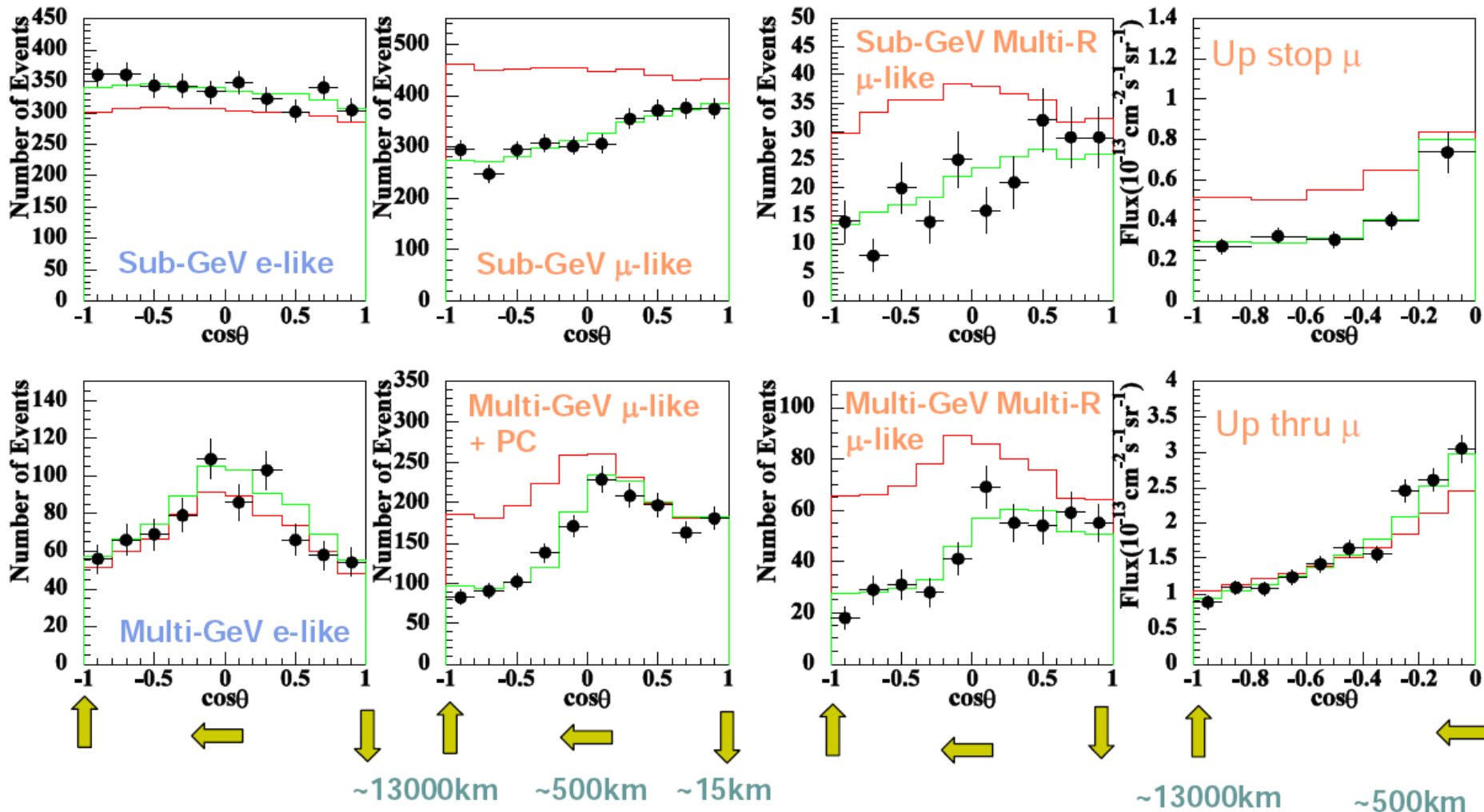
	end inside	end outside
begin inside	fully contained	partially contained
begin outside	stopping μ	thru-going μ



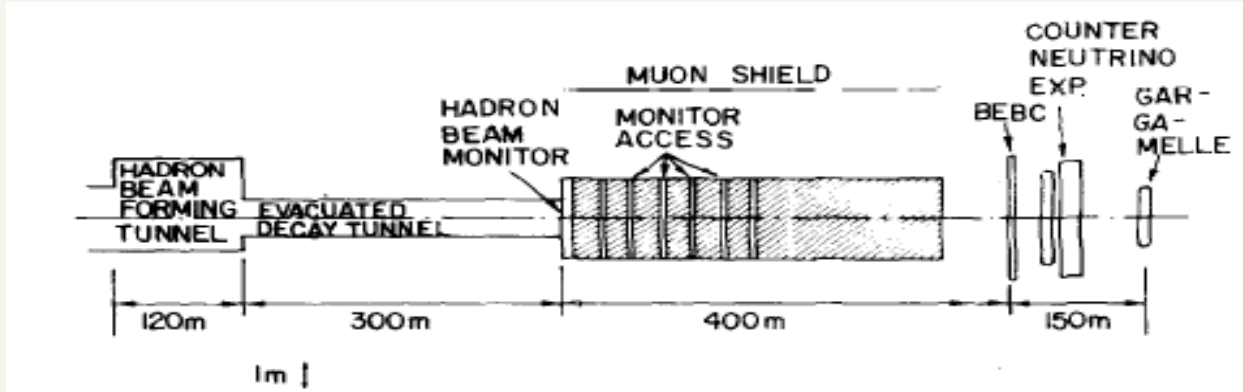
Atmosferik nötrino salınımları

— Best fit
 $\sin^2 2\theta = 1.0, \Delta m^2 = 2.0 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$
— Null oscillation

$\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$
2-flavor oscillations



Hızlandırıcı nötrino deneyleri



- 1965'den günümüze kadar CERN'de nötrino deneyleri yapılmakta.
 - *Wide band beam* : maksimum yoğunluk (99% ν_{μ} , 1% ν_e)
 ν_{μ} veya anti- ν_{μ}

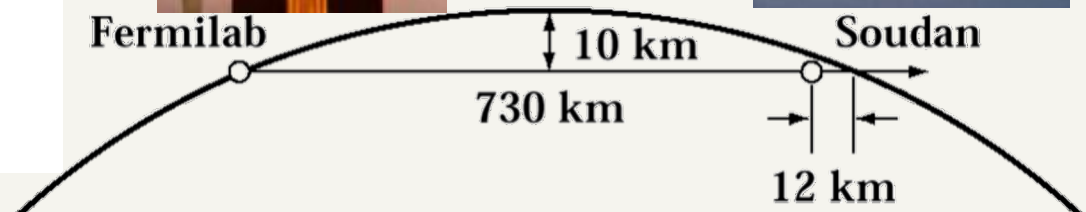
Hızlandırıcı nötrino deneyleri

MINOS

Soudan Mine in northern Minnesota.



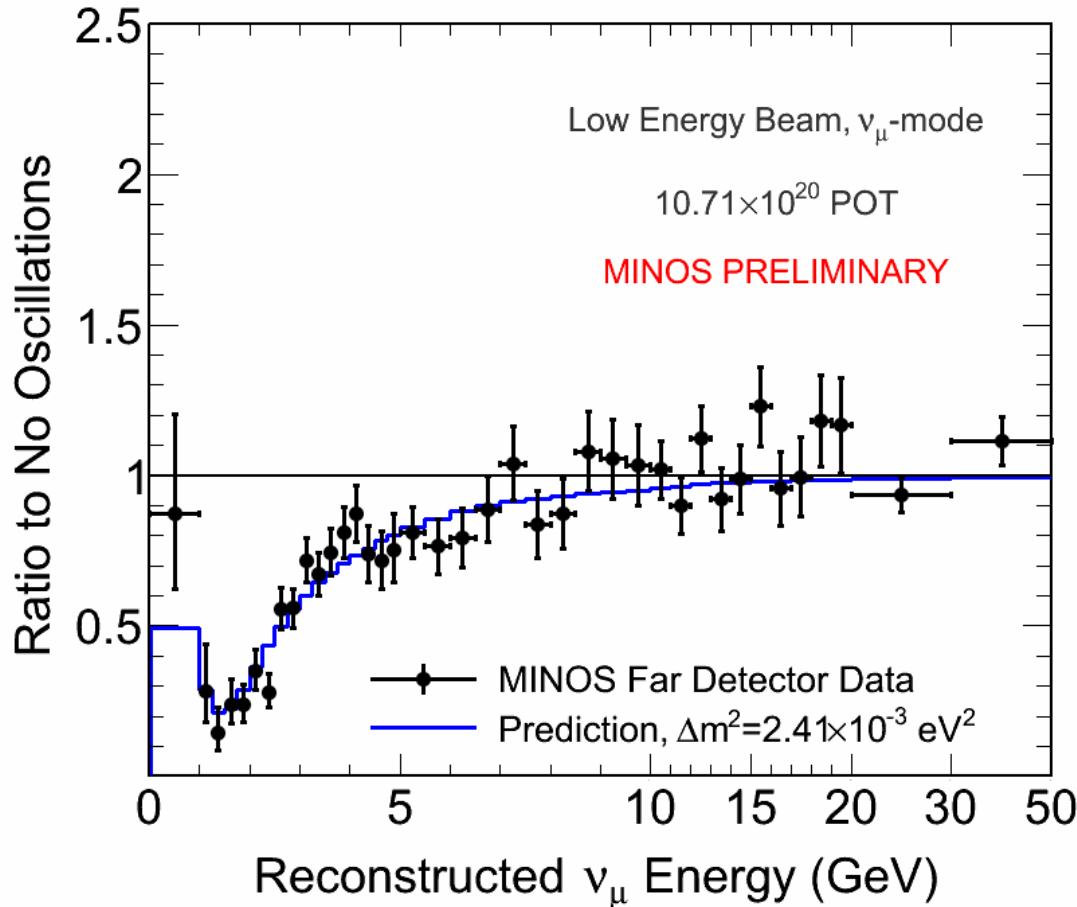
A neutrino beam from Illinois to Minnesota



2005-2014

MINOS sonuçları

ν_μ disappearance

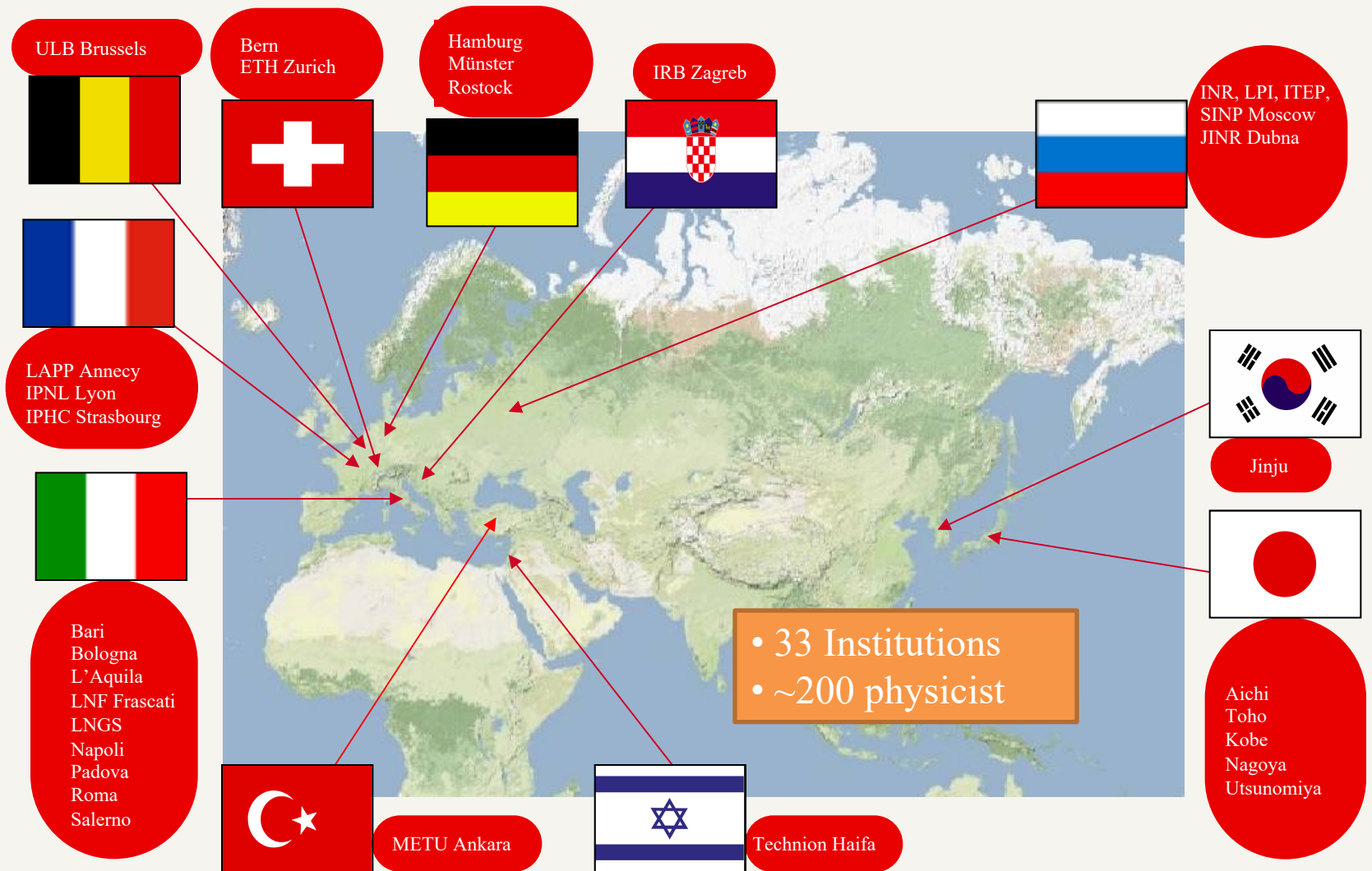


Expected (no osc.) : 3564

Observed : 2894

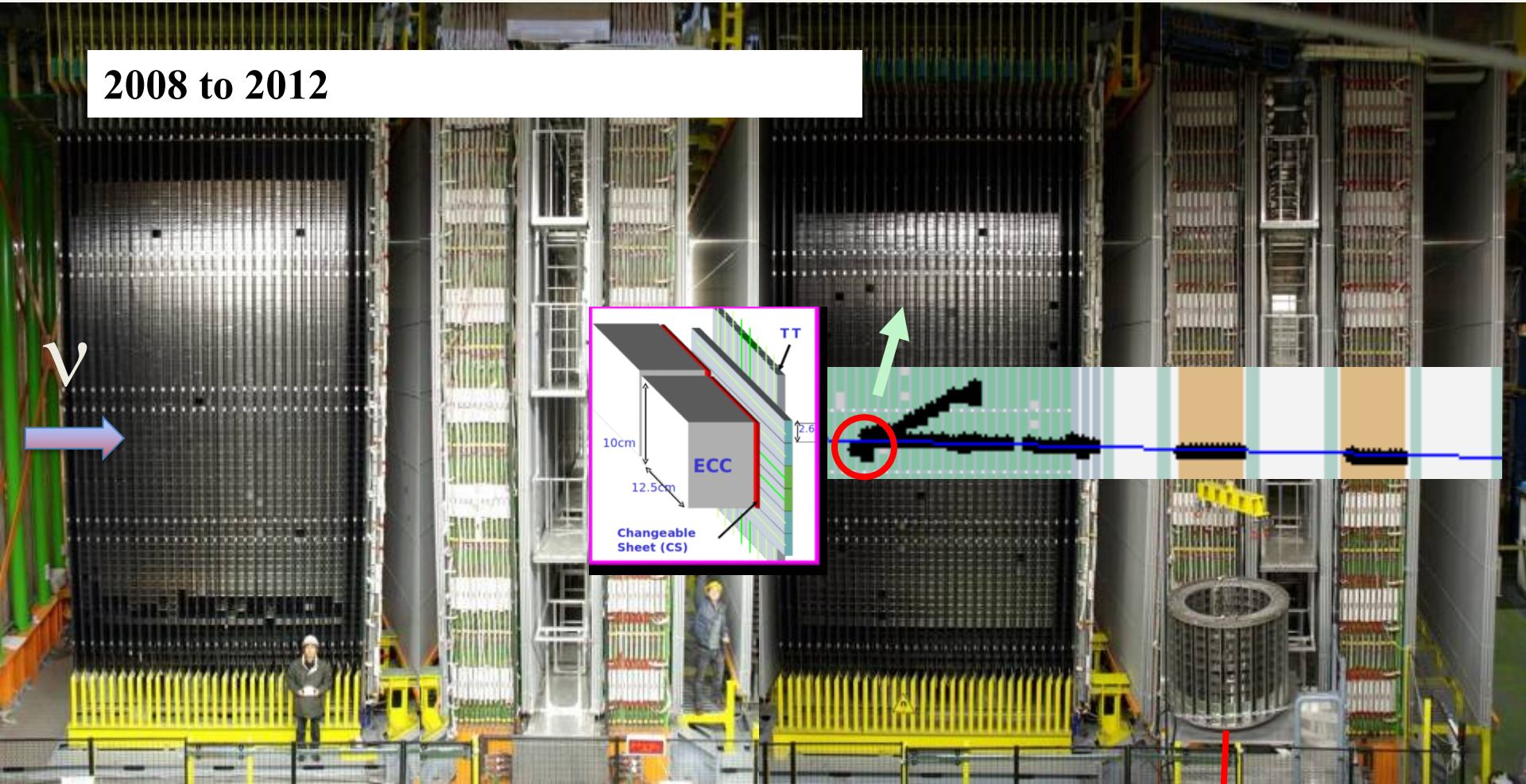
$$|\Delta m^2| = 2.41^{+0.11}_{-0.10} \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$
$$\sin^2(2\theta) = 0.94^{+0.04}_{-0.05}$$

OPERA Deneysi



OPERA Deneyi

2008 to 2012



Hedef Bölgesi: (ECC + CS scintillator strips)

Muon spectrometer (Magnet+RPC+PT) ~ 150.000 bricks
1.25 kt mass

Brick Manipulator System

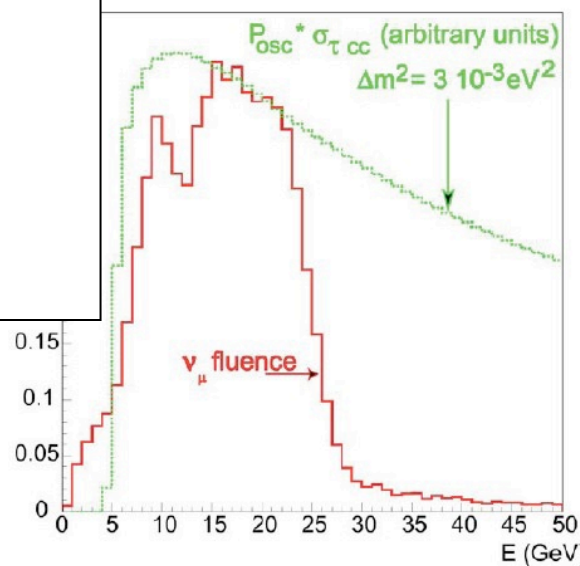
The CNGS nötrino demeti

CERN SPS

ν demeti

ν_{μ} (m ⁻² / pot)	7.45×10^{-9}
ν_{μ} CC / pot / kton	5.44×10^{-17}
$\langle E \rangle_{\nu}$ (GeV)	17
$(\nu_e + \bar{\nu}_e) / \nu_{\mu}$	0.85 %
$\bar{\nu}_{\mu} / \nu_{\mu}$	2.0 %
ν_{τ} prompt	negligible

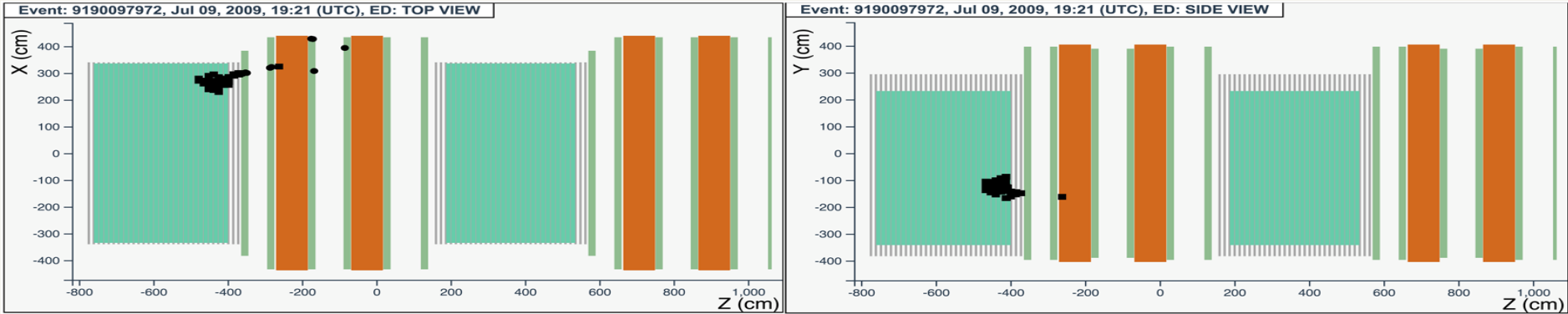
730km



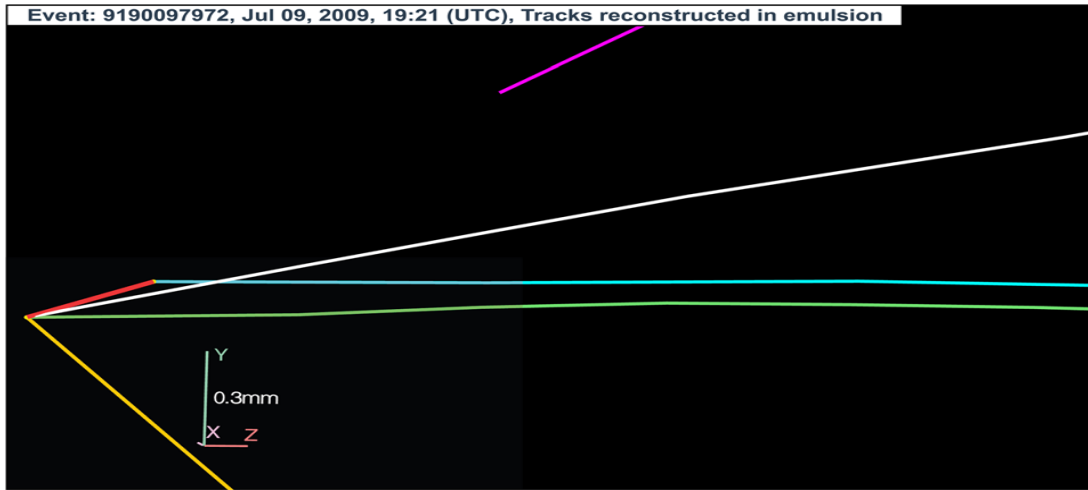
INFN Gran Sasso Institute

OPERA

10 ν_τ CC etkileşimi gözlemlendi



(a)



Track types
tau lepton
hadron (daughter)
hadron
hadron
hadron
hadron

(b)

Nötrino Salınımları

- Nötrino salınımlarının gözlenmesi Super - Kamiokande ve SNO deneylerine Nobel Kazandırdı.
- Bu keşif, Güneş'ten gelen elektron nötrinoların sayısının neden beklenenden az olduğunu açıkladığı gibi nötrinoların kütlelerinin sıfırdan farklı olduğunun da bir ispatıydı.



Prof. Dr. Takaaki Kajita 1959'da Higashimatsuyama'da doğdu. Doktora derecesini 1980'de Tokyo Üniversitesi'nden aldı. Institute for Cosmic Ray Research'in direktörü.

Takaaki Kajita



Prof. Dr. Arthur B. McDonald 1943'te Sydney'de doğdu. Doktora derecesini 1969'da California Institute of Technology Üniversitesi'nden aldı. Queen Üniversitesi'nde çalışıyor.

Arthur McDonald



The Nobel Prize in Physics 2015 was awarded jointly to Takaaki Kajita and Arthur B. McDonald *"for the discovery of neutrino oscillations, which shows that neutrinos have mass"*

Bilmediklerimiz???

- Kaç tane nötrino var?
- Nötrino, Dirac mı? Majorana mı?
- Nötrinolar ne kadar ağır?
- Madde anti-madde asimetrisinde nötrinonun bir rolü varmı?
- Karanlık maddeye katkısı ne kadar?
-