

FRONTERAS EN LA FÍSICA DE PARTÍCULAS

A.P.F.U.
Trinidad Setiembre 2004

Gabriel González Sprinberg
INSTITUTO DE FÍSICA, FACULTAD DE CIENCIAS

Temario

- **Introducción**
- **Higgs**
- **Neutrinos**
- **Materia Oscura**

INTERACCIONES FUNDAMENTALES (FUERZAS)

Type of force:	Gravitational	Weak	Electro-magnetic	Strong
Range:	infinite	$\leq 10^{-16}$ cm	infinite	$\leq 10^{-13}$ cm
Strength relative to strong force at a distance 10^{-13} cm	10^{-38}	10^{-13}	10^{-2}	1
Decay time for a typical small mass hadron:		10^{-10} s	10^{-20} s	10^{-23} s
Mediator:	Graviton	W^+, W^-, Z^0	Photon γ	gluon
Mass of the mediator:	0	$82 \text{ GeV}/c^2$ $92 \text{ GeV}/c^2$	0	0

Theories: Strong interaction

em interaction

Weak interaction

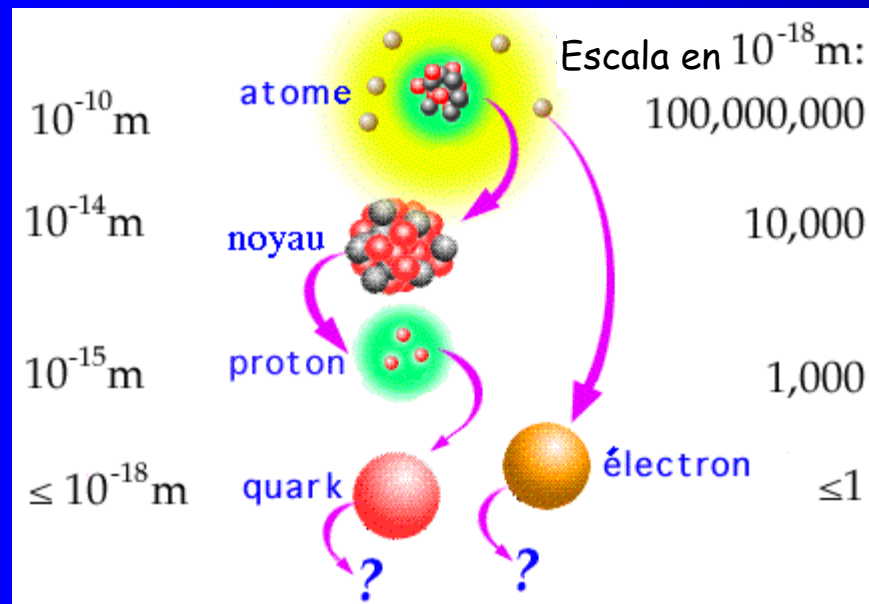
Gravitation

Quantum chromodynamics
QCD

Quantum electrodynamics
QED

Weinberg – Salam
model (Flavour dynamics)
Quantum gravity (?)
Einstein's general relativity

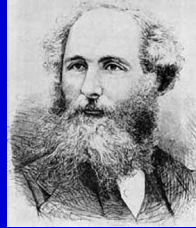
Partículas y Escalas



Elementary Particles

	I			Force Carriers
	II	III		
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z Z boson
	e electron	μ muon	τ tau	W W boson
Three Families of Matter				

Historia de la unificación de las fuerzas



planets

apple

electric

magnetic

atoms

gravity

mechanics

electromagnetism

Quantum mechanics

γ -decay

β -decay

Weak force

α -decay

Strong force

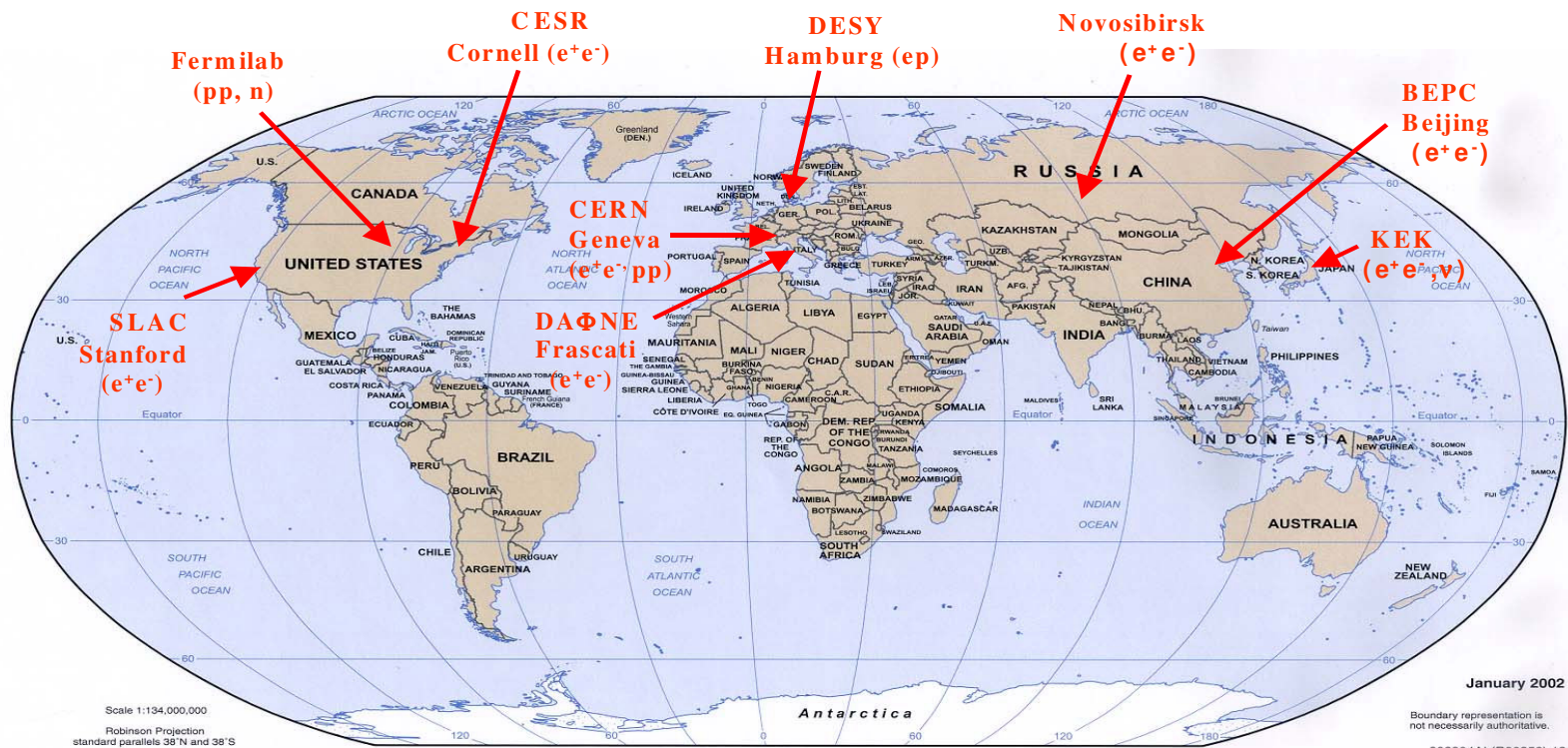
Grand Unification?

String theory?

Setiembre 2004 APFU-Trinidad

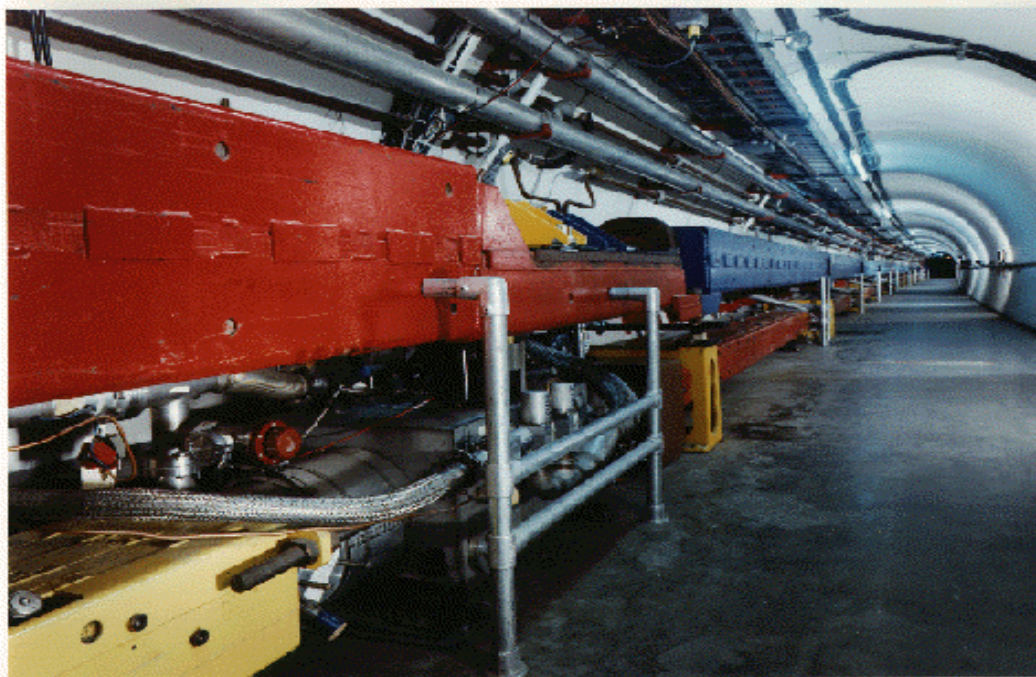
G. González Sprinberg

Experimentos



Tevatron en Fermilab

The accumulated stack of 8 GeV antiprotons, plus a new batch of 8 GeV protons from the Booster, are accelerated to 900 GeV by the Main Ring and the superconducting Tevatron working in tandem.



Main Ring
(p 's and anti- p 's)
150 GeV

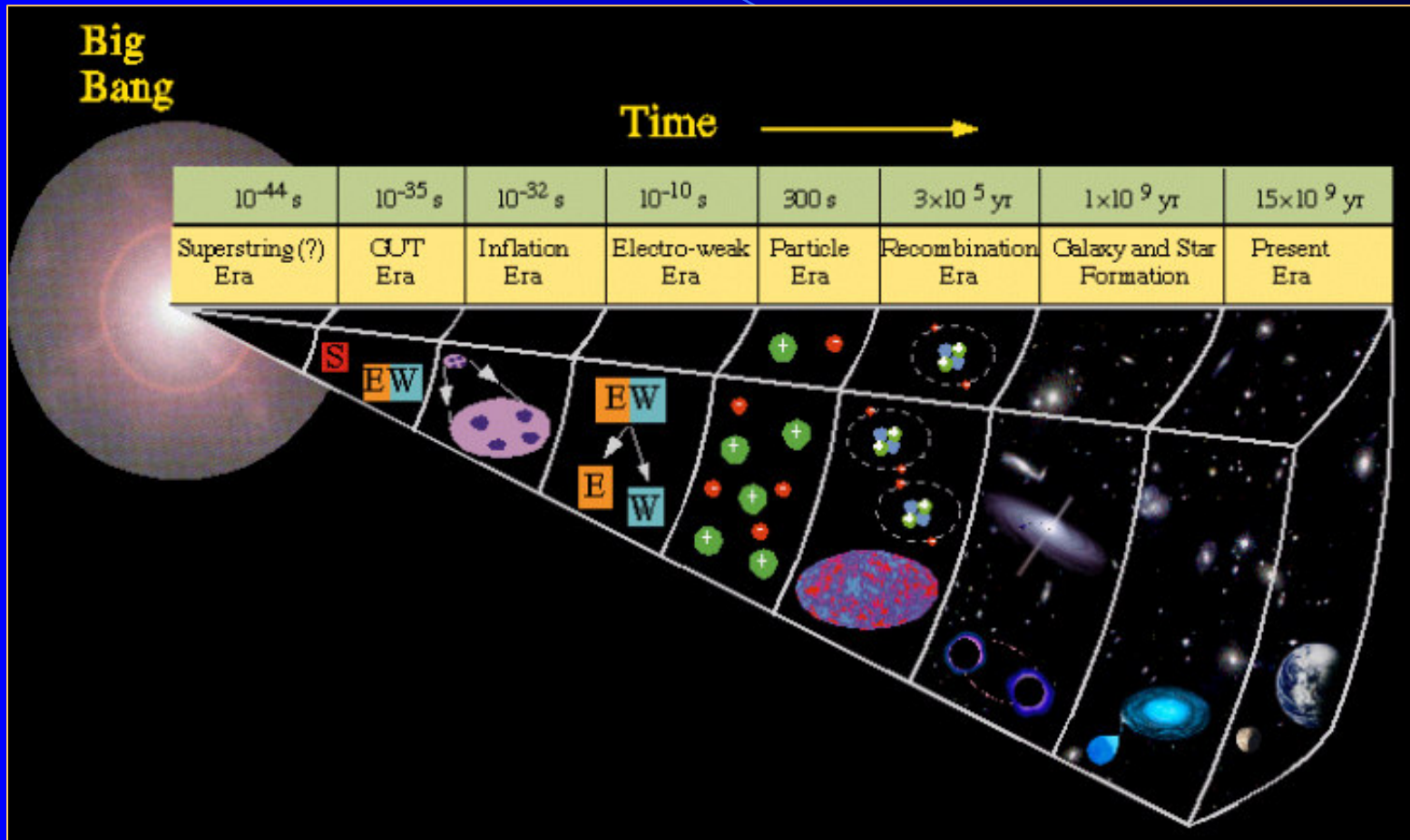
Tevatron
(p 's and anti- p 's)
900 GeV

The two counter-rotating beams are focused and brought into collision at the CDF and DØ detectors.

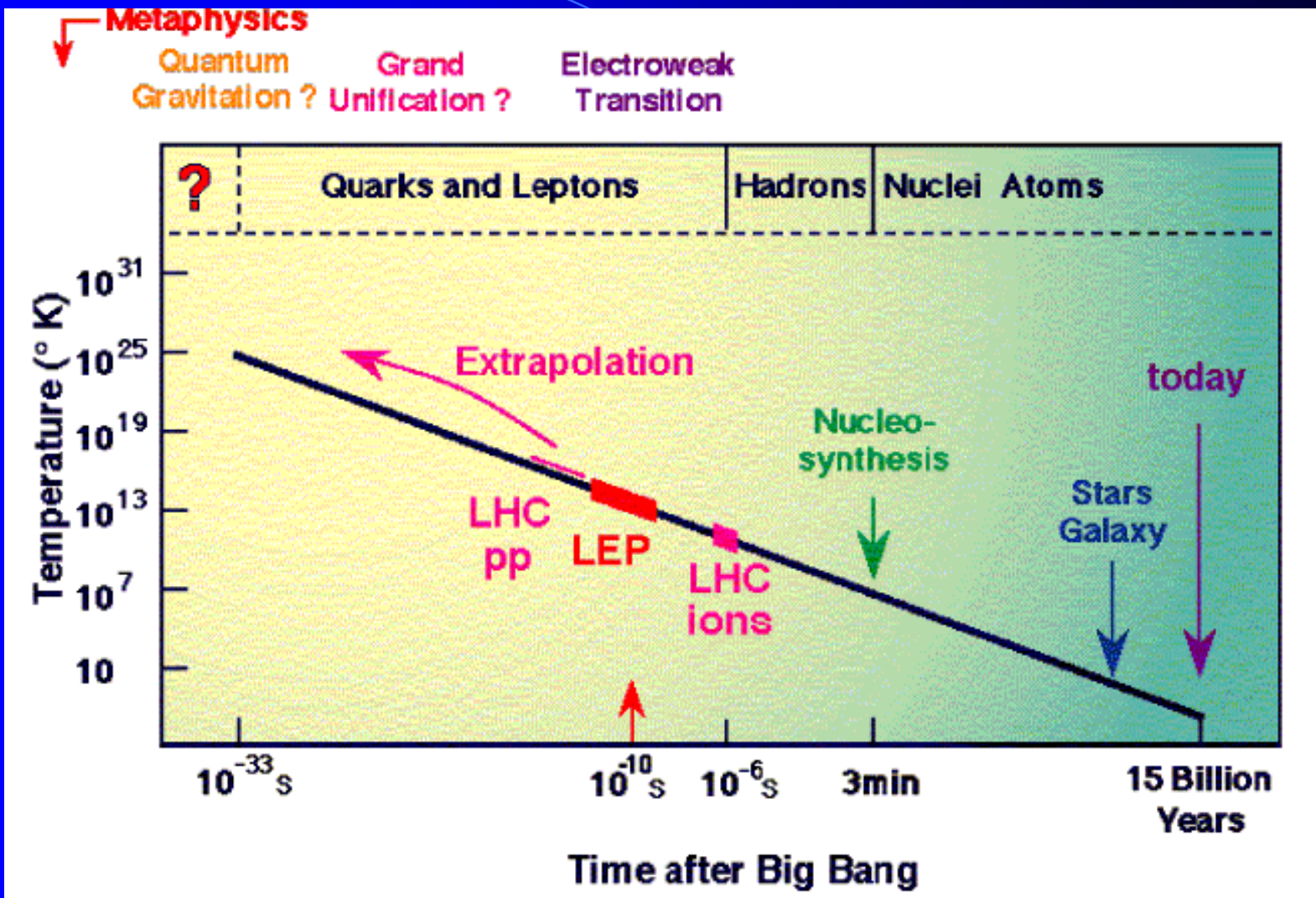
CERN



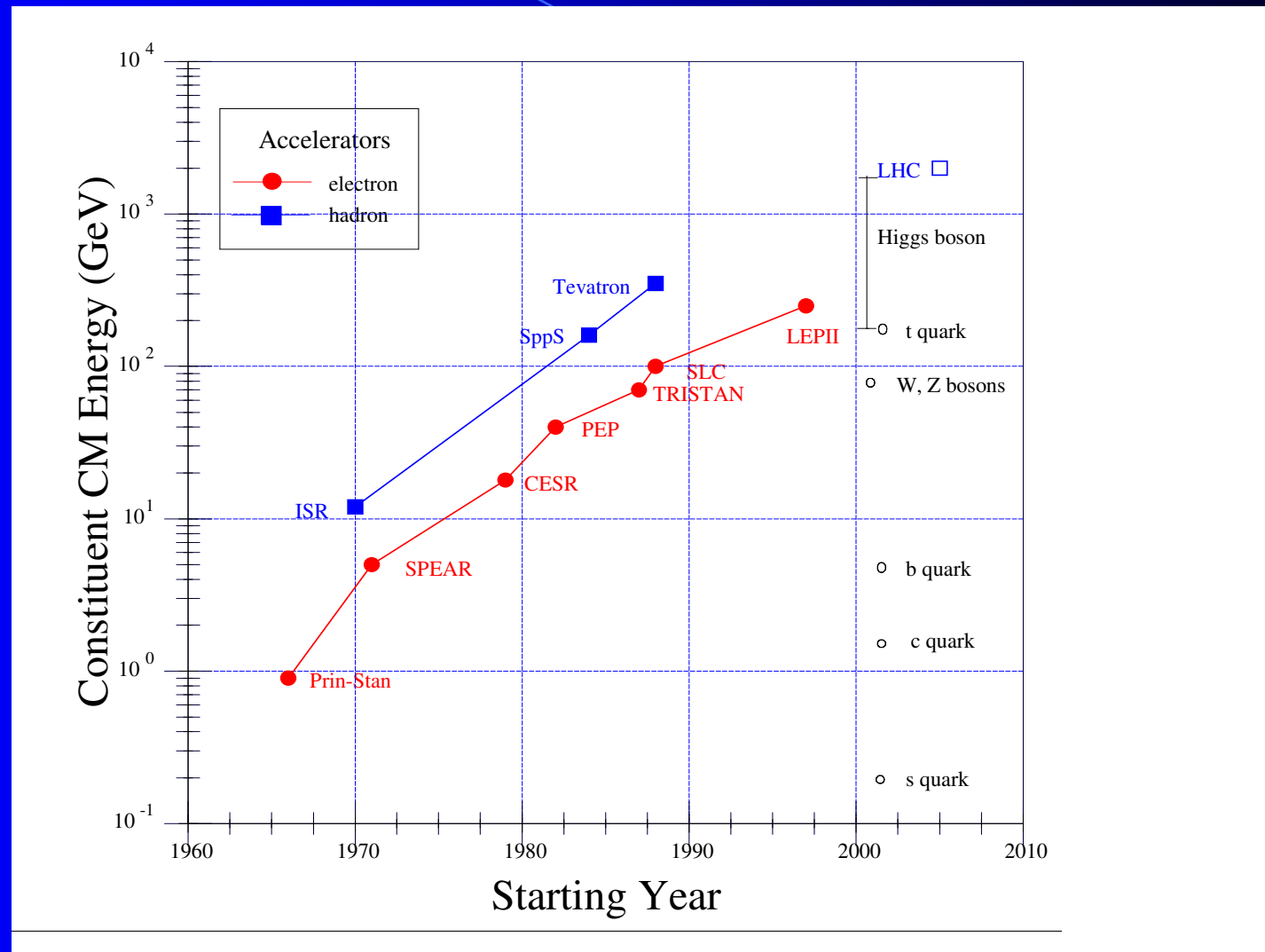
Partículas y Cosmología



Aceleradores y Cosmología



Aceleradores en el tiempo



Ruptura espontánea de la simetría

Boson de Higgs

Generación de masa

Masa en Teoría de Campos

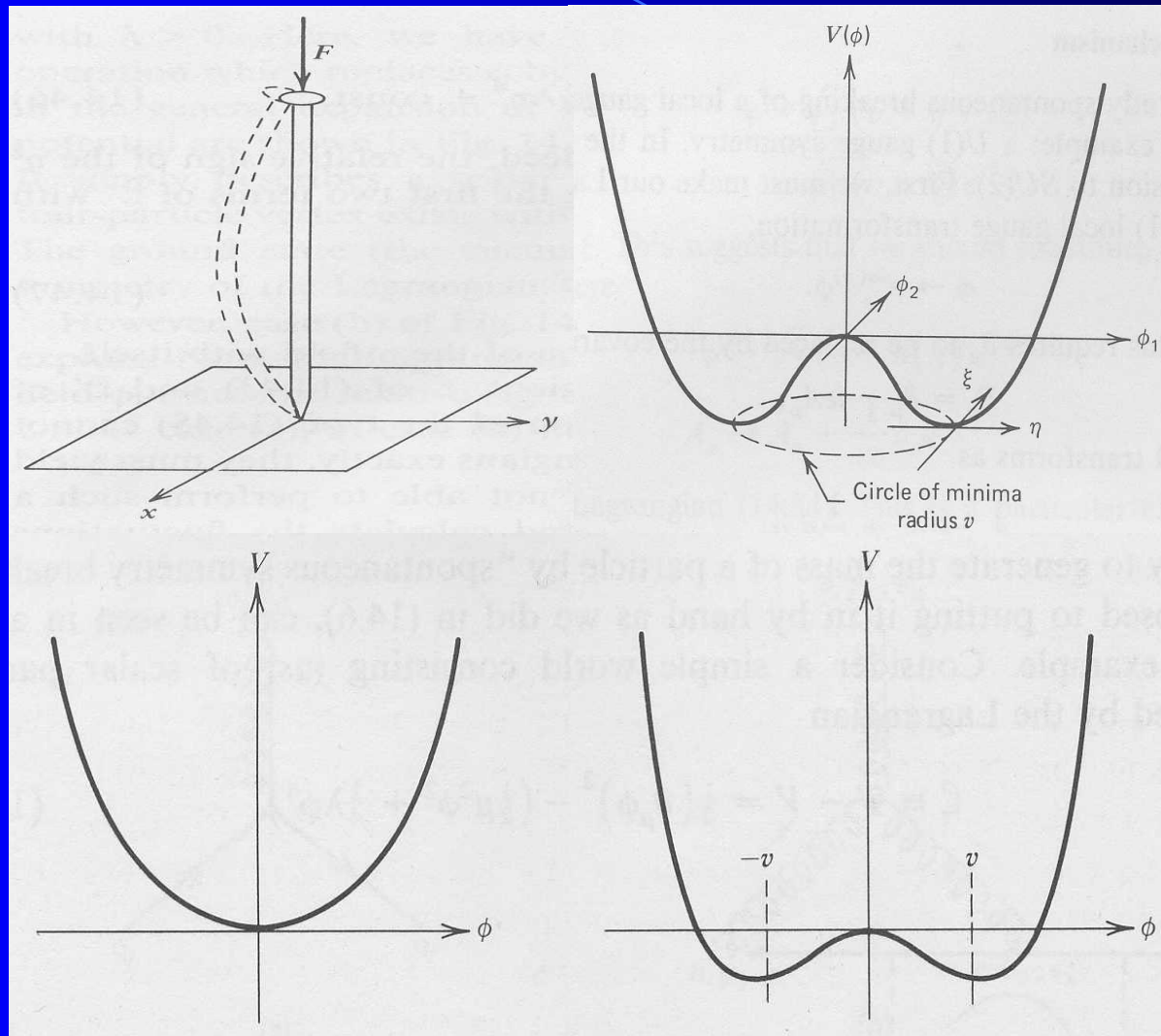
Ondas planas * resorte

$$L = p^2/2m + k/2 x^2$$

Partícula libre con masa * Ondas
plana

$$L_{\text{masa}} \quad \gamma \quad W \circ \quad W \circ$$

Ruptura espontánea de la simetría



Higgs y generación de masa

$$L = T - V = \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - \left(\frac{1}{2} \mu^2 \phi^2 + \frac{1}{4} \lambda \phi^4 \right)$$

$$L_{INT} = \phi W_\mu W^\mu$$

$$\phi = v + h, v \text{ const.}$$

$$L_{INT} \star L_{masa} \quad \blacksquare \quad W_\circ W^\circ$$

TÉRMINO DE MASA !!

Boson de Higgs y masa del W

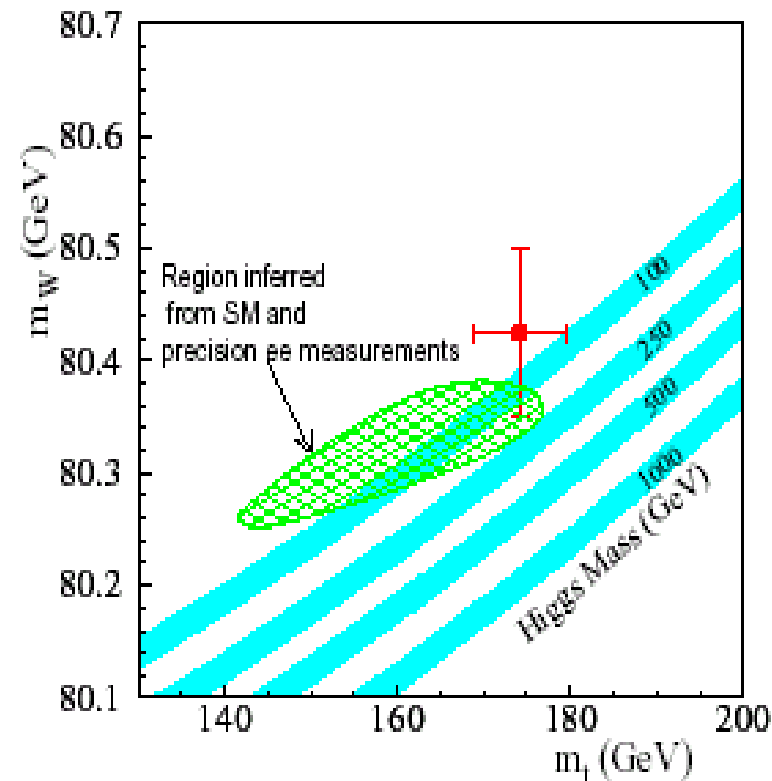
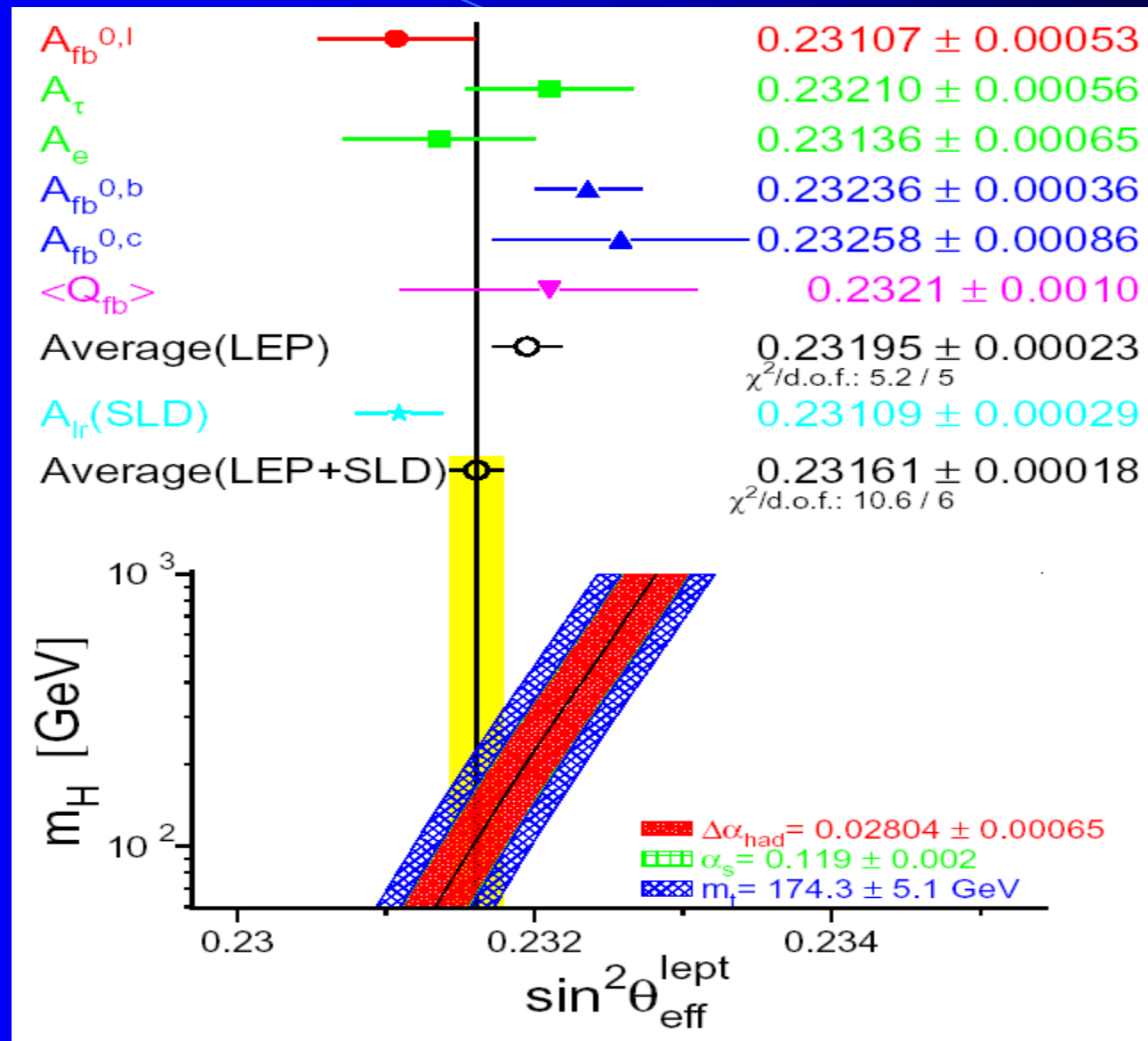


FIG. 13. W boson mass vs. top quark mass. The data point is the average of FNAL data for the top quark mass and FNAL and CERN data for the W boson mass. The shaded bands give the expected values for specific conventional Higgs boson mass values in the context of the minimal SM. The cross-hatched region shows the predictions for m_W and m_{top} , at 68% confidence level, from precision electroweak measurements of Z boson properties.

Boson de Higgs y los experimentos



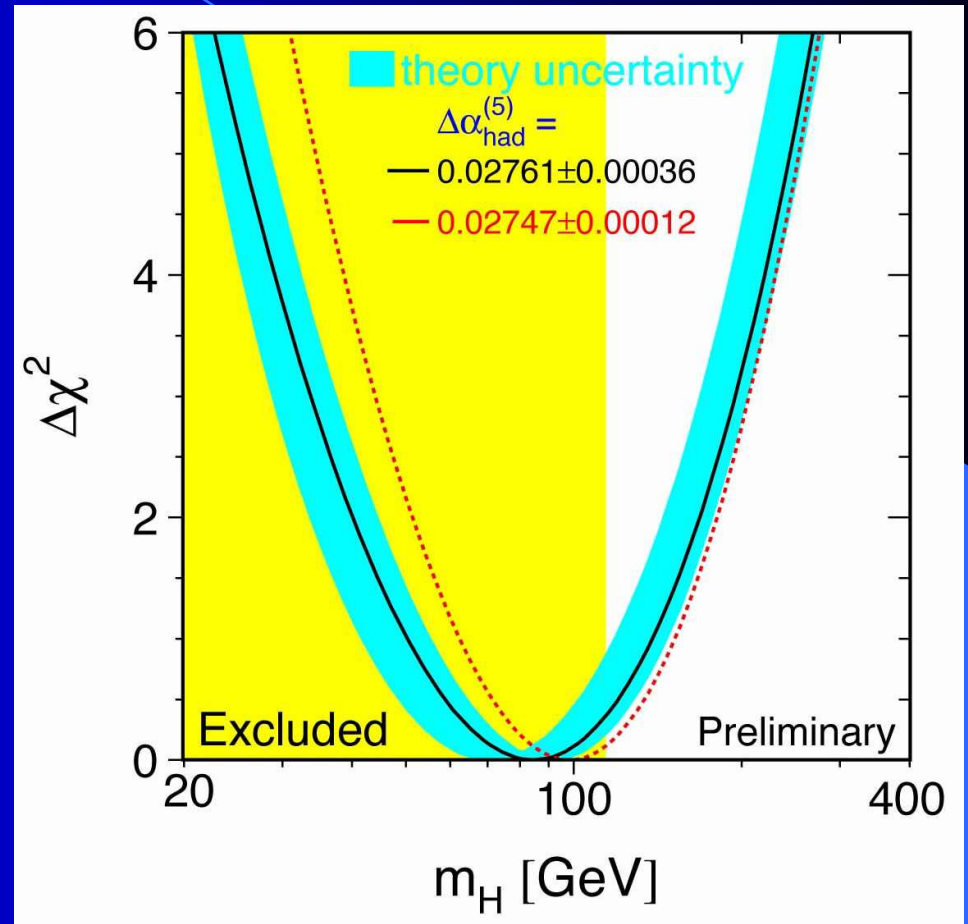
Boson de Higgs

- Datos actuales combinados con las predicciones teóricas del Modelo estándar:

$$m_H < 196 \text{ GeV (95\%CL)}$$

$$m_H > 113 \text{ GeV (95\%CL)}$$

- Tevatron en el Fermilab puede descubrir o excluir el boson Higgs del SM en el 2008

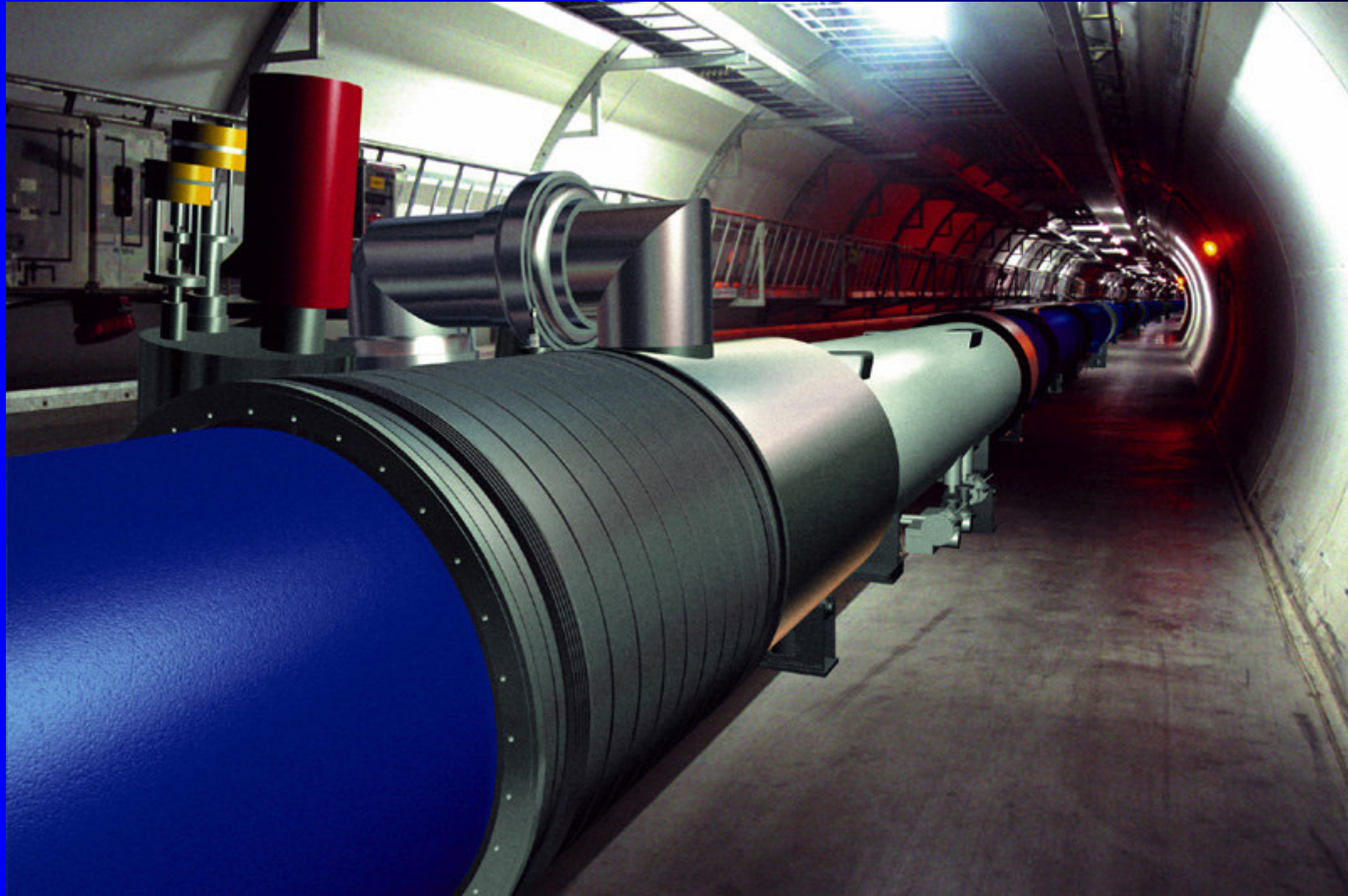


Large Hadron Collider (LHC):TeV

- proton-proton colisionador
- energía 14 TeV (*cf.* 2TeV @ Fermilab)
- En construcción en CERN, Geneva
- Europeo en su mayoría
- Contribuciones de US, Japan, Canada
- Comienzo en ~2007



CERN - LHC

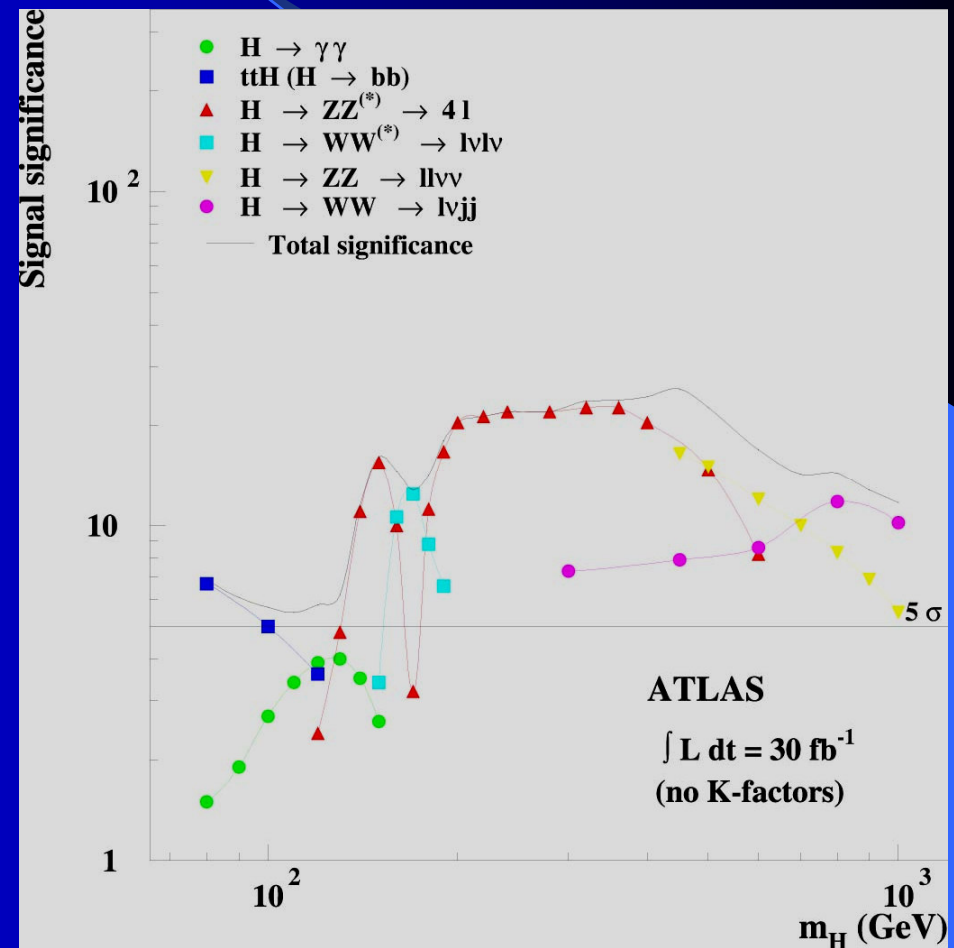


Producción en LHC

Process	σ (pb)	Events/second	Events/year
$W \rightarrow e\nu$	1.5×10^4	15	10^8
$Z \rightarrow e^+e^-$	1.5×10^3	1.5	10^7
$t\bar{t}$	800	0.8	10^7
$b\bar{b}$	5×10^8	5×10^5	10^{12}
$\tilde{g}\tilde{g}$ ($m_{\tilde{g}}=1$ TeV)	1	10^{-3}	10^4
H ($m_H=700$ GeV)	1	10^{-3}	10^4
Inclusive jets $p_T > 200$ GeV	10^5	10^2	10^9

Boson de Higgs en el LHC

- LHC puede descubrir el boson de Higgs predicho por el SM, de cualquier masa, en 3 años!
- Medirá masa y cociente de acoplamientos



Algo más puede aparecer en el LHC



NEUTRINOS

Un puzzle de 70 años

Los NEUTRINOS están presentes

- Desde el Big Bang:

- Cuando el Universo estaba caliente, los neutrinos se crearon junto con las otras partículas
- Quedan unos cuantos: ~ 300 neutrinos por cm^3

- Vienen del SOL:

- Trillones de neutrinos pasan por este salón cada segundo

- No los vemos:

- Para detenerlos se necesita una pared de hierro de 3 años luz...

Problemas con el espectro Beta

- Tres tipos de radioactividad: α , β , γ
- α , γ con espectro discreto porque
$$E_{\alpha, \gamma} = E_i - E_f$$
- Pero el espectro β es continuo!

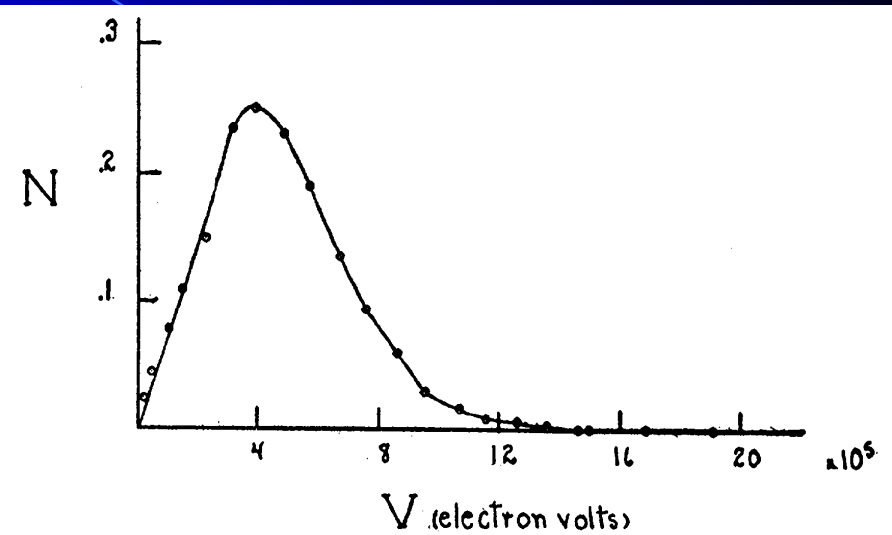


FIG. 5. Energy distribution curve of the beta-rays.

Bohr: *At the present stage of atomic theory, however, we may say that we have no argument, either empirical or theoretical, for upholding the energy principle in the case of b-ray disintegrations*

Idea desesperada de Pauli

4th December 1930

Dear Radioactive Ladies and Gentlemen,

As the bearer of these lines, to whom I graciously ask you to listen, will explain to you in more detail, how because of the "wrong" statistics of the N and Li⁶ nuclei and 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. Namely, the possibility that there could exist in the nuclei electrically neutral particles, that I wish to call neutrons, which have spin 1/2 and obey the exclusion principle and which further differ from light quanta in that they do not travel with the velocity of light. The mass of the neutrons should be of the same order of magnitude as the electron mass and in any event not larger than 0.01 proton masses. The continuous beta spectrum would then become understandable by the assumption that in beta decay a neutron is emitted in addition to the electron such that the sum of the energies of the neutron and the electron is constant...

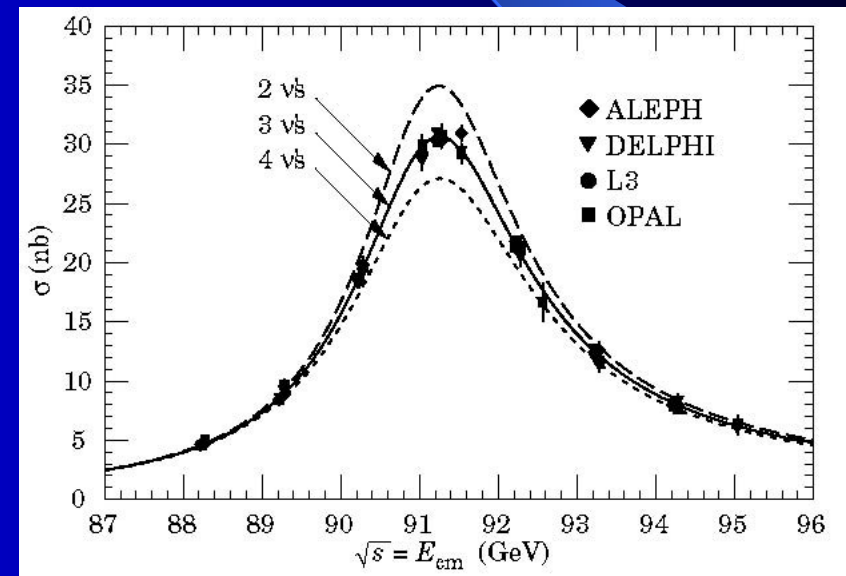
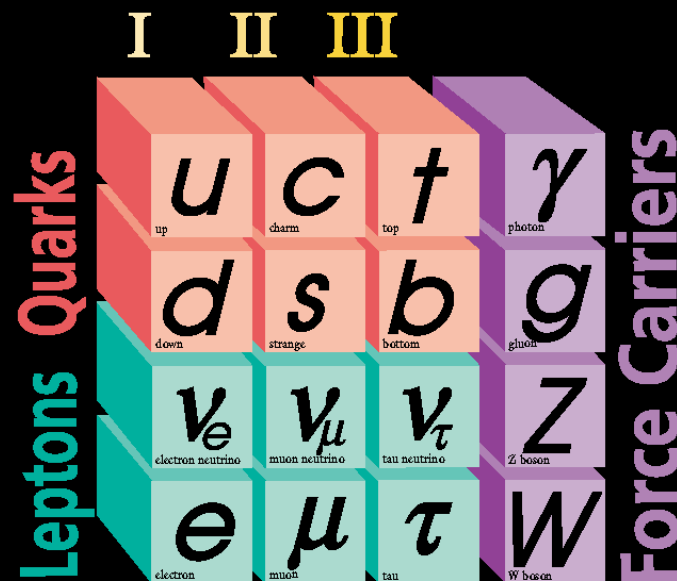
Tres tipos de Neutrinos

- Tres neutrinos

- γ no más

The Standard Model of Particle Interactions

Three Generations of Matter



Los Neutrinos son zurdos

Helicity of Neutrinos*

M. GOLDHABER, L. GRODZINS, AND A. W. SUNYAR

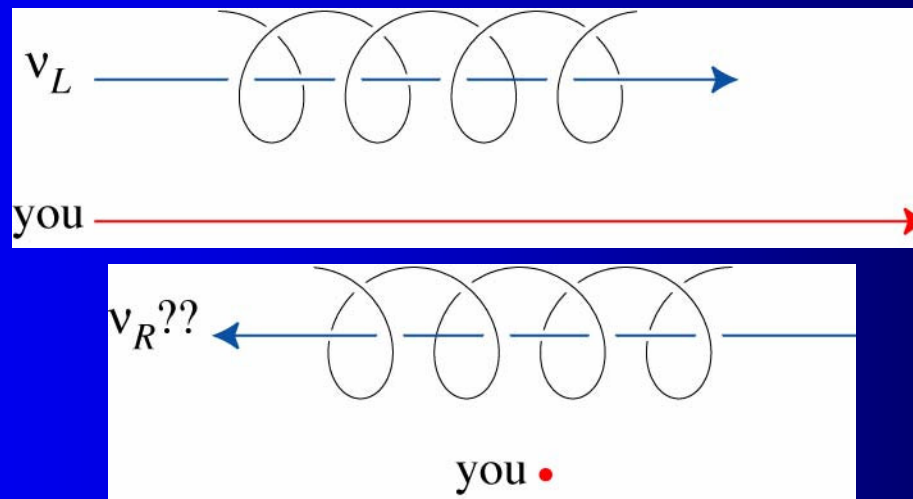
Brookhaven National Laboratory, Upton, New York

(Received December 11, 1957)

A COMBINED analysis of circular polarization and resonant scattering of γ rays following orbital electron capture measures the helicity of the neutrino. We have carried out such a measurement with Eu^{152m} , which decays by orbital electron capture. If we assume the most plausible spin-parity assignment for this isomer compatible with its decay scheme,¹ 0^- , we find that the neutrino is “left-handed,” i.e., $\sigma_\nu \cdot \hat{p}_\nu = -1$ (negative helicity).

Los neutrinos no deben tener masa

- Todos los neutrinos izquierdos $\Rightarrow$ sin masa
- Con masa no pueden ir a la vel. de la luz.



- Ahora los neutrinos son derechos??
 $\Rightarrow$ contradicción $\Rightarrow$ no tienen masa

Neutrinos: tienen masa ?

- Pauli apostó una caja de champagne asegurando que nadie encontraría los neutrinos
- Finalmente, Cowan y Reines lo hicieron usando un reactor nuclear en 1958
- Neutrinos sin masa en el Modelo Estándar ('60s)
- Evidencia masa neutrinos SuperK (1998) y SNO (2002)
- *Primera evidencia que el Modelo Estándar mínimo de las partículas elementales es incompleto!*
- 2002 Nobel :
- Davis Koshiba

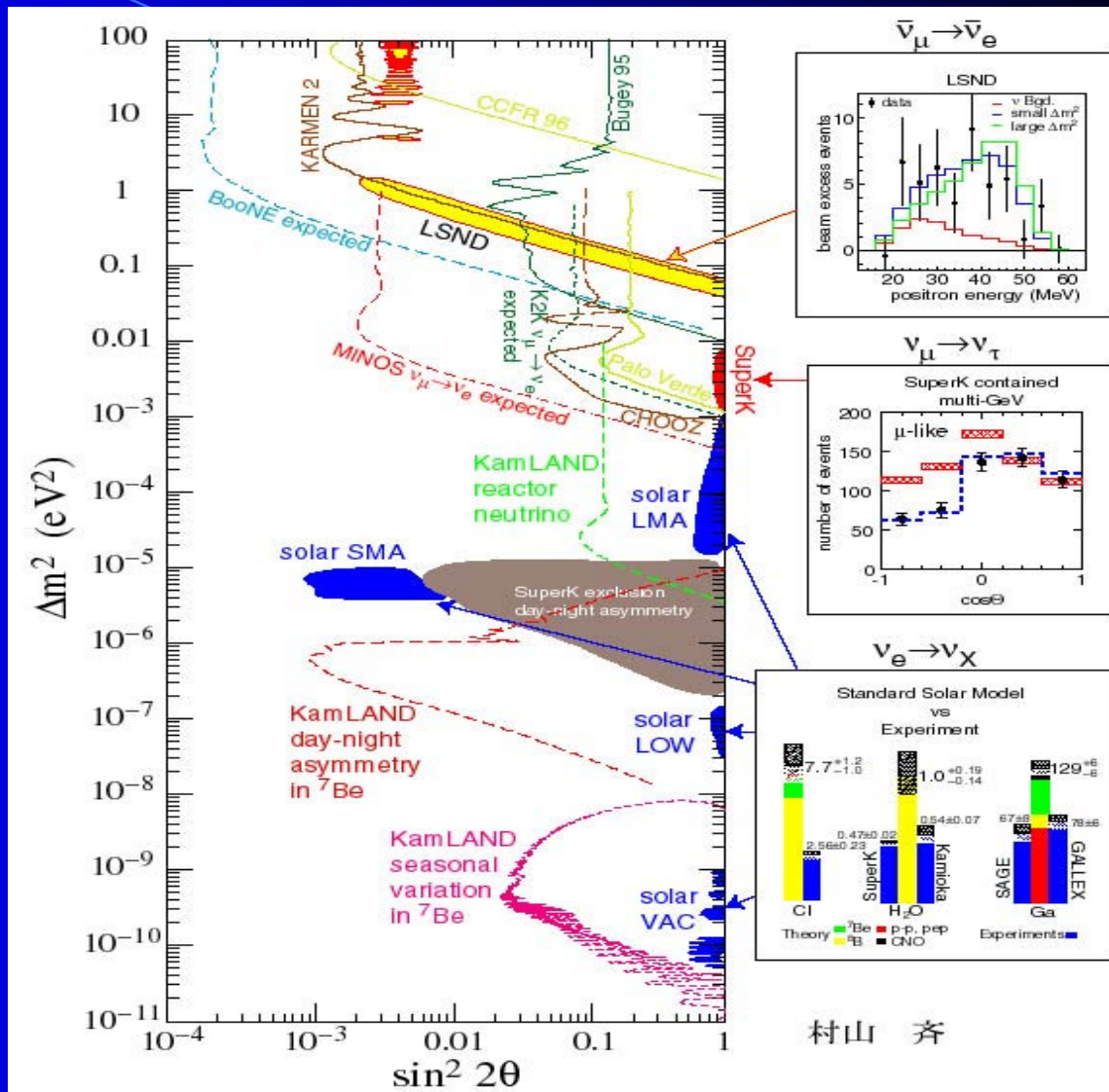


Neutrinos: mucho trabajo y gente

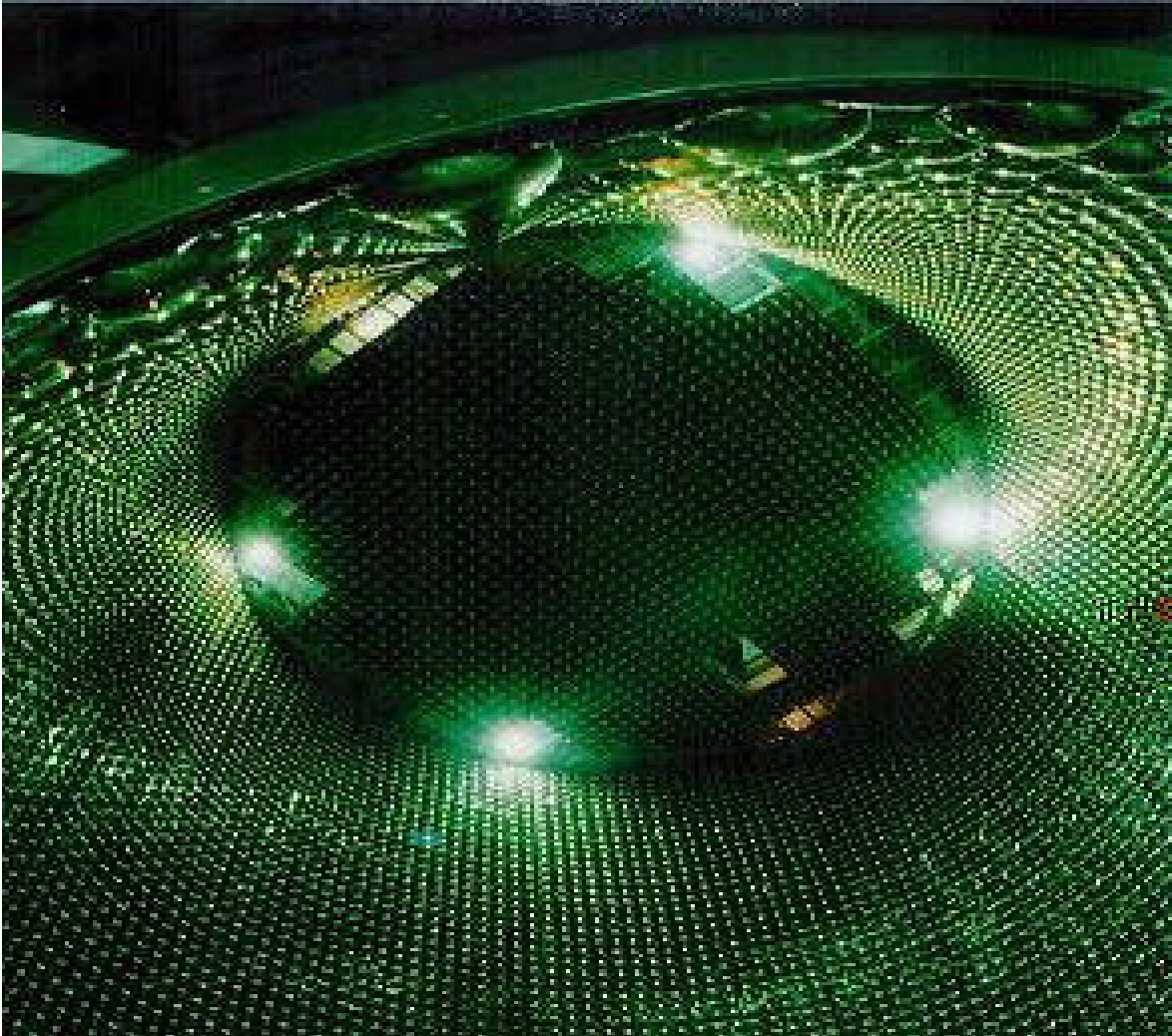
Mucho esfuerzo desde los '60.....

Finalmente se encontró evidencia convincente de "oscilación de neutrinos"

Los neutrinos parecen tener una masa pequeña pero finita



Super-Kamiokande (SuperK)

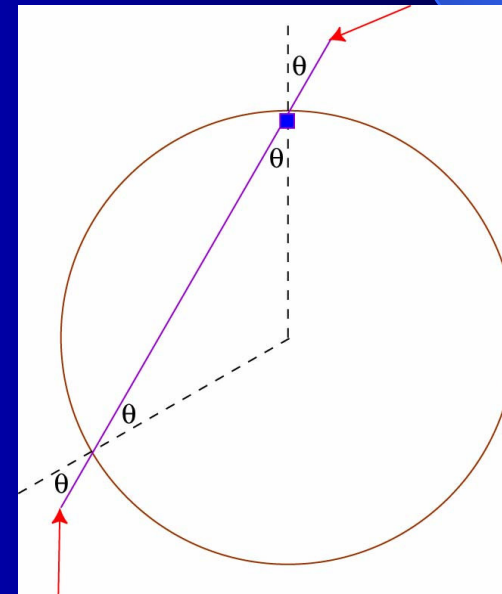
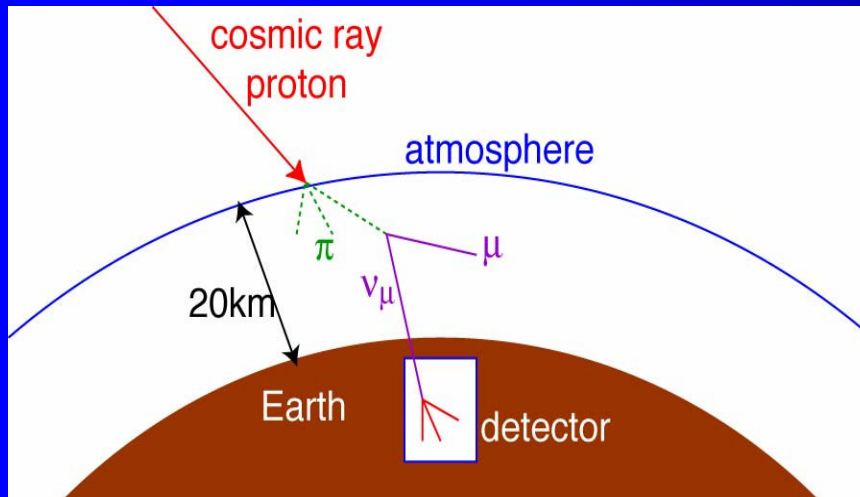


- Mina Kamioka en Japón
- ~1000m bajo tierra
- 50kt agua
- Detector interno
 - 11,200 PMTs
- Detector externo
 - 2,000 PMTs

SuperKamiokaNDE

Experimento del decaimiento del Nucleon

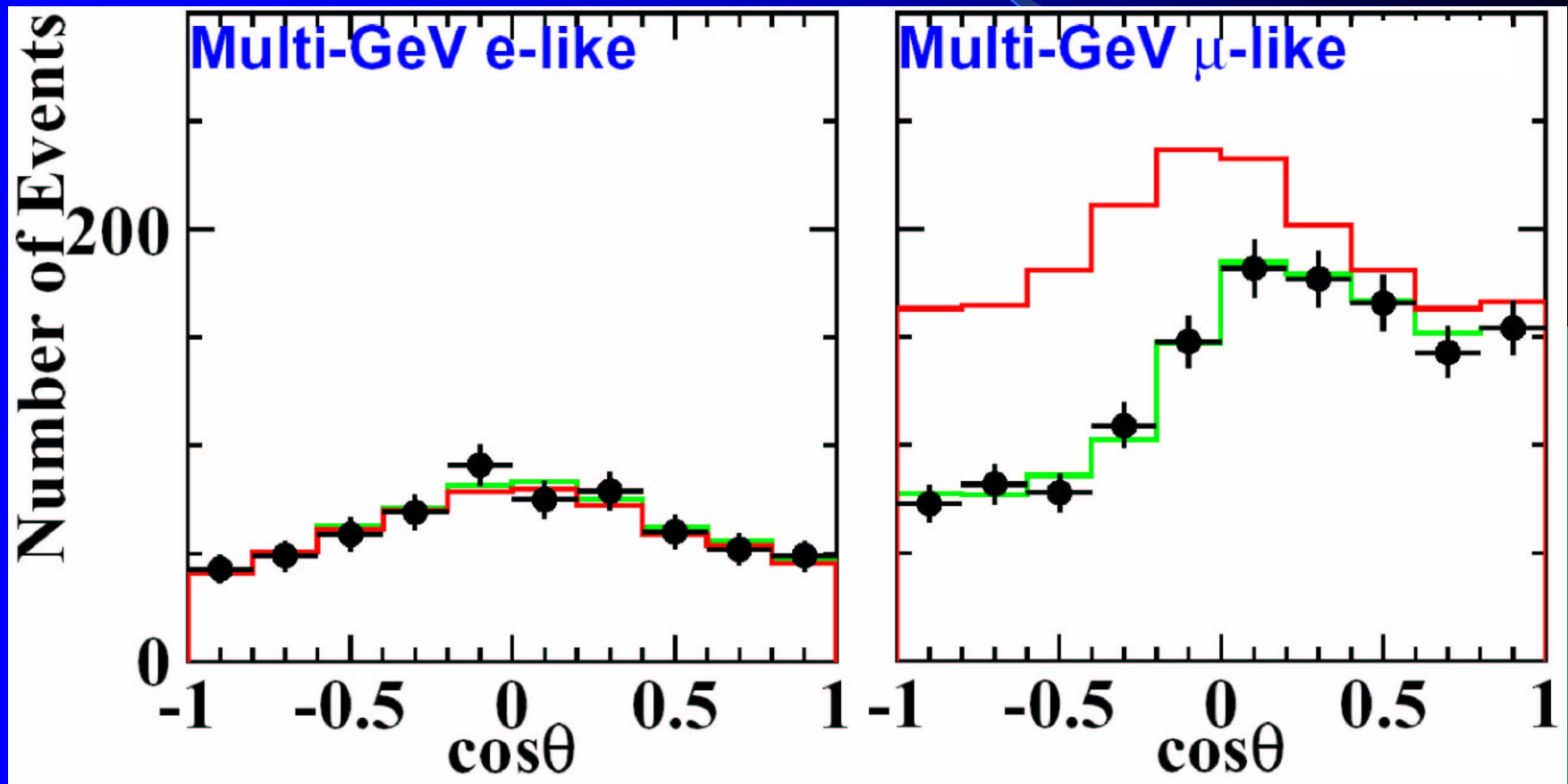
- $p \rightarrow e^+ \pi^0, K^+ \nu, \text{etc}$
 - No observados aun
 - Fondo de neutrinos atmosféricos
- Rayos cósmicos isotrópicos
 - Neutrinos atmosféricos simétricos arriba-abajo



Mitad de ν_μ perdidos!

— teoría

— experimento



Oscilaciones de dos-neutrinos

- Cuando son producidos (ej., $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$), los neutrinos son de un tipo particular

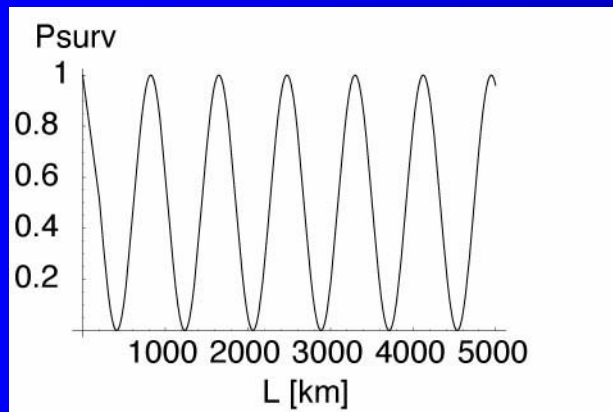
$$|\nu_\mu, t\rangle = |1\rangle \cos \theta e^{-im_1^2 t / 4p} + |2\rangle \sin \theta e^{-im_2^2 t / 4p}$$

- No más 100% ν_μ , parcialmente ν_τ ! (Pontecorvo)
- "Probabilidad de supervivencia" para ν_μ después de t

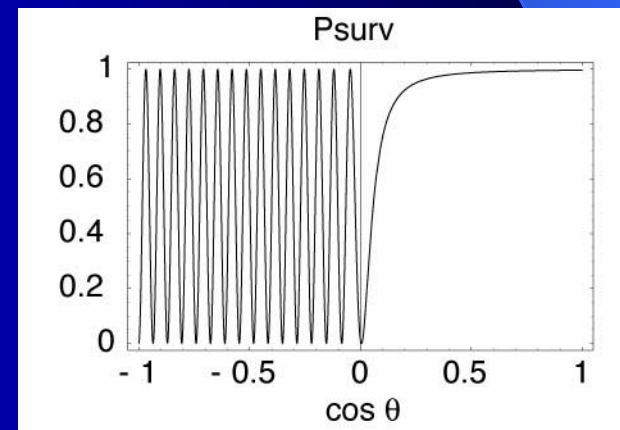
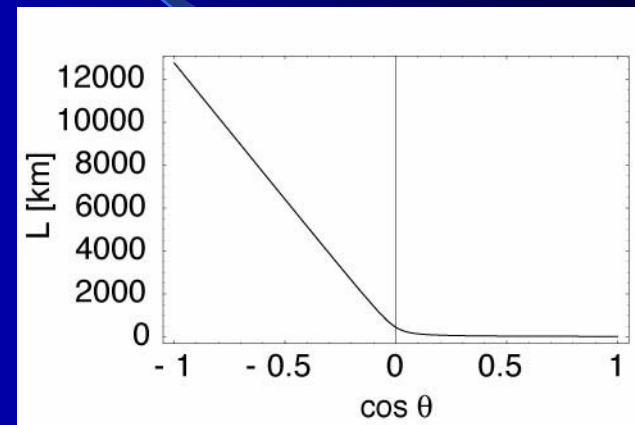
$$P = \left| \langle \nu_\mu | \nu_\mu, t \rangle \right|^2 = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \left(1.27 \frac{\Delta m^2 c^4}{\text{eV}^2} \frac{\text{GeV}}{c|\vec{p}|} \frac{ct}{\text{km}} \right)$$

Probabilidad de supervivencia

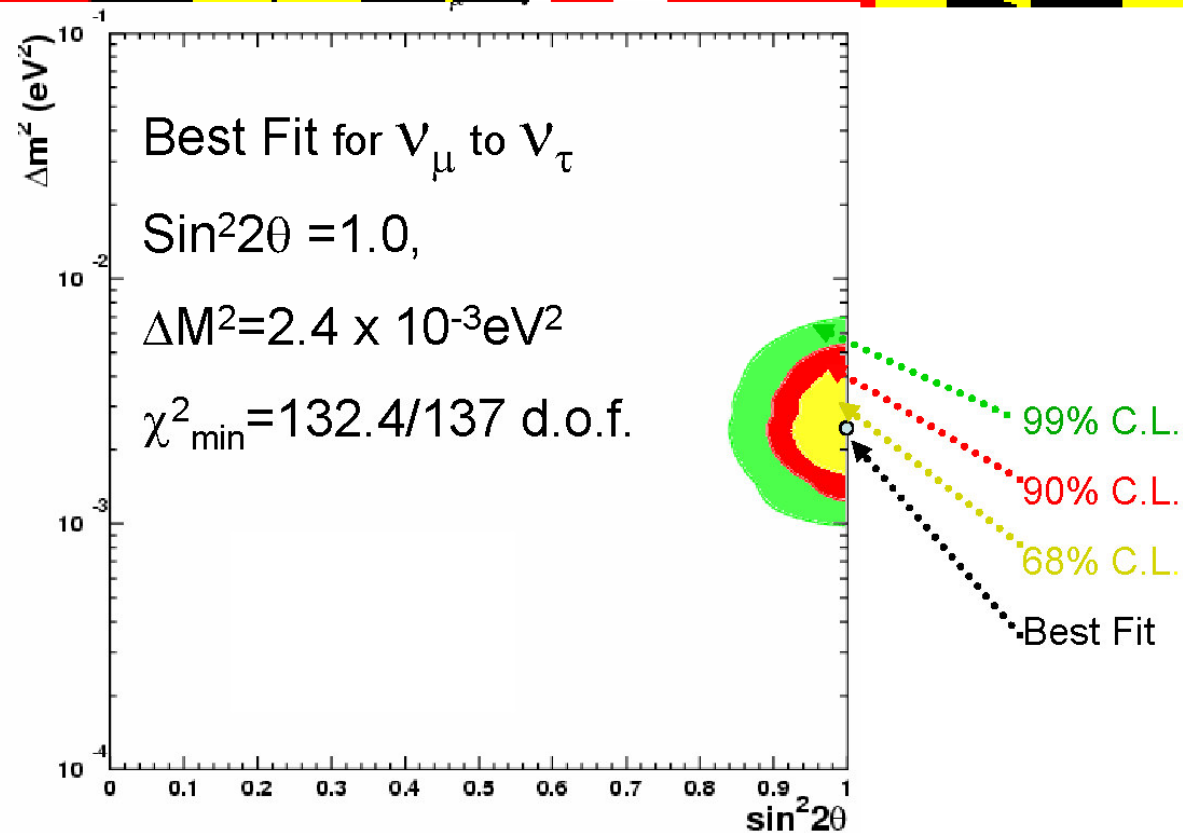
$$p=1 \text{ GeV}/c, \sin^2 2\theta=1$$
$$\Delta m^2=3\times 10^{-3}(\text{eV}/c^2)^2$$



La mitad de los que
atraviesan la tierra se
pierden



Resumen de resultados atmosféricos



J. Goodman – LP01

Más por venir



#eventos si no hay oscilacion

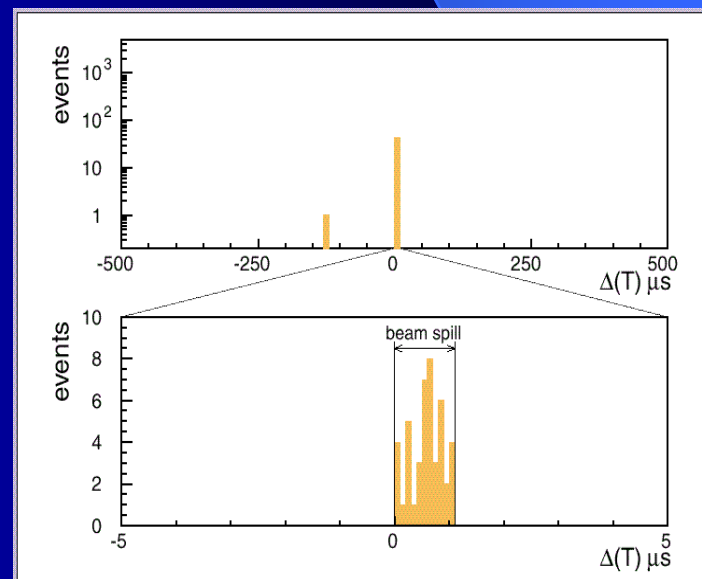
$80.1^{+6.2}_{-5.4}$

#eventos observados: 56

MINOS (IL $\rightarrow$ MN) 2005

OPERA/ICARUS (CERN $\rightarrow$ GS)
2006

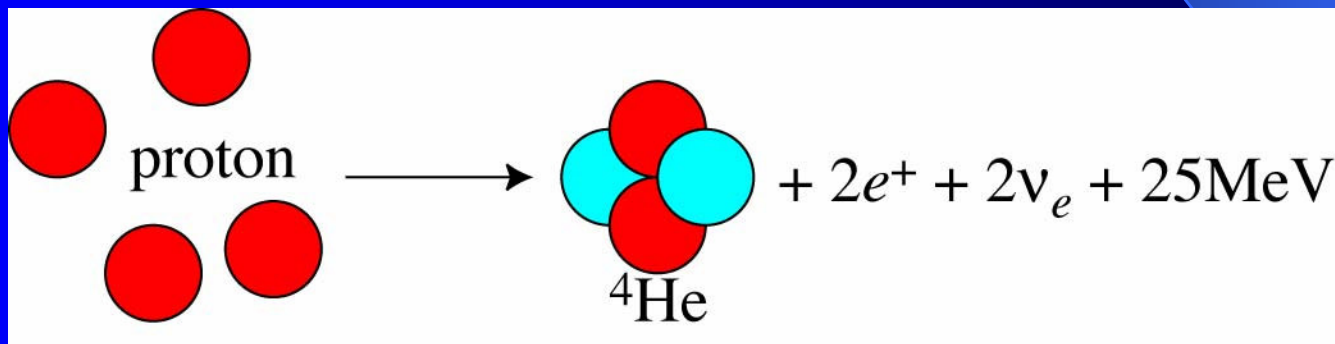
Setiembre 2004 APFU-Trinidad



Neutrinos solares

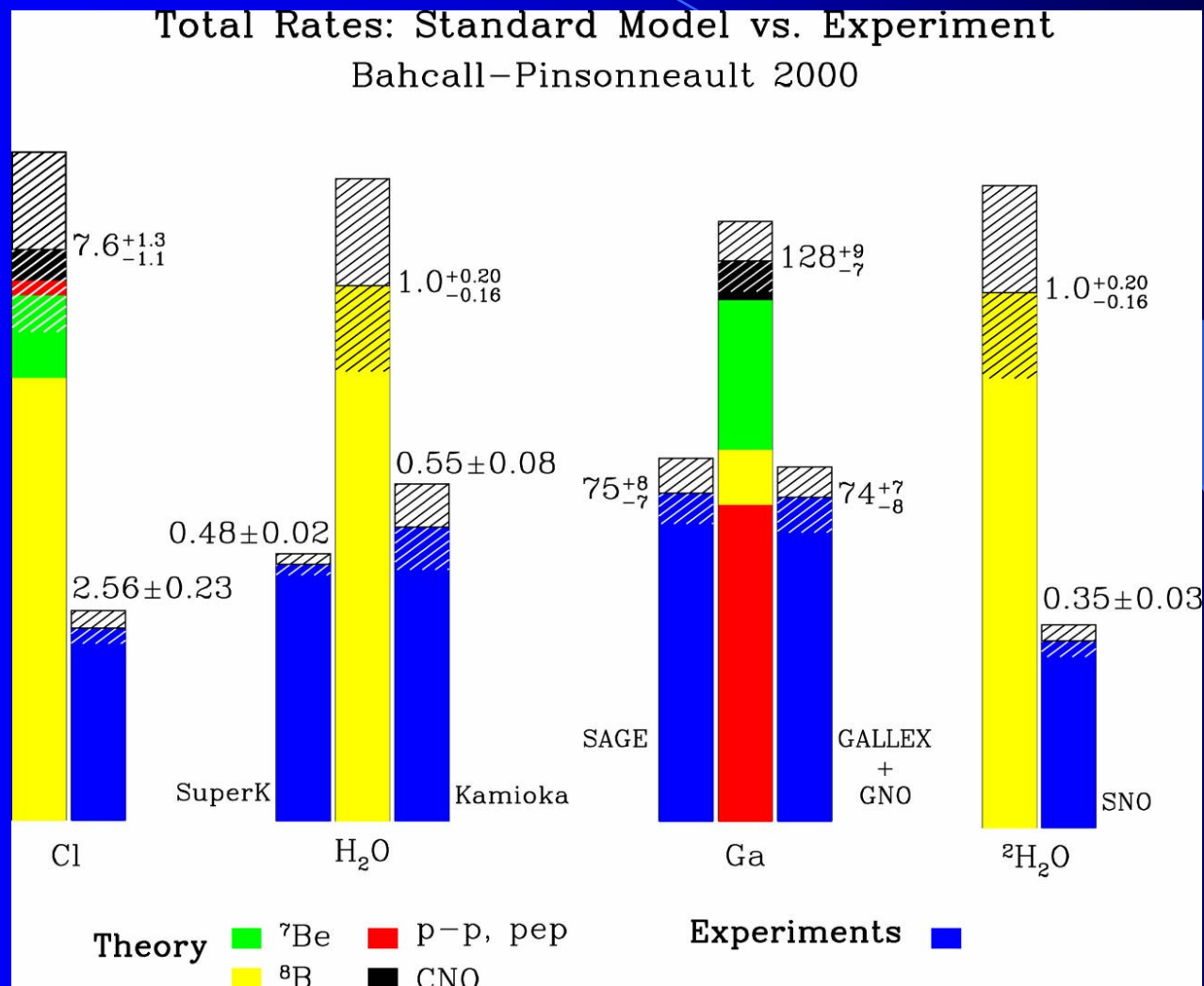
Porqué brilla el SOL?

- La fusión nuclear produce mucha energía

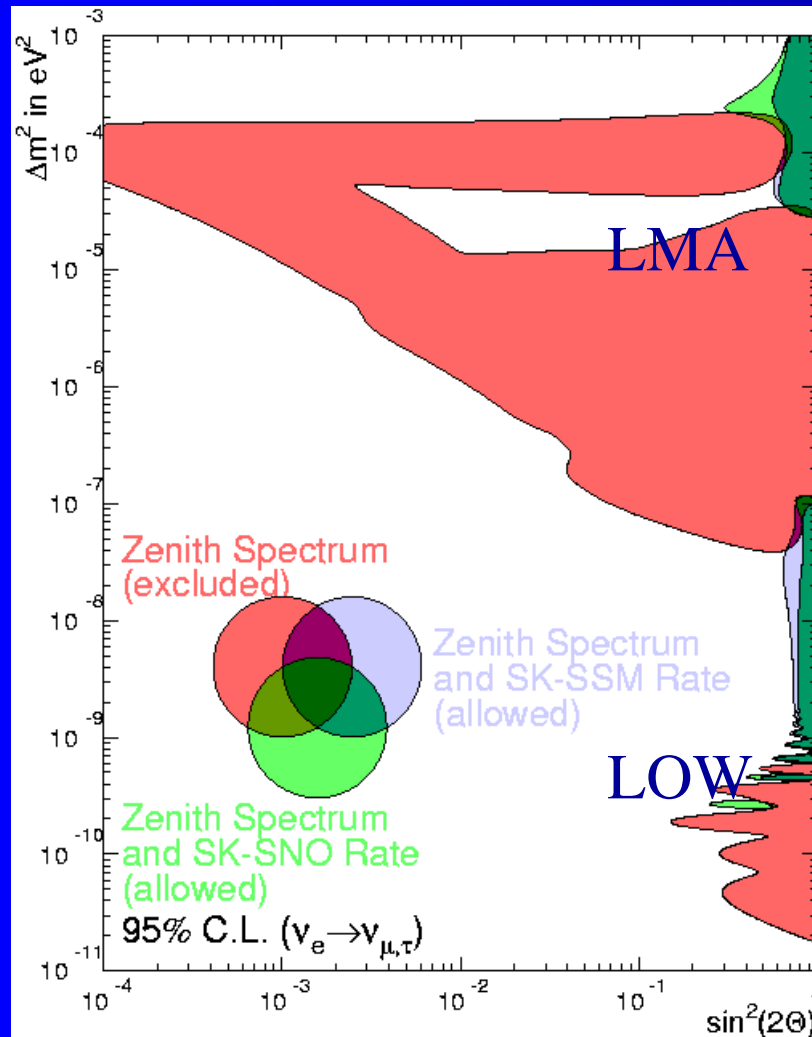


$$\Phi_{\nu} = \frac{2L_{\text{sun}}}{25\text{MeV}} \frac{1}{4\pi(1\text{AU})^2} = 7 \cdot 10^{10} \text{ sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

NO los recibimos todos...



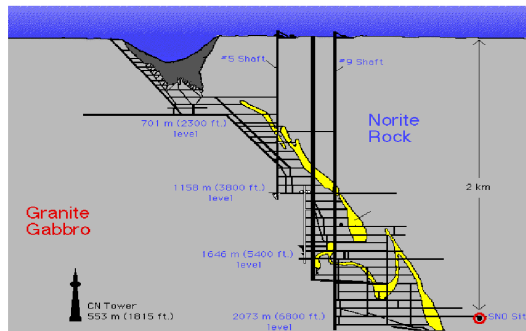
Los neutrinos oscilan ?



- Explica los datos
- *Problemas con el modelo del sol?*
- *Problemas con los experimentos?*
- *Problemas con la física de neutrinos?*

SNO

Sudbury Neutrino Observatory



1000 tonnes D_2O

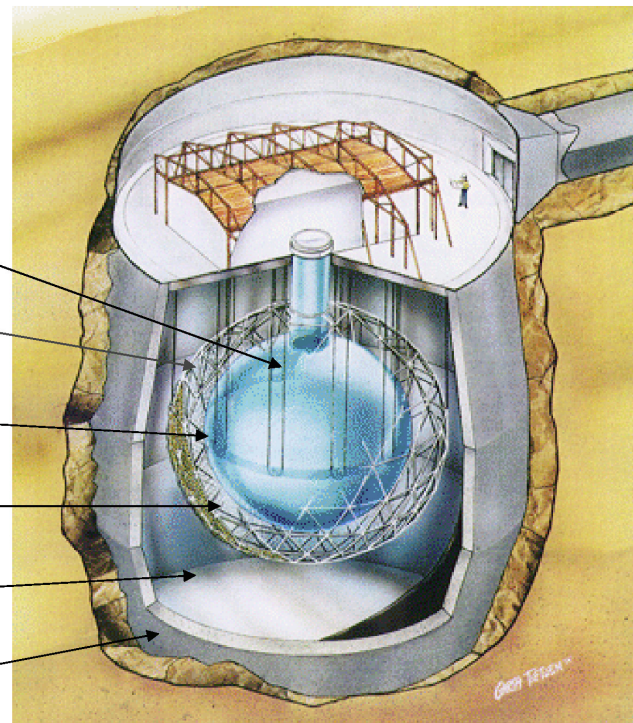
Support Structure
for 9500 PMTs,
60% coverage

12 m Diameter
Acrylic Vessel

1700 tonnes Inner
Shielding H_2O

5300 tonnes Outer
Shield H_2O

Urylon Liner and
Radon Seal



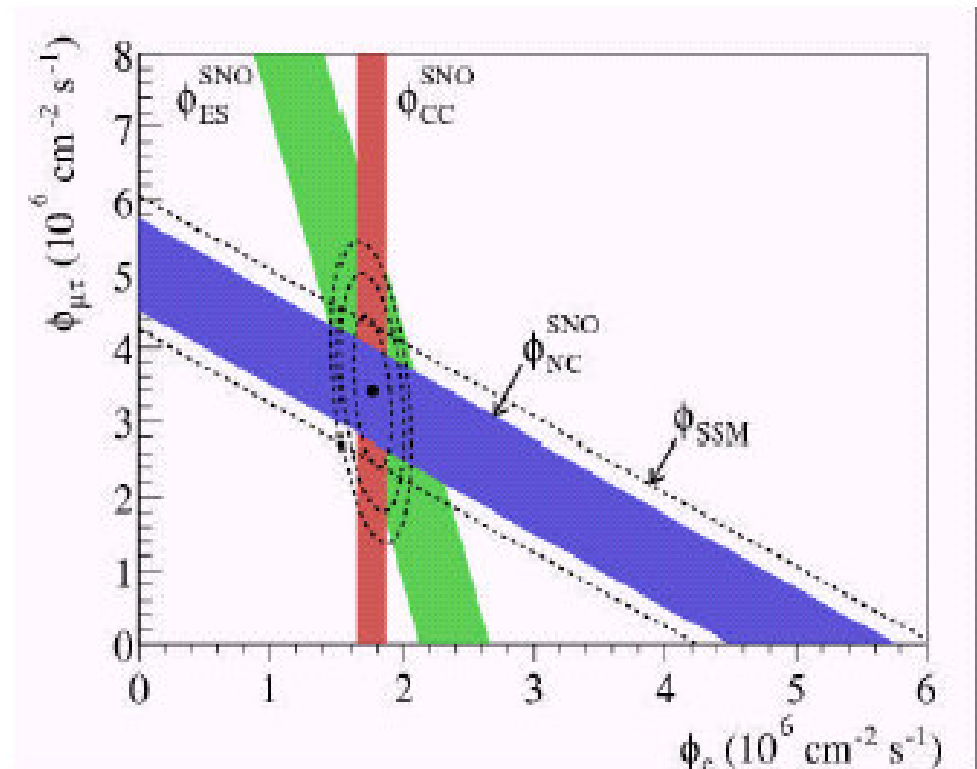
SOLAR NEUTRINO PROBLEM

$$\nu_e \text{ Measured} < \nu_e \text{ Predicted}$$

SNO

- CC: $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$
- ES: $\nu_x + e^- \rightarrow \nu_x + e^-$
- NC: $\nu_x + d \rightarrow p + n + \nu_x$

($x = e, \mu, \tau$)



Neutrino Oscillations $\nu_e \rightarrow \nu_{\mu, \tau}$

SNO al rescate

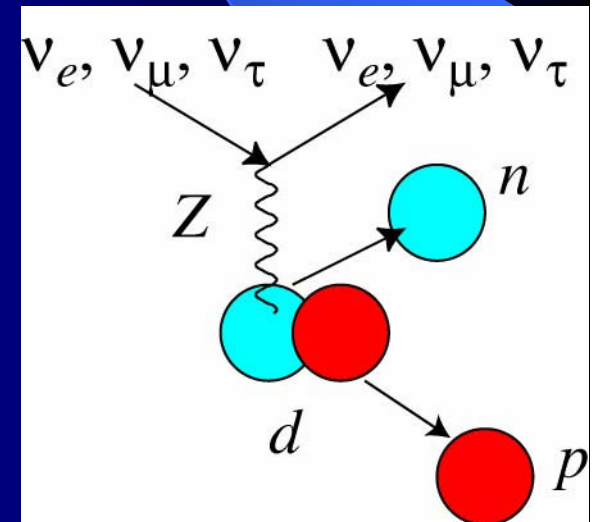
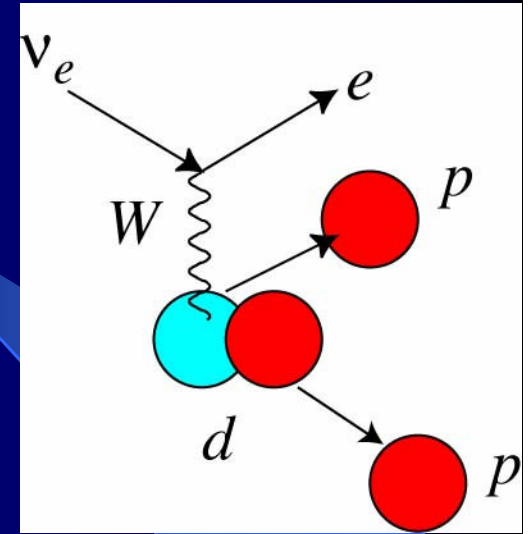
- Corrientes cargadas: ν_e

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

- Corrientes neutras: $\nu_e + \nu_\mu + \nu_\tau$

$$\Phi_{NC} = 5.09 \begin{matrix} +0.44 & +0.46 \\ -0.43 & -0.43 \end{matrix} \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

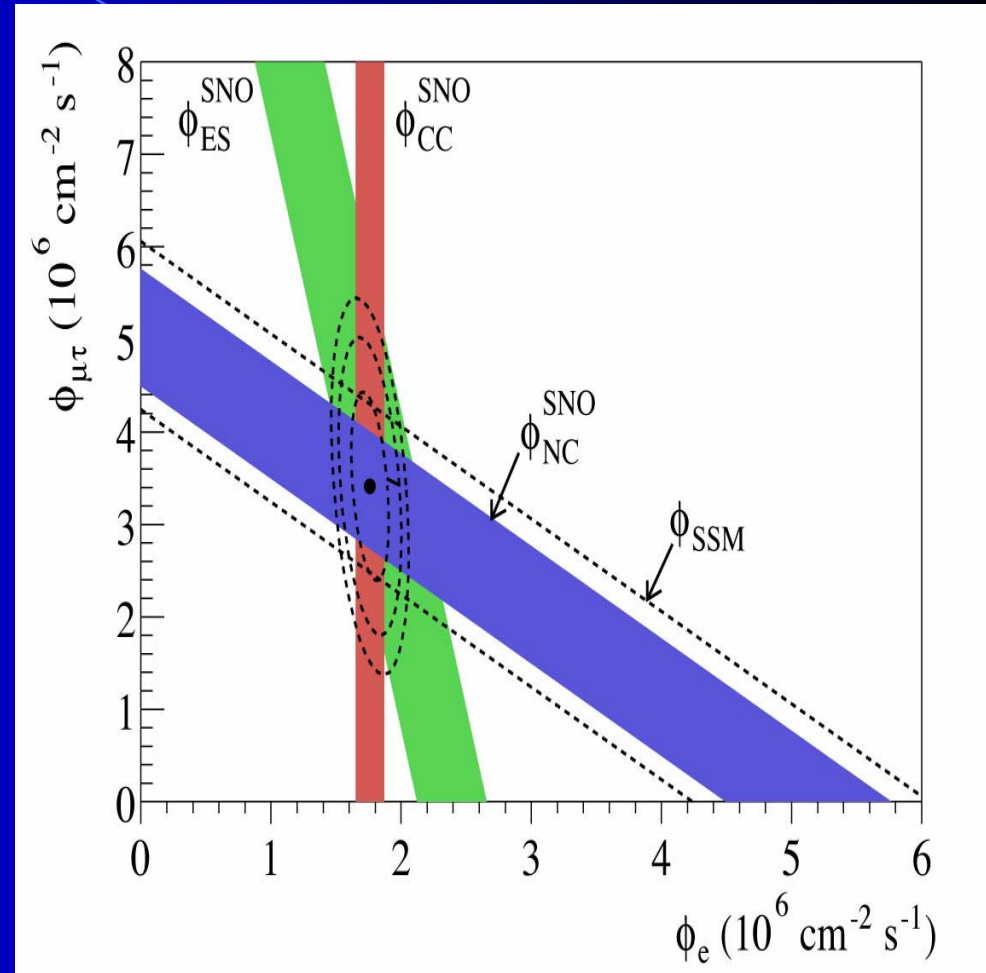
$\Rightarrow \nu_{\mu,\tau}$ vienen del sol!



Neutrinos equivocados

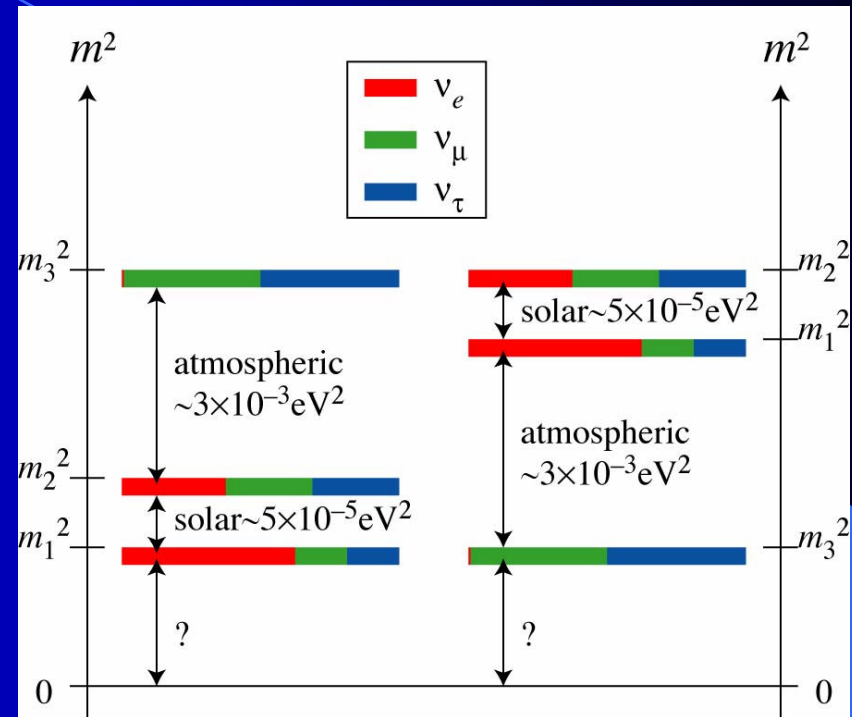
- Sólo ν_e son producidos en el sol
- Neutrinos equivocados $\nu_{\mu,\tau}$ vienen del sol!
- De alguna forma algunos de los ν_e se convierten en $\nu_{\mu,\tau}$ en su camino desde el centro del sol al detector

⇒ **Oscilación de neutrinos!**



Nuevas preguntas

- Porqué tienen masa?
- Porqué tan pequeña?
- Se ha visto *diferencias de masas*. Cuáles son las masas?
- Es necesario un cuarto neutrino?
- Son los neutrinos y anti-neutrinos iguales?



- Como se extiende el Modelo Estándar para incorporar neutrinos masivos?

Materia Oscura

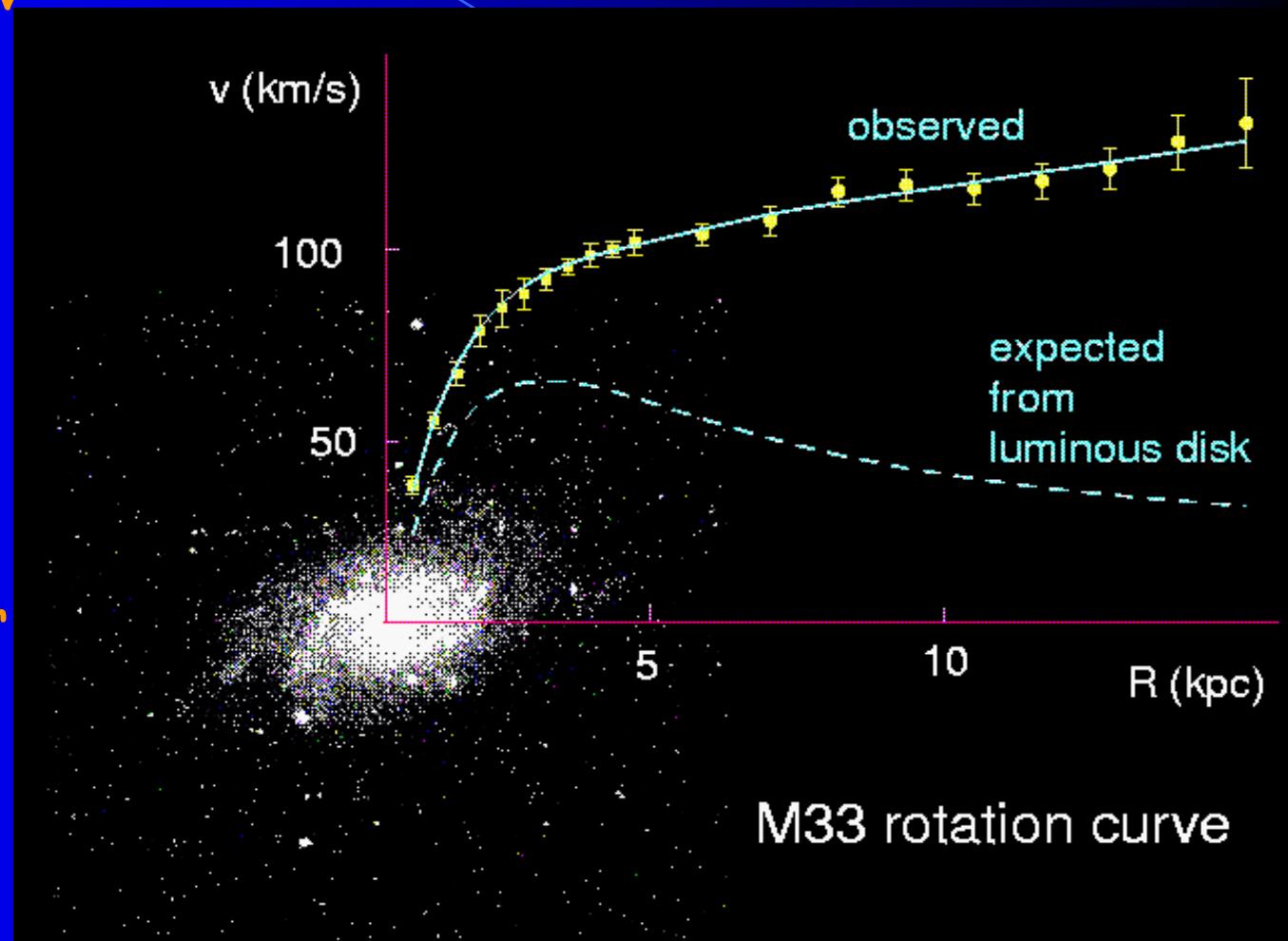
(no emite radiación electromagnética)

- Predicha por el modelo inflacionario Big Bang
- Las evidencias experimentales son gravitacionales
 - movimiento de brazos espirales viola las leyes de Kepler
 - idem con estrellas en brazos espirales exteriores
 - velocidad de rotación de galaxias alrededor de los centros de cluster
 - nubes de gas caliente observado alrededor de las galaxias debería escapar
 - lentes gravitacionales en desacuerdo con materia luminosa observada

Rotación de Galaxias



Gravedad:
 $G M(r) / r^2 = v^2 / r$
masa encerrada:
 $M(r) = v^2 r / G$

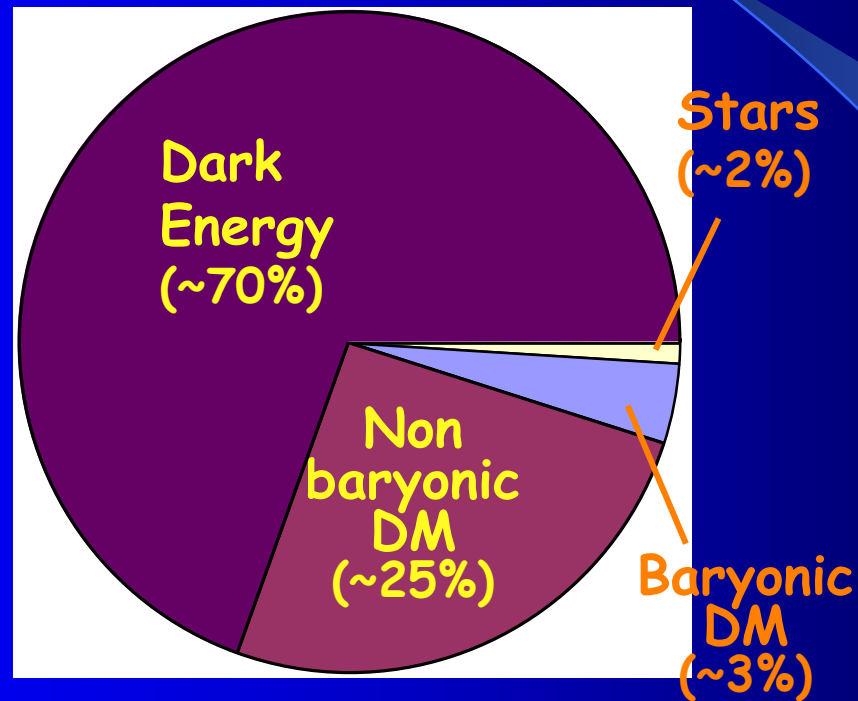


Estrellas luminosas son una pequeña fracción de la masa de la galaxia

Candidatos

- neutrinos masivos?
menos del 18%
- materia ordinaria (bariónica) que no radía?
 - polvo interestelar
 - enanas blancas oscuras, agujeros negros pequeños
(MAssive Compact Halo Object)
menos del 30%
- WIMP (partículas masivas débilmente interactuantes) ?
principal candidato $\rightarrow 10^{13}$ WIMPS/s/kg en la tierra
- axiones (asociados con QCD)?
cotas muy fuertes en su masa

Energía y materia



Conclusión



Algun material en internet ...

gabrielg@fing.edu.uy

<http://particleadventure.org/particleadventure/spanish/index.html>

<http://www.interactions.org/>

<http://pdg.lbl.gov/>