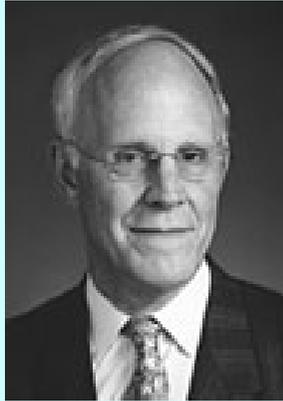
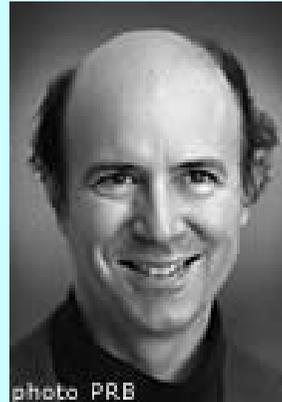




# Premios Nobel de física 2004



David J. Gross  
ITP



Frank Wilzeck  
MIT



David Politzer  
Caltech

**“Por el descubrimiento de la libertad asintótica en la teoría de las interacciones fuertes”**

**M. Angeles H. Vozmediano**

Departamento de Matemáticas, Universidad Carlos III de Madrid  
Unidad asociada al ICMM del CSIC



# 1. Constituyentes de la materia

Dos preguntas fundamentales:

¿De qué están hechas las diferentes sustancias?

¿Qué fuerzas (**interacciones**) actúan sobre ellas para formar el mundo  
*tal como lo vemos?*

Las respuestas (modelos) han ido variando sujetas al condicionamiento  
"tal como lo vemos" (experimentación) y a las diversas ideologías históricas.

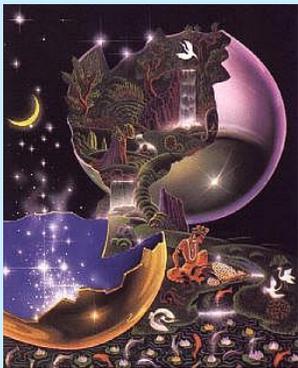


## 1.1. Una breve historia

1. Antes de la observación experimental
2. El tiempo de la química
3. Física moderna

1. Antes de la observación experimental. La pregunta accesible: ¿De qué..?

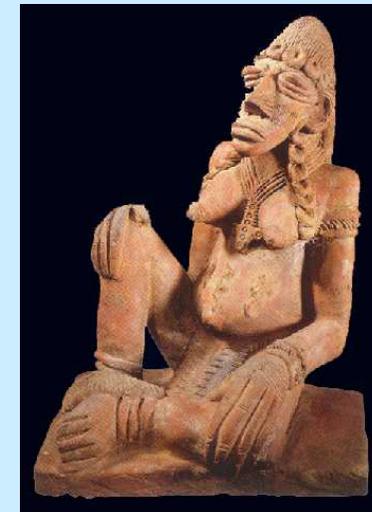
Mitos de la creación (<http://www.mythinglinks.org/ct~creation2.html>)



El huevo dorado  
(India)



La creación bíblica



Cultura Djenne  
Mali s XII-XIVa.c

En el principio crió dios los cielos y la tierra, y la tierra estaba desordenada y vacía... Y dijo dios: sea la luz: y fué la luz (*Gen. I,1,2,3*)

## 1.2. Una breve historia

¿De qué..

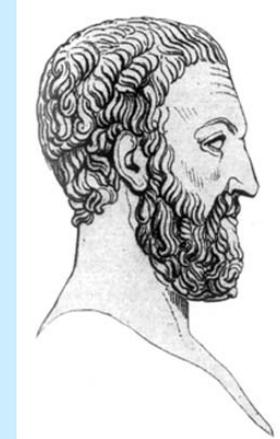
**Filósofos presocráticos:**

**Thales de Mileto:** todo es agua

**Anaximandro:** una sustancia desconocida oculta en toda otra (¿quarks?)

**Empédocles:** aire, agua, tierra, fuego

**Demócrito:** átomos (s iv AC)



Thales

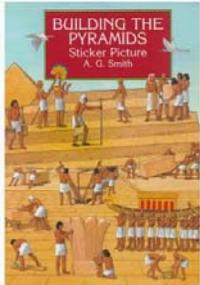


Demócrito

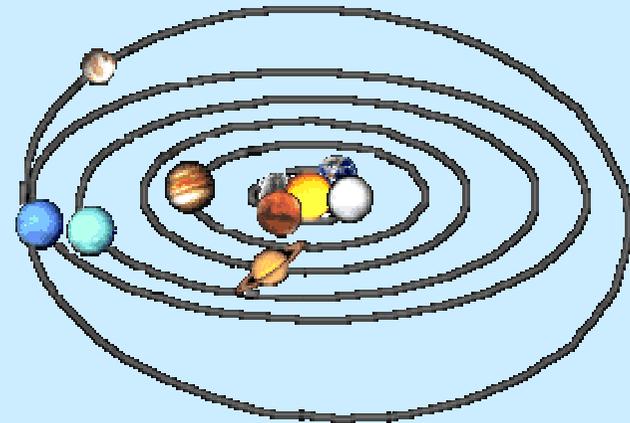
## 1.3. Las primeras fuerzas: mecánica

La pregunta relevante: ¿cómo y por qué se mueven los objetos?  
Dos grandes laboratorios: la tierra y el cielo

La tierra: fuerza asociada al "empuje"  
con contacto físico entre los cuerpos



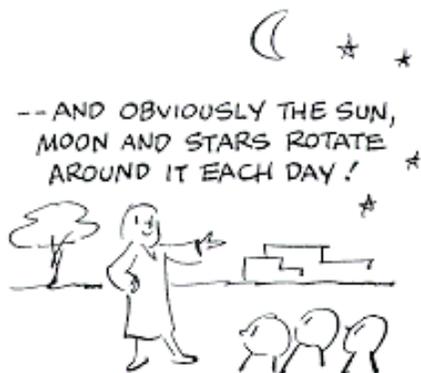
El cielo: movimiento planetario:  
interacción "a distancia" .



<http://pds.jpl.nasa.gov/>

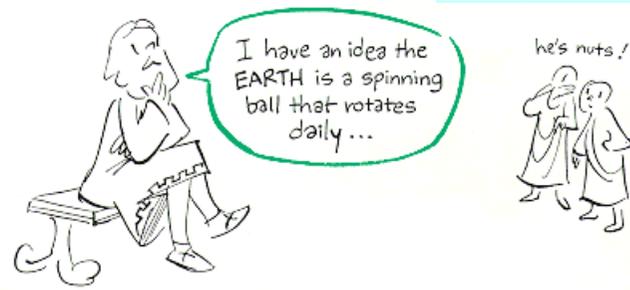
## 1.4. Una breve historia

La tierra es plana



el sol, la luna y los planetas giran a su alrededor

Aristarco (sVI a.c.)



<http://www.calacademy.org/products/pendulum/>

2000 años más tarde..

Copérnico 1543



## El tiempo de la química

Desde los alquimistas hasta el átomo de Rutherford

**Transmutación de la materia**

**Cambios de fase**

**Pólvora, explosivos, reacciones químicas**

No se avanza mucho en el ¿de qué..? pero sí en ¿qué fuerzas..?

## La física moderna: Galileo (1564-1642)

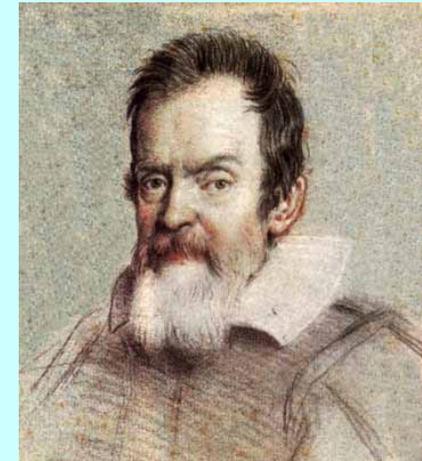
Observación experimental

Interpretación de los resultados (teoría)

Ley de inercia

Caída de los graves

Se sabe cómo se mueven algunas cosas (cinemática)  
pero no por qué (dinámica).



## La primera gran teoría: gravitación

Newton, Isaac (1642-1727)



Todas las sustancias materiales tienen **masa** y todas las masas están sometidas a una única interacción: gravitatoria de intensidad  $G$ .

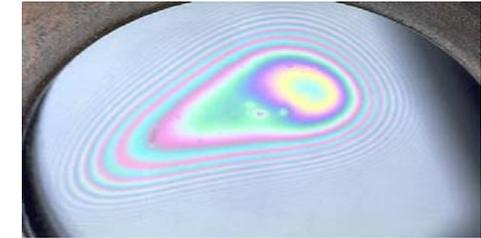
$$F = G_m \frac{mm'}{r^2}$$



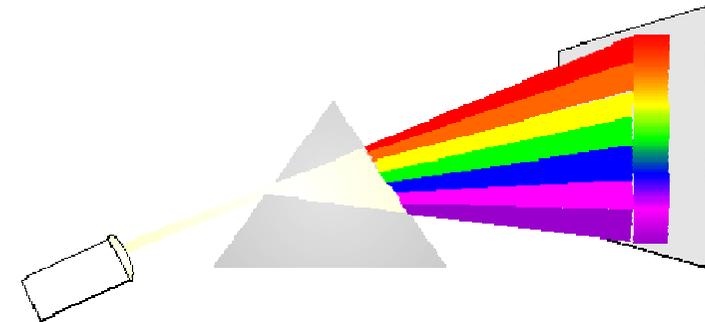
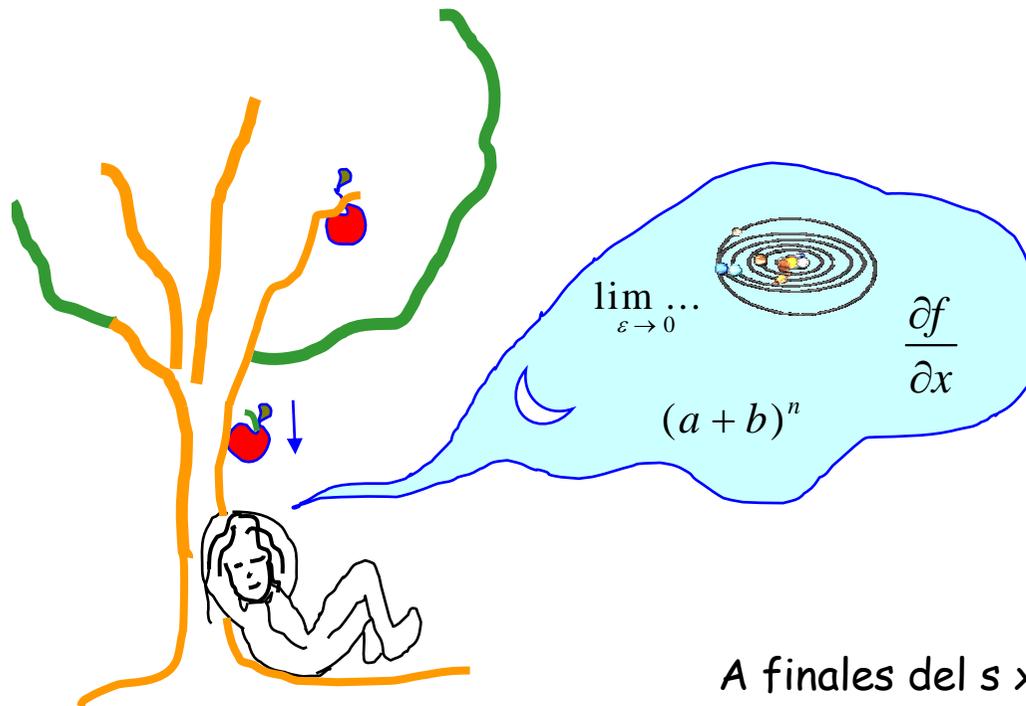
Unificación: el movimiento planetario, la caída de los graves y, en general, todos los fenómenos mecánicos son fruto de una única interacción asociada a una propiedad: masa.

# Newton y la luz

A pesar de sus experimentos de difracción que le llevaron a descubrir los "anillos de Newton", estaba convencido de que la luz estaba hecha de partículas materiales.



Anillos de Newton



A finales del s xviii la mecánica terrestre y celeste estaba entendida.

# Electricidad y magnetismo

Maxwell, Hertz, Coulomb (1850)

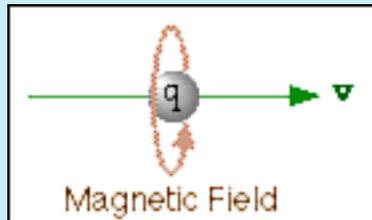
Coulomb: la electricidad es debida a una nueva propiedad de la materia: la carga eléctrica. Las partículas cargadas interactúan según la ley

$$F_q = G_q \frac{qq'}{r^2}$$

(Recuerdo:  $F_m = G_m \frac{mm'}{r^2}$ )

¿Y el magnetismo?

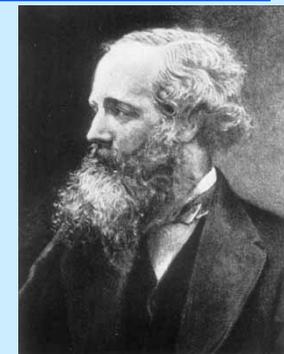
Las cargas en movimiento producen campos magnéticos.



## Segunda unificación: electromagnetismo y luz

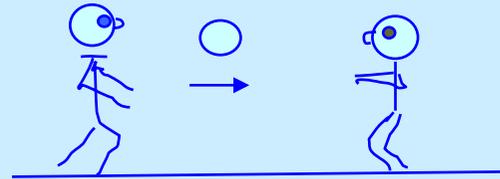
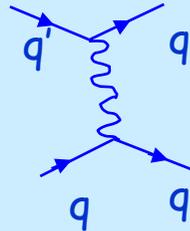
Unificación de los fenómenos eléctricos y magnéticos:

Las cargas aceleradas emiten energía en forma de ondas electromagnéticas.



J. C. Maxwell

## Un esquema de interacción



Las partículas con carga eléctrica se "ven" e interaccionan (e.d. se transmiten energía) por medio de la luz. La interacción no es instantánea.

### Propiedades de las dos interacciones conocidas

Magnitud característica	Masa	Carga
Alcance de la interacción	Infinito	Infinito
Mediador	Ondas gravitatorias	Ondas electromagnéticas
Intensidad	$G$ (cte. de grav. univ.)	$\alpha$ (cte. estructura fina)

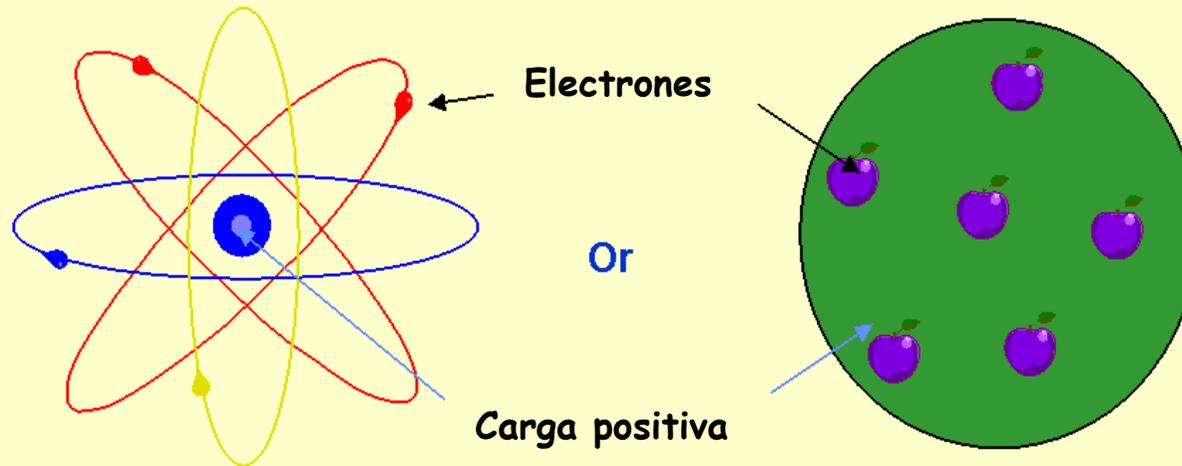
### Generalización

Al aparecer un nuevo tipo de fuerzas se atribuye una nueva propiedad a la materia.

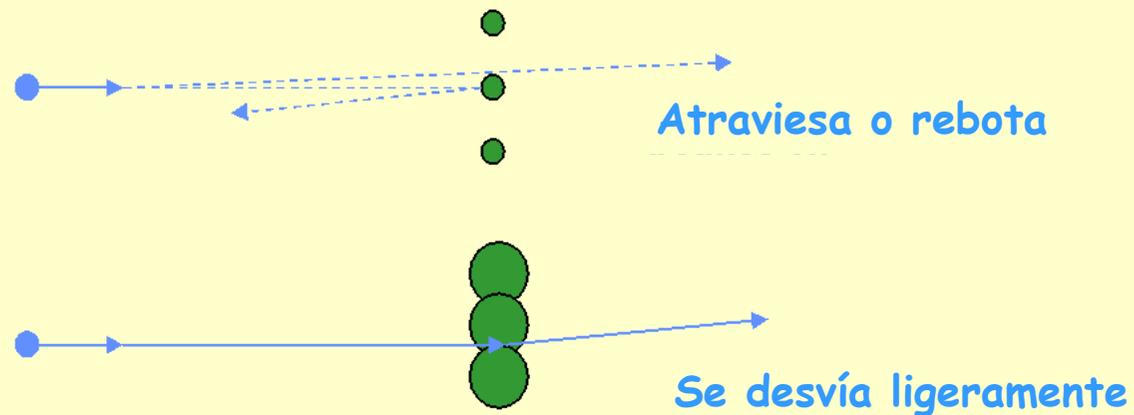
La interacción (intercambio de energía, información, cantidad de movimiento) no es instantánea y se ha de transmitir por medio de ondas o partículas.

# Modelos atómicos

1. Thompson: puré de electrones y protones
2. Rutherford: sistema planetario con la carga positiva concentrada en el centro.



Se puede decidir entre ambos con experimentos de colisión



## Finales del siglo xix

Toda la química está entendida.  
Modelo planetario del átomo. ¿De qué...?

Fundamentalmente de nada (vacío). Lo poco que está lleno lo está de  
partículas puntuales: e, p, n (puntos discretos)  
campos electromagnético y gravitatorio, ondas, continuo (median las interacciones)

Problemas: del modelo atómico de Rutherford:

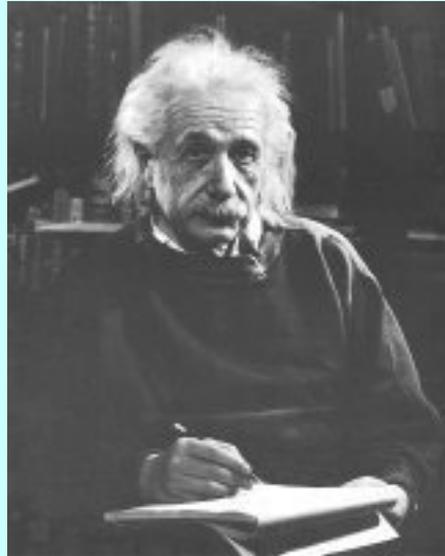
Estabilidad del átomo: el electrón debería caer sobre el núcleo

Estabilidad del núcleo (protones muy cerca se deben repeler)

Además:

1. Los rayos cósmicos mandan partículas extrañas ( $\mu$ ,  $\nu$ ,  $\gamma$ ..)
2. Se observan desintegraciones beta en núcleos:  $N^A \rightarrow N^{A+1} + e^-$
3. La velocidad de la luz es constante e independiente del sistema de referencia (contra Newton y Galileo)

# El magnífico siglo xx



God does not play dice with the universe.  
- Albert Einstein



Anyone who is not shocked by Quantum  
Theory has not understood it. - Niels Bohr

## Dos grandes revoluciones: relatividad y mecánica cuántica

Efecto fotoeléctrico (Nóbel 1921): la luz es un chorro de fotones.

Dualidad corpúsculo-onda.

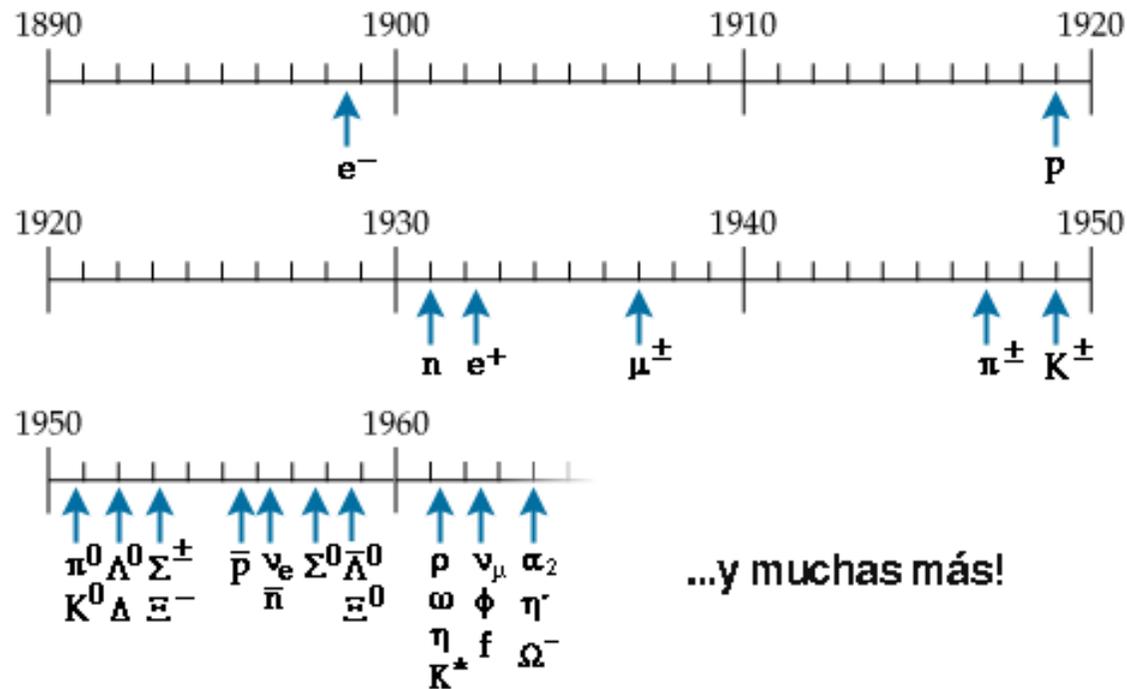
Dos tipos de partículas:

constituyentes (e,p,n)

transmisoras de las interacciones (fotón, gravitón)

Primeros aceleradores (´50). Aparecen nuevas partículas.

# Cronología antes de QCD



No son todas iguales. Bariones (pesadas) y leptones (ligeras).

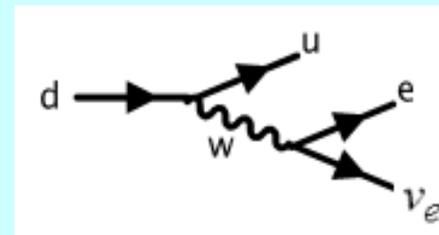
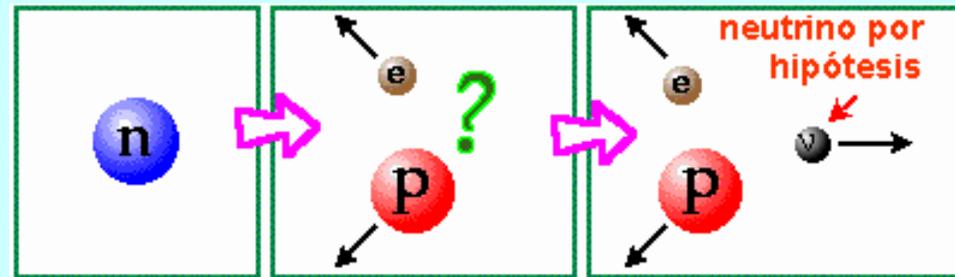
# Nuevas interacciones: fuerte y débil

Había que poner orden en el zoo de las partículas elementales  
Explicar la estabilidad del núcleo atómico  
Y las desintegraciones beta: neutrón  $\longrightarrow$  protón+electrón??

Los hadrones (protones, neutrones, etc. ) no son elementales. Están formados por quarks.  
Los quarks tienen "color" y por ello están sometidos a la fuerza fuerte.  
Tienen también "sabor" y por ello están sometidos a la fuerza débil.  
Los electrones (y demás leptones) no tienen color pero sí sabor.

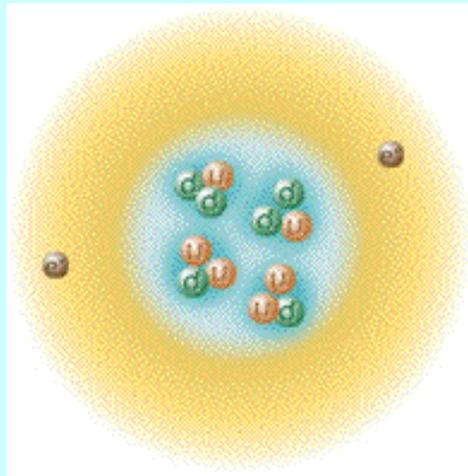


La fuerza fuerte es mucho mayor que la electromagnética

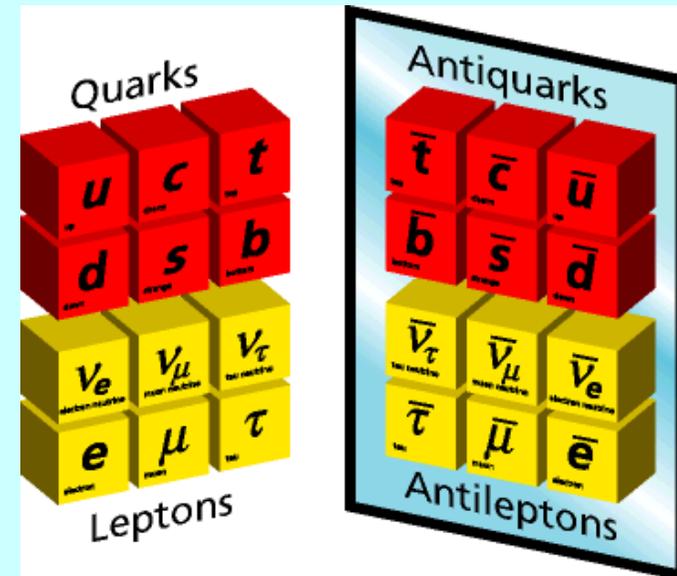
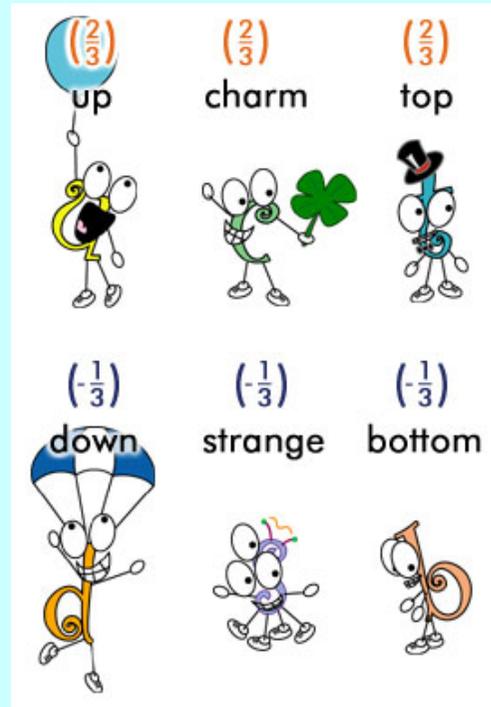


El neutrón no está formado por p+e sino por udd  
El protón es uud

# Toda la familia



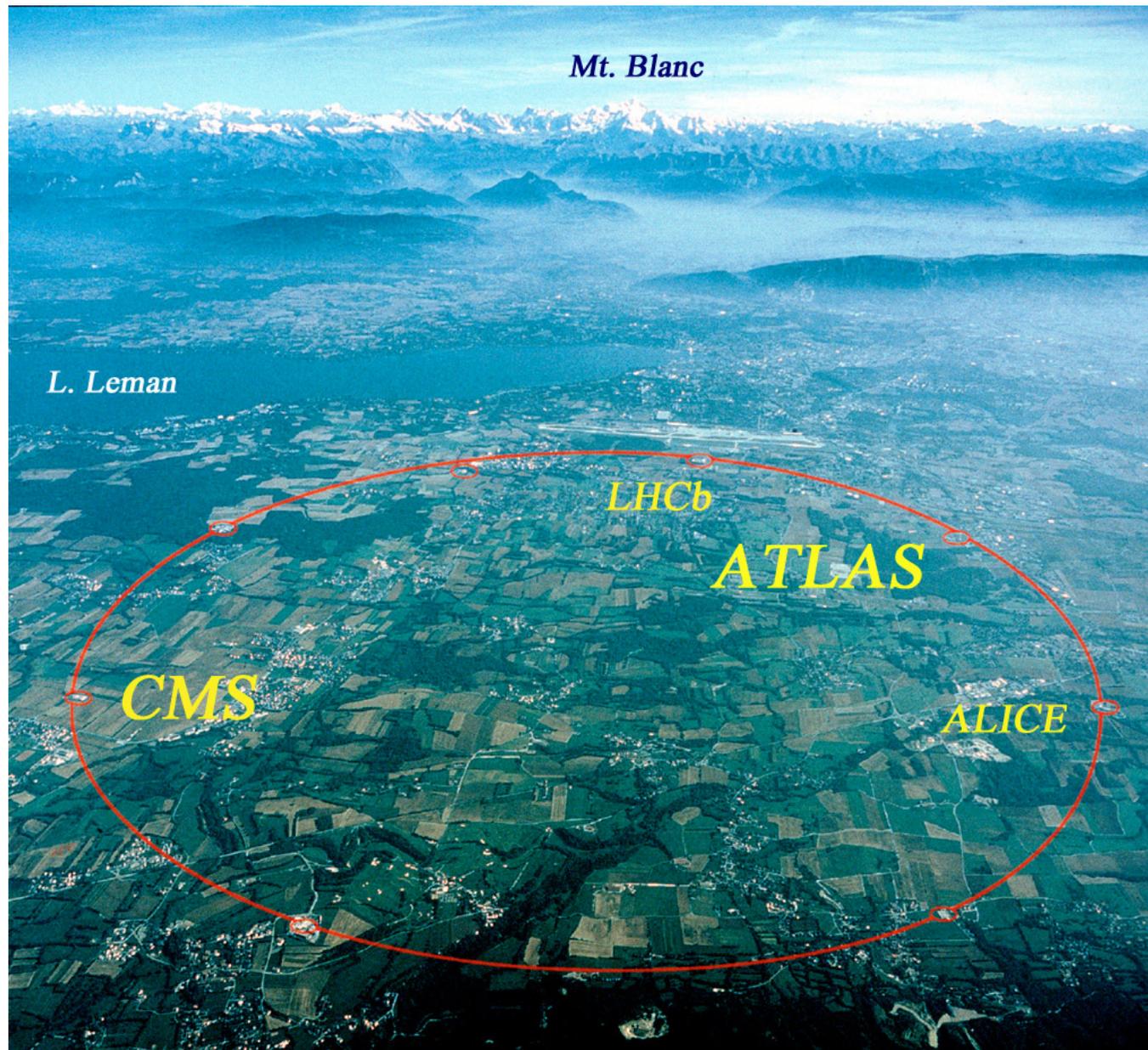
Antimateria: todas las partículas tienen su correspondiente antipartícula



En los aceleradores se hacen chocar partículas a altas energías para generar otras nuevas de mayor masa.



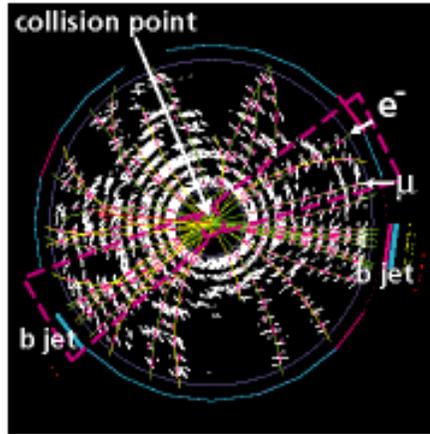
# EI CERN



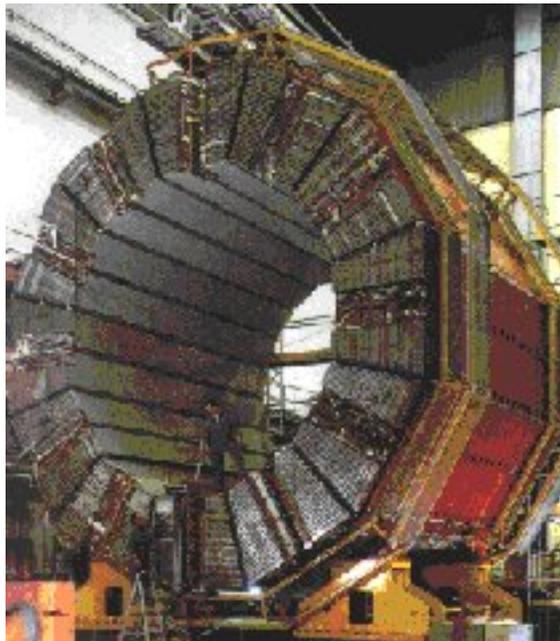


LEAR

Último gran descubrimiento:  
el quark top en Fermilab, 1995



Fermilab



El detector aleph

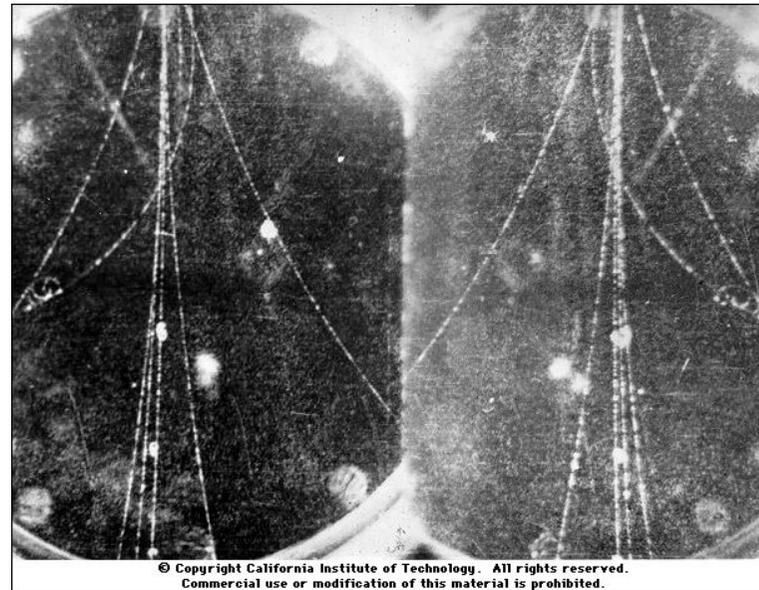


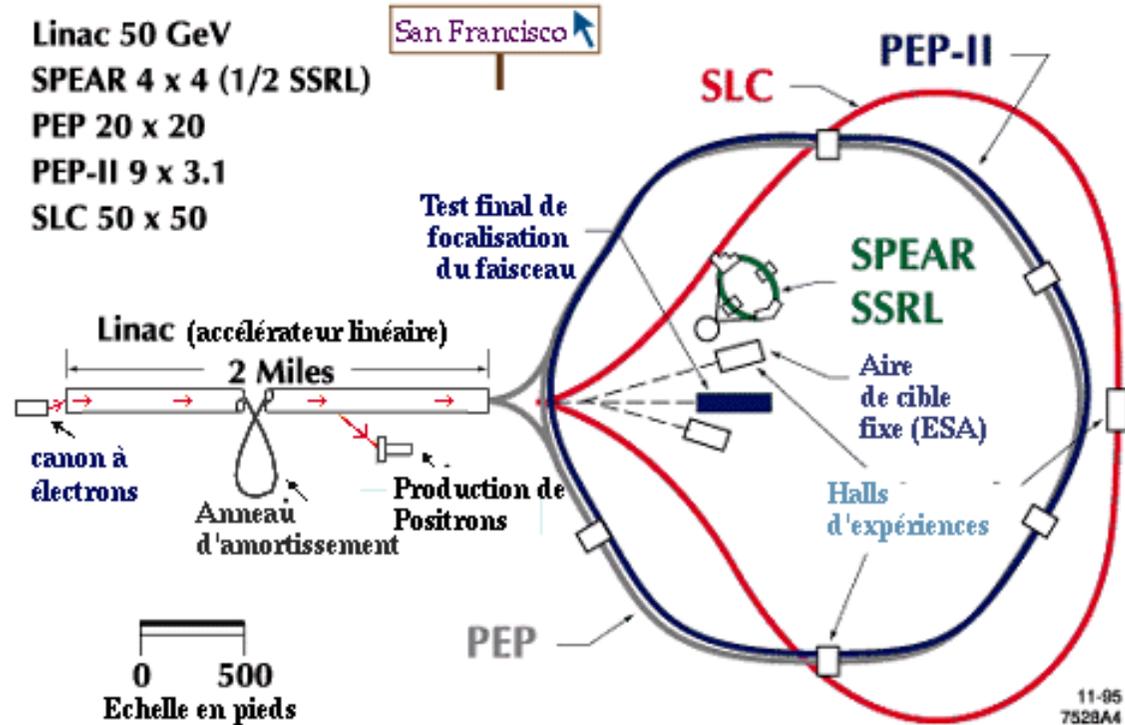
Imagen de una cámara de niebla

# Otro gran acelerador: SLAC

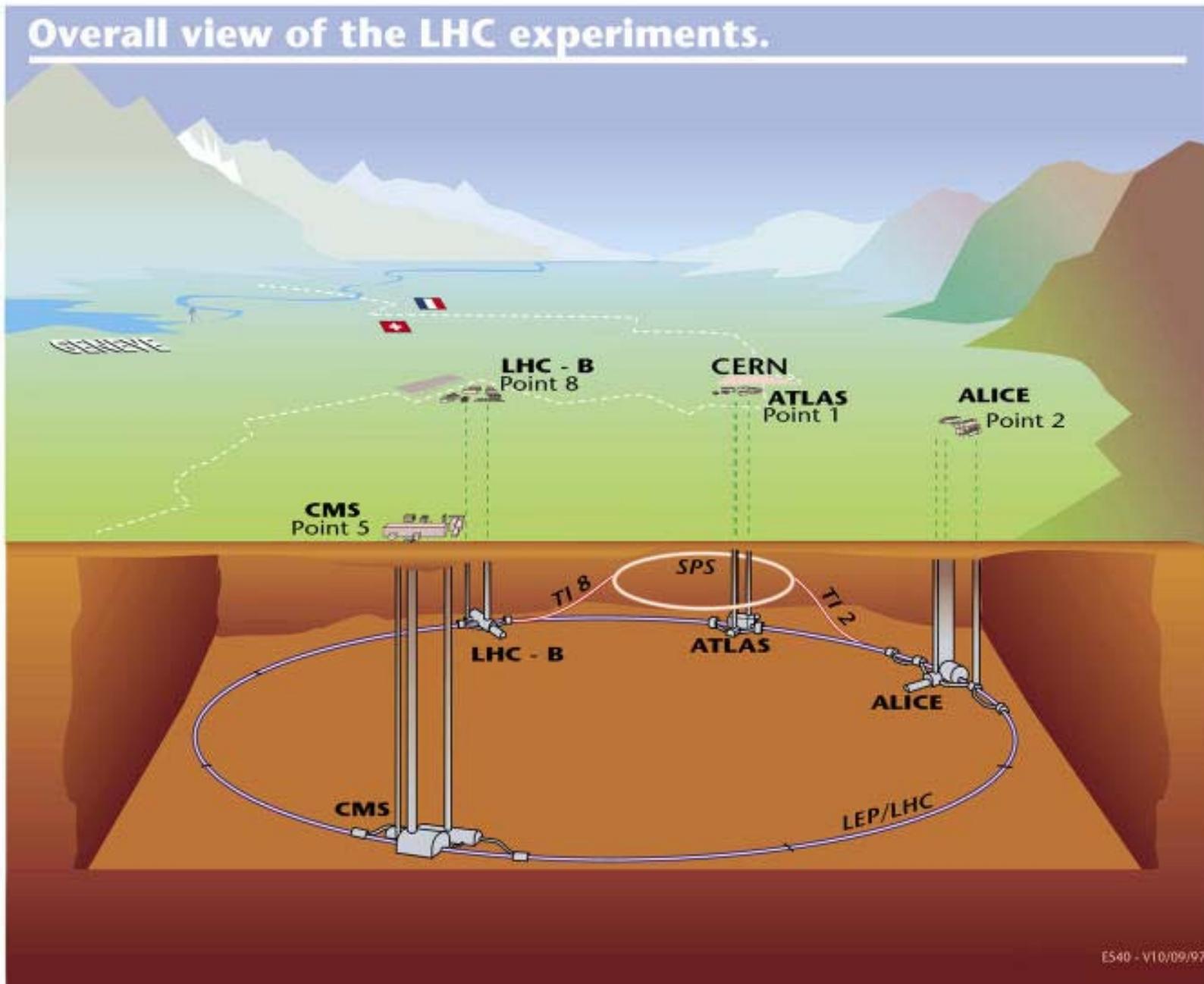


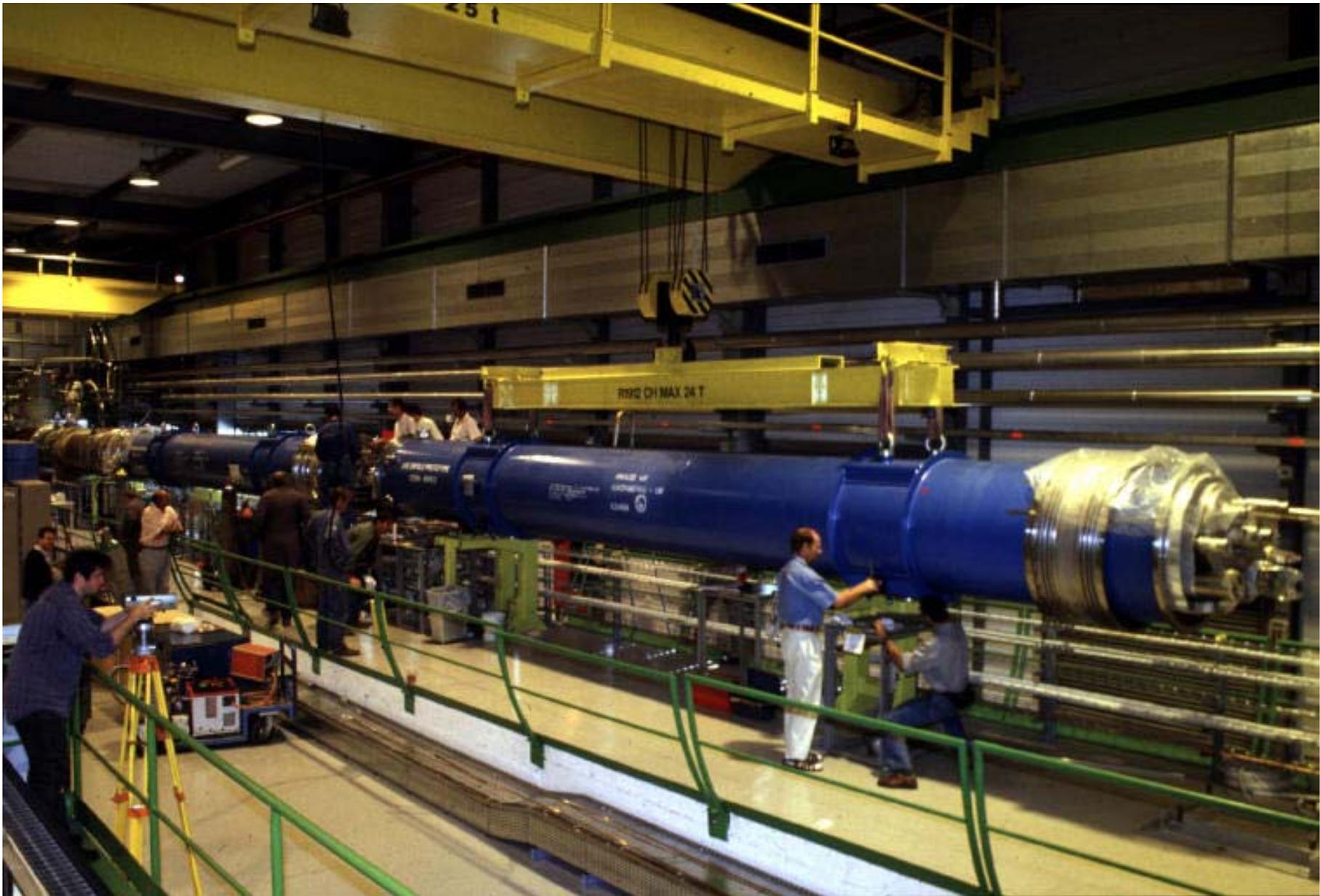
## Zones d'Expériences du SLAC

Linac 50 GeV  
SPEAR 4 x 4 (1/2 SSRL)  
PEP 20 x 20  
PEP-II 9 x 3.1  
SLC 50 x 50



# Futuro: LHC

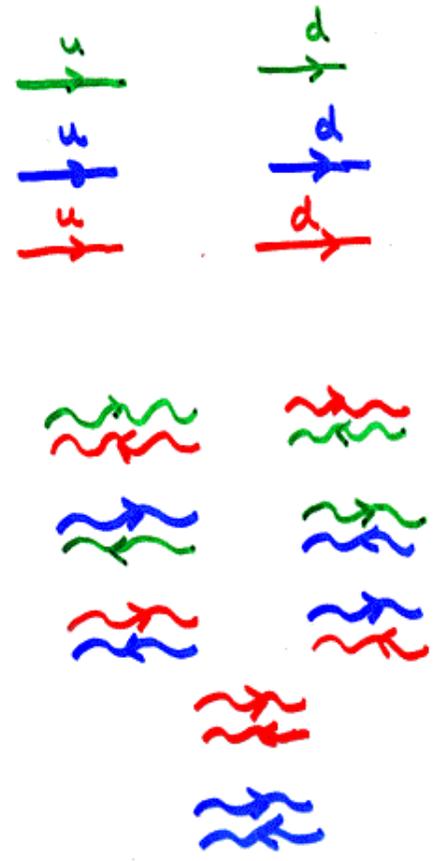




Imanes para el nuevo acelerador LHC (large hadron collider)

# Quantum Chromodynamics

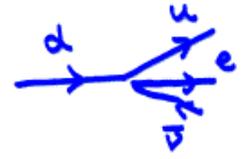
(QCD)



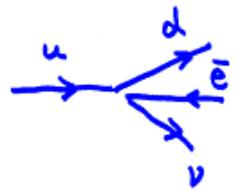
'colored' quarks

gluons

# The Weak Interaction

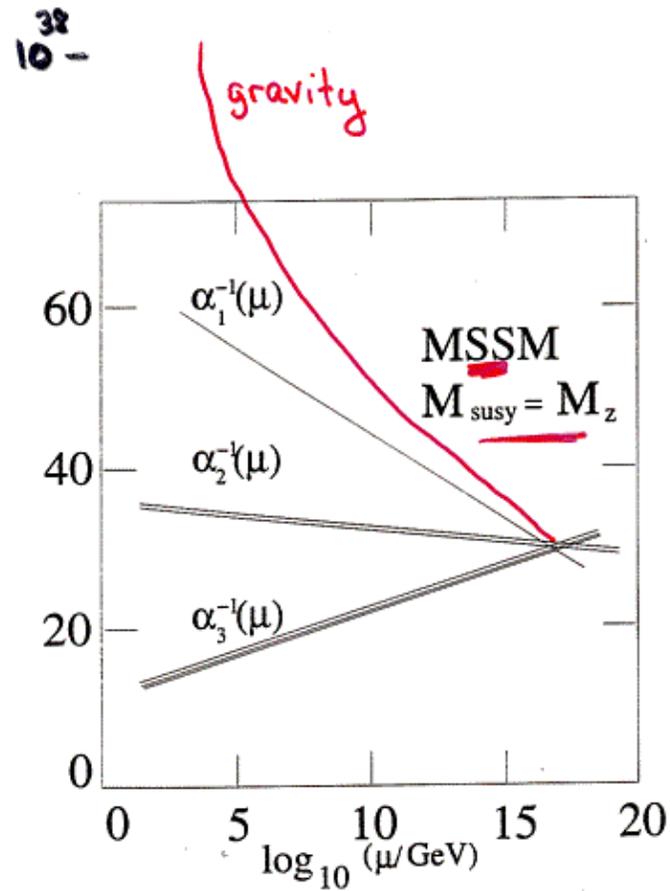


$\beta$ -decay



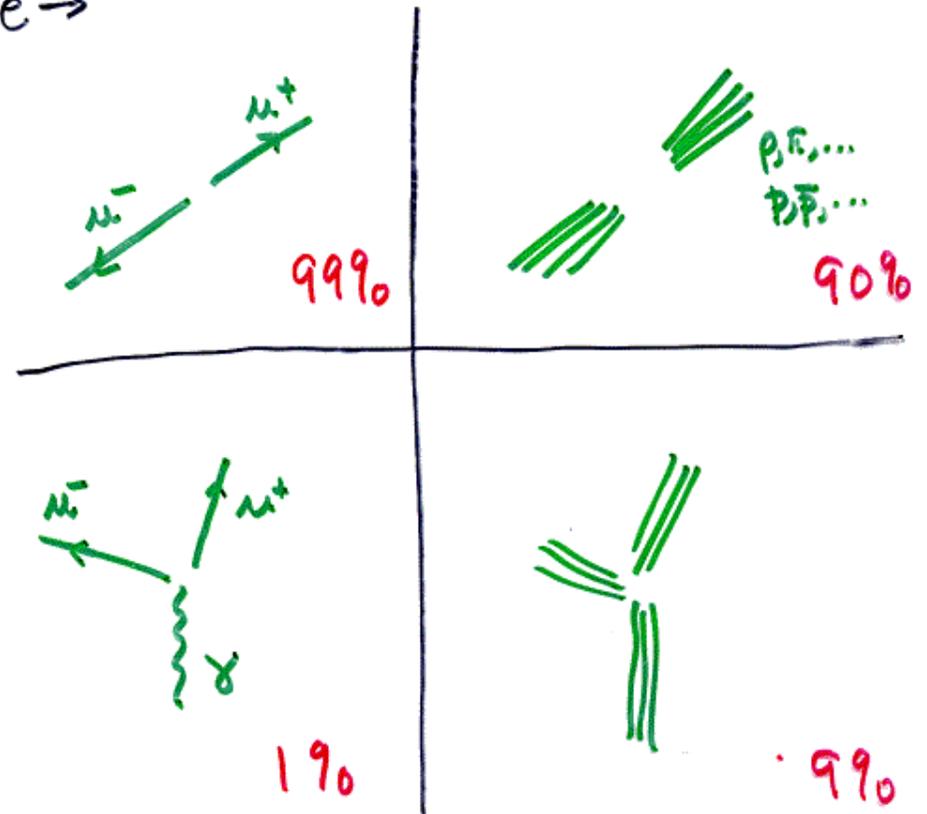
stellar burning

# Asymptotic Freedom: Evidence



## Jet Phenomenon

$e^+e^- \rightarrow$



## Conclusiones y futuro



¿Por qué están los quarks confinados dentro de los hadrones?  
¿Cuál es el origen de las masas?, ¿Higgs? (se busca)  
¿Hay gravitones? (se buscan)  
¿Y partículas supersimétricas? (se buscan)  
¿Por qué hay más materia que antimateria? (cosmología)

Búsquedas científicas en internet: [google.com](http://google.com) (en inglés)



Some wonder whether some day we will arrive at a theory of everything, and run out of new problems to solve - much as the effort to explore the earth ran out of new continents to explore. While this is conceivably possible, I am happy to report that there is no evidence that we are running out of our most important resource - ignorance.

