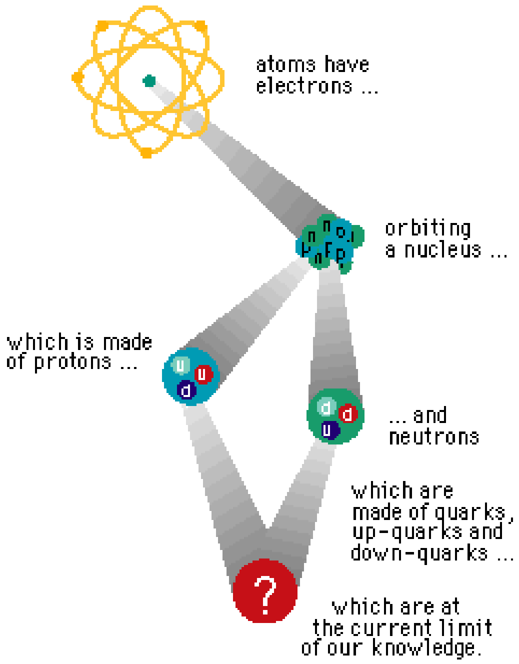
INDICE

- Modelo Estándard
- Aceleradores
- Detectores y Experimentos
- Algunos Resultados Física (Quark-Gluon Plasma)
- Temas abiertos actualmente en Física Partículas
- Aplicaciones de Aceleradores
- Información útil

Modelo Estándard



Tres familias básicas de partículas: Leptones – Quarks

Cuatro interacciones (Intercambio Partícula)

Pero Modelo Estándard no es completo (Unificación Gravitación, Masa...)

Avance en Ciencia es Trabajo conjunto
Física Experimental (Rayos Cósmicos, Aceleradores...) y
Física Teórica

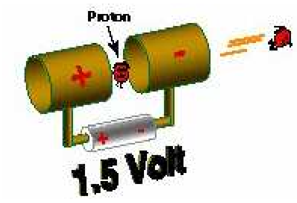
Aceleradores

Física de Partículas con Aceleradores se basa en

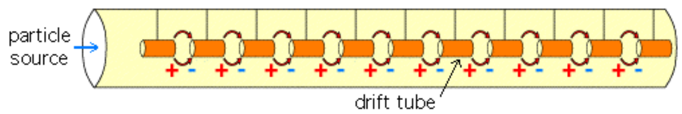
$$E = mc^2$$

- ¿Qué se acelera? Partículas cargadas
  - e^- (calentando filamento)
  - p (a partir átomo H)
  - $\bar{p}$ (haz p sobre Be, p p $\rightarrow$ p p $\bar{p}$ p)
  - e^+ (haz e^- sobre blancos, $\gamma \rightarrow e^+e^-$)
  - núcleos (O, S, Pb, ionizando átomos)
  - Haces secundarios (μ, ν, K, π)

- ¿Cómo se acelera?
  - Campos Eléctricos



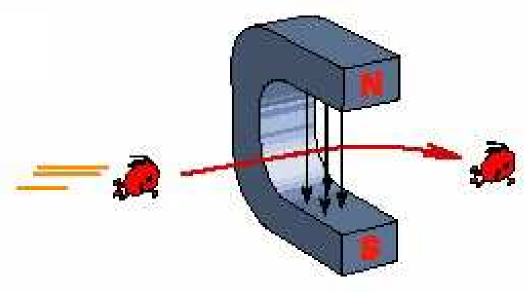
Campos E alternantes aceleran

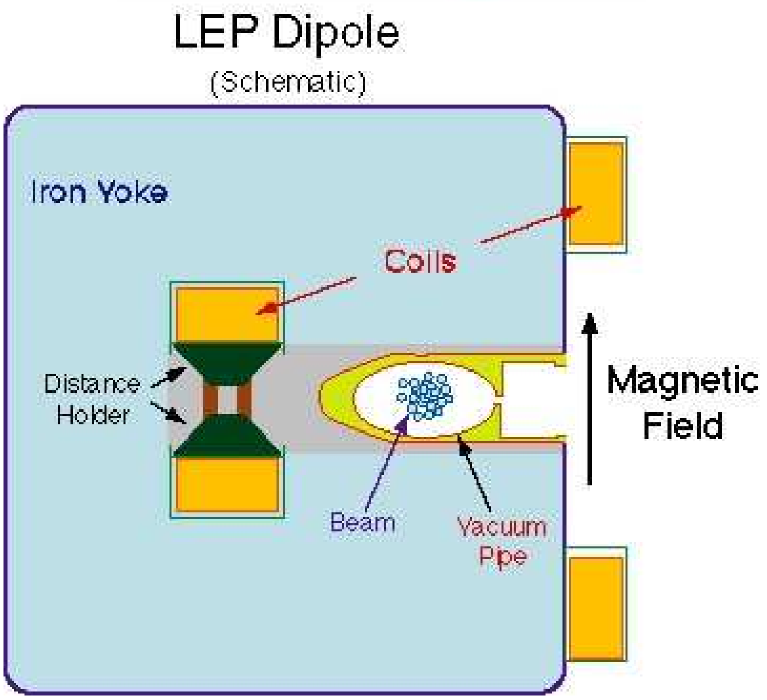


Aceleradores Lineales: E $\propto$ L acelerador

Campos Magnéticos

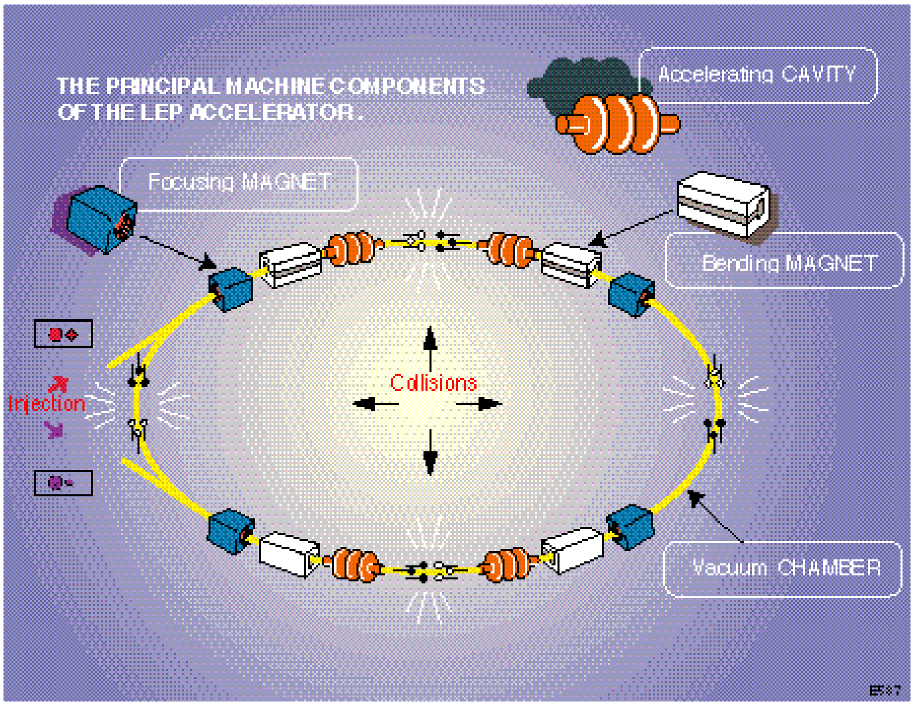
Imanes ($\bar{B}$) curvan trayectorias de partículas, consiguiendo energías finales mayores





Radiación Sincrotrón: Partículas cargadas aceleradas emiten radiación, perdiendo energía.

✦ Elementos de un acelerador



- Cavidades Aceleradoras
  Cu, Superconductoras Nb (a -270°C)
- Dipolos
  Imanes trayectoria curva
- Cuadrupolos, Sextupolos
  Focalizan y empaquetan el haz
- Tubo del Haz
  Vacío mejor que espacio exterior
- Túnel
  Gran obra de ingeniería civil

Ejemplos

En CERN (Laboratorio Europeo de Física de Partículas)

- PS (Proton Synchrotron)
  1959, d= 200 m, E=28 GeV
- SPS (Super Proton Synchrotron)
  1970, d= 6 km, E=450 GeV
- LEP (Large Electron Positron Collider)
  1989, d= 27 km, E=200 GeV

A pesar de gran tamaño, aceleradores son instrumentos muy precisos y sensibles

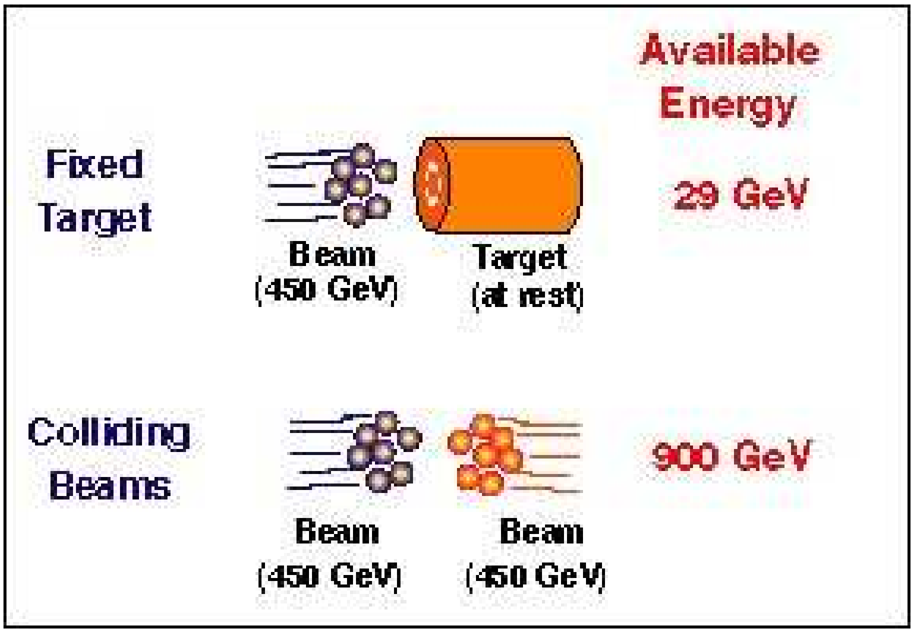
Experimentos

✦ Experimentos de blanco fijo

Haz de partículas choca sobre blanco en reposo. Gran estadística de sucesos, a costa de menor energía disponible en la colisión.

✦ Experimentos con colisión de haces

Dos haces de partículas viajando en sentido opuesto chocan frente a frente. Energía disponible es suma de energías de los haces, pero número de sucesos es menor.



Detectores

Los productos de la colisión se estudian cubriendo zona de interacción con detectores, midiendo $\bar{p}$, E, q, $\bar{\beta}$ de partículas

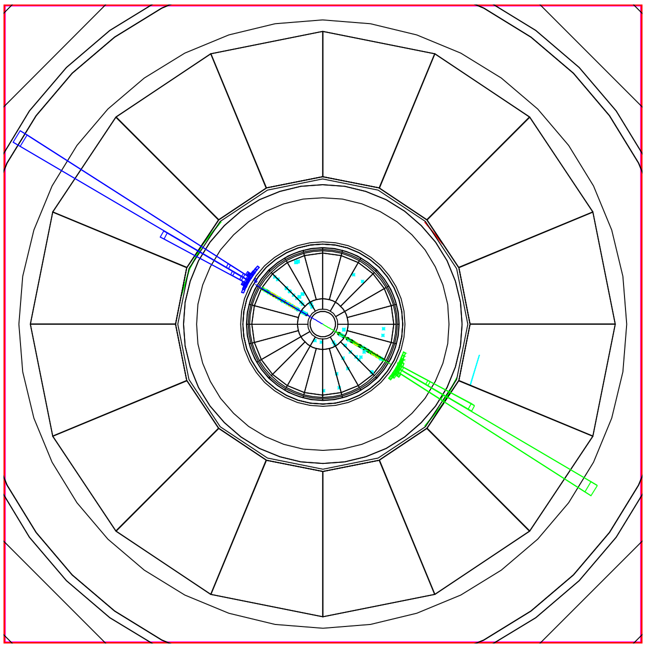
Principios de detección

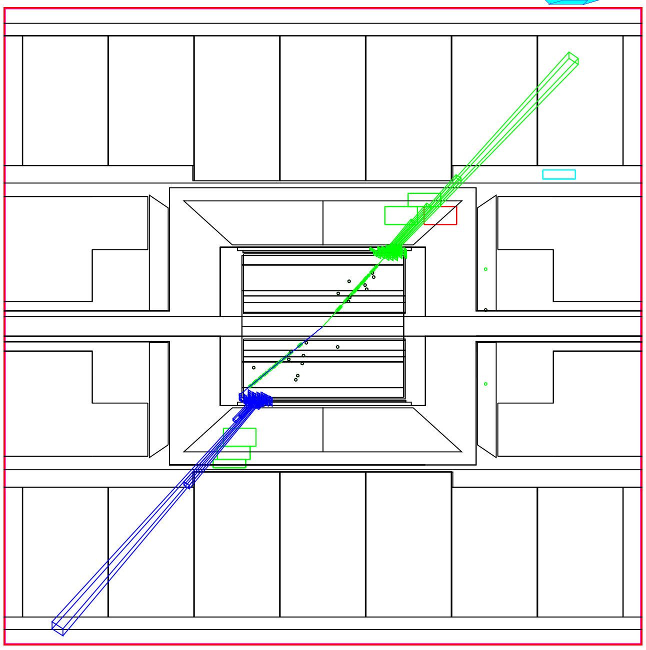
- Trazas (Cámara Burbujas, TPC, Silicio) en $\bar{B}$: $\bar{p}$, Q
- Energía depositada (Calorímetros electromagnéticos o hadrónicos): E
- Centelleo (Plásticos, TOF): β, veto
- Čerenkov (de tipo umbral, RICH): Q, β

Combinando medidas de momento, energía, carga y velocidad, junto con leyes de conservación que rigen cada interacción, se reconstruye el suceso.

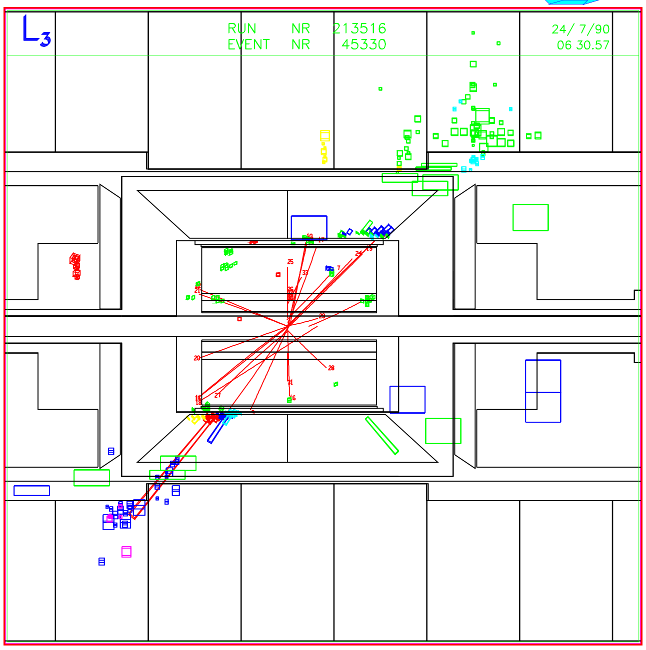
Calibraciones muy precisas de los detectores.

$e^+e^- \to e^+e^-$ Suceso Bhabha

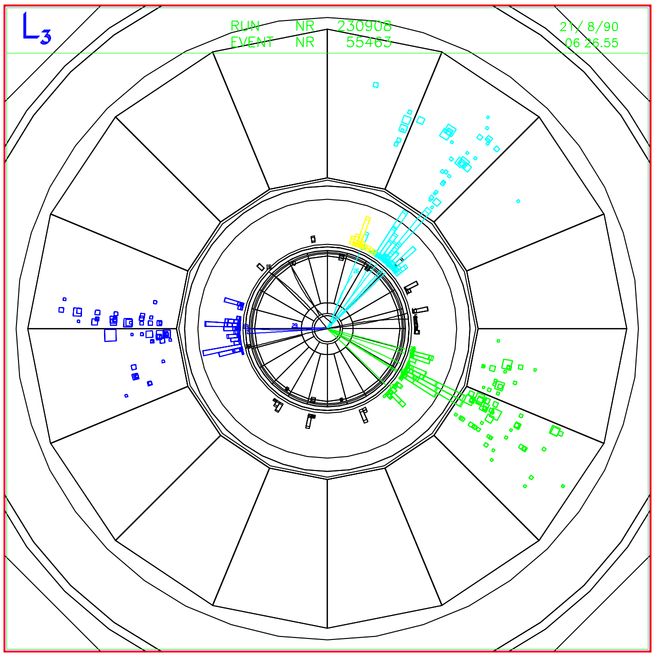




$e^+e^- \to q\bar{q}$ Suceso Hadrónico 2 jets



$e^+e^- \to q\bar{q}g$ Suceso Hadrónico 3 jets



Algunos Resultados de Física recientes

Determinación del número de familias de neutrinos (generaciones de partículas)

- Estudio del proceso $e^+e^- \to \nu\nu\gamma$

- Búsqueda de sucesos donde sólo exista un depósito de energía en el calorímetro electromagnético y el resto de los detectores vacíos.

- Contamos cuántos sucesos tenemos (sección eficaz, σ) para cada energía del haz ($\sqrt{s}$). Histograma.

- Por otro lado simulamos estos sucesos con un generador Montecarlo, ya que conocemos las leyes de Física e interacciones que gobiernan este proceso. Parámetro libre : N_ν.

- Simulamos el proceso con N_ν = 2, 3, 4. y ajustamos los datos experimentales con los simulados, siendo el parámetro N_ν

Los datos experimentales concuerdan con N_ν = 3

$$N_\nu = 3.14 \pm 0.24(stat) \pm 0.12(syst)$$

Tests de Modelo Estándard

extremadamente precisos

$$e^+e^- \rightarrow f^+f^- \quad (f = q, l, \nu)$$

		Resultados
QED	Modelo Glashow-Weinberg-Salam T. Electrodébil (α,m$_Z$, m$_W$,m$_H$,m$_f$)	Z^0 (m$_Z$ = 91.1867 $\pm$ 0.0020 GeV, Br) W$^\pm$ (m$_W$ = 80.427 $\pm$ 0.075 GeV, Br) top (m$_t$ = 173.8 $\pm$ 3.5 $\pm$ 3.9 GeV) N. familias ν (generaciones)
QCD	Cromodinámica Cuántica (α_s)	α_s (running) Estructura suceso hadrónico (2,3,4 jets) manifestación g, gluon self-coupling

Cuestiones actuales en Física de Partículas

Origen de la masa

Según teorías gauge más sencillas las partículas elementales no tienen masa (no existe término masa en el Lagrangiano). Experiencia nos demuestra que sí.

Se hace necesario introducir un nuevo campo (una nueva partículas asociada), Higgs.

La interacción del Higgs con las partículas origina la masa de éstas. Cuanto más fuerte es la interacción, más masa adquiere la partícula.

Experimentos en LEP y Fermilab buscan actualmente el Higgs, hasta ahora sin éxito ($\mathrm{M}_{Higgs} \geq 107$ GeV).

El próximo acelerador del CERN (Large Hadron Collider, LHC, 2006) tiene como principal objetivo su búsqueda

Quark-Gluon Plasma (QGP)

QGP es un nuevo estado de la materia que se cree existió 10^{-6}s tras el Big Bang, en el que los quarks y gluones no estan confinados en hadrones, sino que se mueven libremente en una 'sopa' o plasma.

Se cree que hoy en día existe QGP en el interior de las estrellas de neutrones, donde la densidad de materia y energía es muy elevada.

Para estudiar este estado en el laboratorio se aceleran haces de iones O (1986), S (1990), Pb (1998), que inciden sobre blancos de materiales pesados (Au, Pb, W) en reposo.

El CERN anunció (Feb. 2000) que los resultados combinados de diversos experimentos (CERN) muestran evidencia de la producción de QGP en las colisiones llevadas a cabo en 1998 (Pb-A), donde $\epsilon \sim 20\epsilon_{had}$, T $\sim 10^5$ T$_{Sol}$

Oscilación y masa de neutrinos

Neutrinos (ν_e, ν_μ, ν_τ) apenas interaccionan (débil) con materia y tienen masa aparentemente nula.

Medidas de flujos de ν solares indican que a la Tierra llegan una pequeña parte de los ν emitidos por el Sol. Posible explicación: Oscilaciones $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$.

Si neutrinos oscilan $\Rightarrow$ $m_\nu \neq 0$. Esto tendría importantes implicaciones en Astrofísica, Física de Partículas, Cosmología.

Violación de CP

El operador CP (C: conjugación de carga, P: Paridad) no se conserva en interacciones débiles.

La desintegración de kaones (K^0_S, (K^0_L) viola CP. Este hecho puede explicar la aparente asimetría entre materia y antimateria.

En hadrones B la violación de CP es aún mayor.

Factorías de Φ y B tienen como objetivo estudio violación CP.

✧ Antimateria y materia oscura

El universo que hoy conocemos está formado por materia. Sin embargo, en el origen (Big Bang) debía existir simetría entre materia – antimateria. ¿ Qué ha ocurrido con la antimateria?.

Existen diversas hipótesis, como mundos de materia y antimateria hoy en día inconexos, violación del número bariónico (desintegración protón), violación de CP.

Midiendo velocidades de rotación de estrellas en galaxias se observa que 90% de la masa del universo es no visible. Conjunto de estrellas, galaxias, sistemas planetarios, etc sólo consisten en el 10 % del universo. ¿Dónde y qué tipo de materia es el 90 % restante?

Posibles candidatos son neutrinos (si $m_\nu \neq 0$), agujeros negros, partículas nuevas (supersimétricas de las ya existentes, gluinos, fotinos..).

Experimentos, básicamente de Astrofísica, estudian estas cuestiones con rayos cósmicos. Experimento AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) emplea técnicas de detectores en el espacio exterior.

✧ Más allá del Modelo Estándard (Supersimetría, Gran Unificación...)

Aplicaciones de Aceleradores

Investigación

- Física de Partículas y Astropartículas
- Radiación sincrotrón, en Geología (edad) y Química (estructura virus)
- Semiconductores: conocer posición de dopantes

Medicina

- Rayos X
- Radioterapia
- Positron Emission Tomography (PET)
- Bombardeo de canceres con haces de e^-, n, p
- Bisturís de haces láser para cirugía de precisión
- Bombardeo de canceres con haces de núcleos (C)
- Técnicas de imagen más sofisticadas que rayos X

Industria

- Esterilizar (equipo médico, comida...) irradiándolo con haces de e^-
- Circuitos integrados más pequeños
- Implantaciones con haces de iones (aviación, caderas artificiales
- Revelar contenido de vehículos, containers
- Fusión de átomos

Protección Medio Ambiente

- Convierte residuos radiactivos en elementos estables (Accelerator Transmutation of Waste, ATW)
- Amplificador de Energía
- Convierte gases tóxicos en fertilizantes bajo haz de e^-

Otros Laboratorios

- CERN (Ginebra, Suiza)
  http://public.web.cern.ch/Public/
- DESY (Hamburgo, Alemania)
  http://www.desy.de/
- SLAC (Standford, EEUU)
  http://heplibw3.slac.stanford.edu
- FermiLab (Chicago, EEUU)
  http://www.fnal.gov/directorate/public_affairs/public_affairs.html
- Brookhaven (Nueva York, EEUU)
  http://www.bnl.gov/

Becas:

Doctorado en CIEMAT: Casi anualmente, bien por Ministerio o directamente del CIEMAT.

Summer Student en Cern:

Doctoral o Technical Student en Cern:

http://cern.web.cern.ch/CERN/Divisions/PE/HRS/Recruitment/students.html