# A las puertas del acelerador LHC (Large Hadron Collider)



## **Begoña de la Cruz** CIEMAT-Madrid 3-Nov, 2009

F. C. Físicas (Univ. Complutense, Madrid), con motivo exposición P. Ginter "El CERN a través de los ojos de P. Ginter"



Ciemat Centro de investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

## En el corazón de Europa, en uno de los **MayOres** laboratorios del mundo...



## Se sitúa la más rápida y trepidante carrera...



2808 paquetes con 10<sup>11</sup> protones cada uno, corren en un anillo de 27 km de perímetro con el 99.999999% de la velocidad de la luz,

Colisionando unos contra otros 40,000,000 veces por segundo (40M Hz)

### En un espacio más Vacío que el espacio interestelar...



El vacío en el tubo del haz es mayor que en el espacio exterior. La presión (~10<sup>-11</sup> Pa) es 1/10 de la existente en la superficie lunar.

## En una de las regiones más frías del universo...



He líquido superfluido se mantiene a 1.9 K (-271.3 C), ligeramente más frío que el espacio interestelar, para refrigerar los imanes . Mayor planta de criogenia instalada en el mundo.

#### Donde ocurrirán algunas de las reacciones más **calientes** de nuestra galaxia...



Colisiones de partículas muy violentas, correspondientes a temperaturas 10<sup>9</sup> veces más altas que el centro del sol. Hablamos de unos 160,000,000,000,000,000 C



Entre todos los detectores se cuenta con 140 millones de canales de datos recibiendo información 40 millones de veces por segundo

#### ...y analizados por el sistema de computación más potente del mundo





Es decir 15,000,000 GB (15 PB) por año

Los detectores enviarán datos a un ritmo de 700 MB/sec.

Una pila de 20 km de CDs por año.

Esto es ~30,000 Enciclopedias Britannicas cada segundo!









- aportar los datos experimentales
- □ interpretar en el marco de modelos propuestos

encajar las piezas del puzzle de la materia y sus interacciones





## Aceleradores: herramientas en física de partículas

La física de partículas La astrofísica estudia la estudia la materia en sus materia en sus dimensiones dimensiones más ínfimas más grandes  $^{\text{m}}_{10}$  -15 10 -12 10 -9 10 -6 10 -3 10  $^{\text{m}}_{10}$   $^{\text{m}}_{10}$  3  $10 \ ^{6} \ 10 \ ^{9} \ 10 \ ^{12} \ 10 \ ^{15} \ 10 \ ^{18} \ 10 \ ^{21} \ \overset{\mathsf{m}}{10} \ ^{24}$ Telescopios ópticos y Aceleradores **Binoculares Microscopios** radiotelescopios y detectores

#### Se requieren distintos tipos de aparatos para explorar objetos de distintas dimensiones



# **Colisionadores de partículas**



Es importante estudiar la escala de energías del ~ TeV (hasta ahora ~cientos GeV).

Técnicamente colisionador e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> a TeV inviable (rad. sincrotrón).

Colisionador protón-protón con  $E_b=7$  TeV. También previsto colisiones Pb-Pb a  $E_b=2.75$  TeV.

Luminosidad = 10<sup>34</sup> partic/cm2·s . Nuevo reto tecnológico.

Energía de acelerador (E=2 E<sub>haz</sub>) está relacionada con:

- E ~1/ $\lambda$ , tamaño de objeto a investigar
- E=mc<sup>2</sup>, energía disponible para crear nuevas partículas
- E =KT, probar condiciones del universo primario (T>>>)



# Elementos de un acelerador

Cavidades aceleradoras Superconductoras Nb (a 4.5 K)

#### > Dipolos

Imanes superconductores, curvan trayectoria

Tubo del haz
 Vacío mejor que espacio exterior

Túnel Gran obra ingeniería civil





# **Túnel del LHC**

#### 27 km de circunferencia

100 m bajo tierra, 8 sectores independientes en criogenia y sistemas eléctricos y 8 enormes cavernas para albergar detectores (~50000 m<sup>3</sup>)



# Definición y mantenimiento órbitas





## **Optica del haz**

¥ V

~400 Imanes cuadrupolares (lentes magnéticas)



Los cuadrupolos focalizan en una coordenada (x) y desfocalizan en la otra (y)

Normalmente están organizados por parejas donde los elementos están girados 90 grados entre ellos

Los paquetes de partículas que pasan a través de ellos reducen sus dimensiones transversales pero aumentan su dimensión longitudinal.





## Interconexión de criodipolos





### **Cavidades aceleradoras**

Las partículas adquieren energía en las cavidades aceleradoras en cada ciclo de la radiofrecuencia que las alimenta.

Los paquetes de partículas se hacen más compactos. La partículas más retrasadas se aceleran mas mientras que las más adelantadas se aceleran menos.

Las pérdidas energéticas por radiación sincrotón se compensan en las cavidades de aceleración. E ~ 5 MV/m





## Cadena de sistemas de inyección y aceleración



# LHC es el más grande y potente "microscopio" en la historia de la Ciencia!

ALICE





**ATLAS** 



## **Colisiones de partículas en el LHC**



Antiproton



# Estructura del protón



El protón, de hecho, no está solamente formado por tres quarks (uud)

Realmente hay 3 quarks de valencia (uud) + un "mar" de gluones y parejas quark-antiquark virtuales de vida corta (10<sup>-23</sup>s), como fluctuaciones cuánticas del vacío

En LHC ocurrirán interacciones entre quarks de valencia, del mar y los gluones qq, qq, gg, gg, qg, qg





## **Interacciones protón-protón**



La mayor parte de cruces entre haces (paquetes) no dan lugar a colisiones (σ<sub>inelas</sub>= 60mb)

mayoría de colisiones son de bajo momento transferido (alto parametro impacto) entre quarks/gluones (partón) participantes

Colisiones "duras" (alto momento transferido) son donde se espera nuevas partículas y nueva física

□ Procesos de interés son muy raros → Selección estos sucesos (colisiones) → 1/10<sup>10</sup> (trigger)

Se crearán en colisión pp ~1000 partículas



## **Interacciones protón-protón**



En la colisión de alto momento transferido (*interesante*) la energía disponible no es  $E_{Total}=2E_b=7+7$  TeV, sino una parte de ésta, variable en cada colision, según fracción de momento de cada quark/gluón en protón

colisionadores hadrónicos son máquinas exploratorias de varias posibles energías incidentes

Cómo "vemos" estas partículas producidas en el estado final? Con los "ojos electrónicos": los Detectores.



## **Detección de partículas**

**Objetivo:** Identificar y medir magnitudes (energía, momento, carga eléctrica, trayectoria) de las partículas creadas.

Requisitos detectores de LHC

resistentes a radiación
rápidos (25ns)
finamente segmentados
capaces de identificar y
medir partículas individuales y
chorros –jets (quarks).



El diseño final y la tecnología decidida para los detectores viene dictada por los requisitos necesarios para medir con precisión los procesos físicos de interés, siempre dentro de los márgenes presupuestarios aprobados ( <sup>©</sup> )



#### Aprovechan la interacción de las partículas con la materia

- **Solo partículas estables ("larga vida") (p, n, e<sup>±</sup>, \mu^{\pm}, \pi^{\pm}, K<sup>±</sup>, \gamma,...)**
- aquéllas que interactúan con la materia (neutrinos,v, difícilmente)

#### **Tipos interacción**

➢ ionización del medio (part. cargadas) → trayectorias de part. (en campo B) → radio curvatura → momento (p), carga eléctrica

- > depósito de energía en un medio suficientemente denso (calorímetro) -> energía
- excitación del medio, emisión luz centelleo, Cerenkov





#### **Solenoide Superconductor**



En CMS, el mayor solenoide superconductor (13m largo, 6m diámetro interior) jamás construido.

Hilos de Niobio-Titanio (Nb-Ti) enfriados a -271°C llevan 20000 A para generar un campo magnético de 4 T – unas 100000 veces mayor que el terrestre.

**Objetivo:** Dotar al detector con un campo magnético para curvar las trayectorias de partículas cargadas



## **Detector central trayectorias de Si**



**Detector de Si muy finamente Segmentado (píxeles y tiras)** 

material

Registra la trayectoria de partículas cargadas, que permite medir su momento (muy buena resolución, ∆pt/pt ~1-2% a alto ángulo)

 $d_{xy}{\sim}10~\mu\text{m},\,d_z~{\sim}50~\mu\text{m}$ 

Similar a cámara digital 70 Megapixel tomando 40 millones fotos/s!

**Objetivo:** medir trayectorias & momenta de partículas cargadas



## **Calorímetro Electromagnético**



80000 cristales de PbWO<sub>4</sub> producen luz al paso de las partículas incidentes.

material

La cantidad de luz depende de la energía de la partícula.

~80% metal, pero transparente!

**Objetivo:** medir la energía de electrones, positrones y fotones



### **Calorímetro Hadrónico**



Varias capas de material denso (Cu, acero) entremezcladas con plásticos centelleadores ó fibras de cuarzo (material activo).

material

De armas a instrumentos científicos! Latón (Cu) para el calorímetro recuperado de los barcos de guerra rusos.

**Objetivo:** medir la energía de hadrones (protones, neutrones...



#### **Detectores de muones**



Diversos tipos de cámaras de muones, basados en ionizar un gas al paso del muón, que genera una nube de electrones marcando el camino seguido por él.

El área total cubierta por estos detectores en experimentos LHC es ~6000m<sup>2 -</sup> como campo fútbol!

**Objetivo:** Identificar muones y medir su momento



#### Detectores de muones: Cámaras de deriva

**CIEMAT responsable 25% cámaras de deriva de muones en experimento CMS:** 

- construcción
- **pruebas**
- instalación
- electrónica de lectura de datos
- alineamiento
- **calibración**
- análisis datos





#### Detectores de muones: Cámaras de deriva



Tecnológicas

Celda 42 x 13 x 2500 mm<sup>3</sup>, llena de gas Ar-CO<sub>2</sub> (85/15%), con campo eléctrico de ~ kV/cm para deriva de electrones en Tmax=380ns

1. Los átomos del gas en la celda se ionizan al paso de un muón cargado

#### Detectores de muones: Cámaras de deriva Tecnológica Tiras de aislante Celda 42 x 13 x 2500 mm<sup>3</sup>, Strips Hilo (ánodo) llena de gas Ar-CO<sub>2</sub> (85/15%), con campo eléctrico de Cátodo ~ kV/cm para deriva de 13 mm electrones en Tmax=380ns Proceso de detección Efield

- 1. Los átomos del gas en la celda se ionizan al paso de un muón cargado
- 2. Los electrones de la ionización viajan en el campo eléctrico hacia el ánodo con Vd=55  $\mu m/ns$
#### Detectores de muones: Cámaras de deriva Tiras de aislante Celda 42 x 13 x 2500 mm<sup>3</sup>, Strips Hilo (ánodo) llena de gas Ar-CO<sub>2</sub> (85/15%), con campo eléctrico de Cátodo ~ kV/cm para deriva de 13 mm electrones en Tmax=380ns Proceso de detección Efield Efield

- 1. Los átomos del gas en la celda se ionizan al paso de un muón cargado
- 2. Los electrones de la ionización viajan en el campo eléctrico hacia el ánodo con Vd=55  $\mu m/ns$
- 3. Cerca del ánodo existen amplificadores que amplifican la señal...

#### Detectores de muones: Cámaras de deriva Tiras de aislante Celda 42 x 13 x 2500 mm<sup>3</sup>, Strips Hilo (ánodo) llena de gas Ar-CO<sub>2</sub> (85/15%), con campo eléctrico de Cátodo ~ kV/cm para deriva de 13 mm electrones en Tmax=380ns Proceso de detección Efield Avalanch

- 1. Los átomos del gas en la celda se ionizan al paso de un muón cargado
- 2. Los electrones de la ionización viajan en el campo eléctrico hacia el ánodo con Vd=55  $\mu m/ns$
- 3. Cerca del ánodo existen amplificadores que amplifican la señal...
- 4. ...y se produce una avalancha que se detecta en el ánodo y se transporta a las tarjetas de lectura



# En el LHC hay 4 grandes detectores

**CMS** Propósito general

#### **LHCb** Física del quark b Violación CP

ALICE Plasma de quarks y gluones

### **ATLAS** Propósito general





### A Large Ion Collider Experiment ALICE







### A Toroidal LHC ApparatuS: ATLAS

AT LAS





### **A Toroidal LHC ApparatuS: ATLAS**

















# El programa científico del LHC



### Programa científico del LHC

#### Tremendamente amplio y variado



√s (TeV)



### Produccion de bosones W, Z



 $m_{Z}$ =91.188 ±0.002 GeV/c<sup>2</sup>



**W**, Z se reconstruyen a partir productos desintegración

□ Decaen sobretodo en quarks (hadrones), pero señal más limpia entre los leptones (e,µ, $\tau$ ), menos procesos que contaminan: Br(Z→II)~10%, Br(W →I $\tau$ v) ~30%

Selección: 1,2 leptones de gran pt, aislado (sin apenas partículas en su entorno)

Otros procesos físicos pueden parecerse a señal buscada

**D** Medir sección eficaz  $\sigma$  = Nevts/ $\varepsilon$ ·L y comparar con cálculo teórico

Igual se hará con todos los procesos físicos conocidos y descritos por el SM (quark top, QCD, ....)





□ Entender mecanismo ruptura espontánea de simetría EWK y origen masa partículas → búsqueda de Higgs → Naturaleza (SM, SUSY, inexistente?)

□ La zona de masas invariantes donde se espera, preferida por calculos teóricos que engloban y ajustan las últimas y más precisas medidas (LEP, SLC, Tevatron...) está entre 115-160 GeV (m<sub>H</sub><157 GeV/c<sup>2</sup> al 95% CL).

□ La búsqueda experimental ha eliminado  $m_H < 114 \text{ GeV/c}^2$  (LEP2-2000) y 160 <  $m_H < 170 \text{ GeV/c}^2$  (Tevatron-2009) para Higgs predicho por SM.

□ Si se descubren boson(es) Higgs, sus propiedades masa, anchura, spin, acoplamientos... se medirán en experimentos LHC.





### Búsqueda bosón Higgs

#### **Producción Higgs (SM) en LHC**



#### **Desintegración Higgs (SM) en LHC**

□ Modos más "limpios": H → WW, ZZ→ 2l 2v ó 4l (l=e,  $\mu$ )

□  $H \rightarrow \gamma \gamma$ , si m<sub>H</sub>~130 GeV/c<sup>2</sup>, de pequeña probabilidad....pero con calorímetro de gran resolución energética podría observarse (Br = 10<sup>-3</sup>)

Canales leptones+jets (qq)





### Búsqueda bosón Higgs: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4I$



#### Selección:

4 leptones gran momento transverso (pt)

#### Aislados

**D** Masa reconstruida 2 leptones compatible  $m_Z \sim 91 \text{ GeV}$ 

Procesos que enmascaran la señal (contaminación)  $\square pp \rightarrow ZZ \rightarrow 4l, pp \rightarrow Zbb, pp \rightarrow tt$ 







Señal tras 1 año de funcionamiento LHC



# Supersimetría

Supersimetría es una nueva simetría postulada en la naturaleza, según la cual toda partícula (SM) tiene su compañera supersimétrica, con mismos n. cuánticos, salvo spin s→s+1/2

Es simetría entre fermiones (s semientero) y bosones (s entero)

SUSY (fermión) = bosón SUSY (bosón) = fermión

Simetría entre partíc materia

partíc.interacciones

 Neutralino (χ<sup>0</sup>), partícula

 supersimétrica más estable, propuesta

 en algunos modelos como

 constituyente Materia Oscura (Dark

 Matter)

 □apenas interacciona

 □→ escapa del detector

 □→ gran cantidad energía

 faltante en suceso





# Supersimetría

.....

p

Si existe, producción copiosa en LHC

Dominada por producción squarks, gluinos (interaccción fuerte)

 Su desintegración es larga cascada hasta partícula más ligera, estable (LSP): Ej neutralino, χ<sub>1</sub><sup>0</sup>

Búsquedas principales:
 multi jets + missing E<sub>T</sub> + leptones

Principal "contaminación":
 QCD dijets, top-pairs, W/Z + jets





- Algunos modelos teóricos predicen la existencia de nuevos bosones de gauge, similares (hermanos más pesados) a W y Z (de ahí W', Z') que decaerían a dileptones y/o neutrinos. Se comportarían con iguales acoplamientos que Z y W.
- Se producirían en canal s de colisiones quark-antiquark y se observarían como resonancias de anchura 1% de su masa en espectro de dileptones.
- Tevatron ya ha excluido existencia de estos bosones con M<800 GeV. LHC (CMS-ATLAS) permitirá buscar bosones de masa hasta varios TeV





# **Dimensiones extra**



(G(2D) ~1/r, G(3D)~1/r<sup>2</sup>, ...G(nD) ~1/r<sup>n-1</sup>)



# Violación de CP Experimento dedicado: LHCb

- En inicio universo debía existir igual cantidad de materia y antimateria, que debiera haberse aniquilado entre sí. Sin embargo, universo hoy es de materia.
- Existe alguna efecto físico que diferencia materia de antimateria, creando una descompensación entre ambos: violación de CP
- C: operador Cambio Carga → carga, hipercarga, n. cuánticos (extrañeza...)
   P: operador Paridad → helicidad (proyección spin sobre dirección momento)
   CP: cambia partícula helicidad negativa → antipartícula helicidad positiva.
- Ya se ha obervado experimentalmente violación CP en desintegración de kaones y mesones B, pero no es suficiente para explicar exceso de materia sobre antimateria. Qué más hay? LHCb está específicamente diseñado para ello.
- LHC será una "factoria" de hadrones pesados con quarks b, c . En algunas de sus desintegraciones se sabe que existe violación de CP o son prohibidas. LHCb estudiará tales procesos con gran precisión, como B<sub>s</sub> → µ<sup>+</sup>µ<sup>-</sup>
   BR(Bs →µµ) = (3.35 ± 0.32)x10-9 según SM
   BR(Bs →µµ) < 3.6x10-8 Límite experimental CDF (2fb-1)</li>



## Quark Gluon Plasma Experimento dedicado: ALICE

En inicio de universo (10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup> s tras Big Bang) éste consistía en "sopa de quarks y gluones", libres, no confinados en hadrones, llamada Quarks Gluon Plasma (QGP).

Condiciones de Temperatura (T > 10<sup>12</sup> K) y densidades de materia y energía (30 GeV/fm<sup>3</sup>) esperadas, muy altas.

El programa de colisiones de iones PbPb del LHC pretende estudiar la transición de fase de nuestra materia a este nuevo estado, QGP





### Puesta a punto de detectores. Comienzo del LHC

Estadística de datos acumulada necesaria para abordar diversos temas es variable  $(L_{int}/ano \sim 100 fb^{-1})$  una vez acelerador en funcionamiento





# **Detección muones cósmicos**



Naturaleza nos brinda muones cósmicos (incontrolados) para probar los detectores

Desde ~2006-7 se están calibrando, alineando, analizando datos

Desventaja: no provienen punto interacción central



... y en ATLAS!



Nuestros detectores funcionan con la resolución y eficiencias esperados...estamos listos para el LHC!!

Muones cósmicos detectados en CMS



# Viaje de los datos...



Análisis de colisión con ordenadores



# LHC Computing GRID

#### El LHC generará una cantidad ingente de datos, que deberán ser procesados y analizados de manera distribuida



1 Exaoctete (1EB) = 1000 PB Producción mundial anual de información Cualquier físico desde su PC tiene acceso a miles de ordenadores y petabytes de datos distribuidos por todo el mundo de modo transparente



# **Spin-off: Aplicaciones aceleradores y detectores**

#### Qué tiene que ver la Física de Partículas con nuestro día a día?





# **Spin-off: Aplicaciones aceleradores y detectores**

#### Investigación

Física de partículas y Astrofísica del Espacio Radiación sincrotrón en Geología (edad) y Química (estructura virus) Semiconductores

#### **Medicina**

Rayos X, Radioterapia, Tomografías (PET), Bombardeo de cáncer con haces de partículas Bisturís de haces láser (en desarrollo) Técnicas de imagen más sofisticadas que Rayos X

#### Industria

Esterilizar con haces e<sup>-</sup> (equipo médico, comida) Circuitos integrados más pequeños Implantaciones con haces de iones (aviones, caderas artificiales) Revelar contenido vehículos, containers...

#### Protección medio ambiente

Convertir residuos radiactivos en elementos estables



# Actividades del GAE del CIEMAT

- El grupo de Física de Altas Energías del CIEMAT lleva varias décadas participando en colaboraciones internacionales
  - Construcción de partes de los detectores
  - Análisis de datos
  - **Software**
- Actualmente participa en los experimentos
  - CMS en LHC (CERN, Ginebra, Suiza)
  - CDF en Tevatron (FNAL, Chicago, EEUU)
  - > AMS en International Space Station
  - > Double Chooz (Chooz, Francia) y NEXT: Neutrino physics
  - FAST en PSI (Villigen, Suiza)
  - DES (Cerro Tololo, Chile)y PAU: Cosmología



# ¿Qué ofrece el CIEMAT en el campo de física de partículas?

- Formar parte de un <u>centro de investigación de prestigio y</u> <u>reconocimiento internacional</u>
- Participar en <u>experimentos punteros</u> que pueden responder a las grandes incógnitas de la física de partículas
- Becas de doctorado de 4 años (Ciemat, Ministerio Ciencia e Innovación)
- Permite una formación tanto a <u>nivel hardware como</u> <u>software y análisis de datos</u> (a elección del estudiante)
- Posibilidades de viajar y conocer otros grupos de investigación
- Posibilidades de continuar una carrera científica

# En conclusión,...

 Buscamos respuestas a las preguntas fundamentales sobre el universo.

Nuestras necesidades en aceleradores y detectores hacen que desarrollemos tecnologías mas allá de los límites actuales.

Colaboración entre las naciones a través de la ciencia.

Estamos listos para dejarnos sorprender por el LHC!!











These are related quantities In particle physics the unit of energy is the electron volt. 1 electron volt (eV) = Energy gained by an electron in passing through a voltage difference of 1 V

E=mc <sup>2</sup>	c=3.10 <sup>8</sup> r	n/s	speed of light
E=kT	k=10 <sup>-4</sup> eV	/ K <sup>-1</sup>	Boltzmann's constant
E=hc/λ	h=4.10-1	5 eV s	Planck's constant
Mass of electro	on .	0.5 million eV (	MeV)
Mass of proton		1 Giga eV (Ge\	/)

1 eV ~ 10,000 K 1 GeV ~ 1 femtometre (fm) = 10<sup>-15</sup>m

General Relativity depends on c and G (Newton's constant), QM depends on  $\hbar$ . Natural unit of length is given by is called Planck length ~ 10<sup>-35</sup> m

$$\sqrt{\hbar G/c^3}$$

T. Virdee, ECIS, The Hague, Nov 01



### **Agujeros Negros: Peligrosos en LHC?**

### **Rayos Cósmicos**



El LHC colisiona partículas frente a frente con una energía total de 14 TeV, lo cual corresponde a colisiones de 10<sup>17</sup> eV sobre un blanco fijo.

Día tras día los rayos cósmicos bombardean la superficie de la tierra y su atmósfera con un espectro variado de energías, hasta 10<sup>20</sup> eV.

Se estima que unos 3x10<sup>22</sup> rayos cósmicos con energías por encima de 10<sup>17</sup> eV han chocado con la tierra desde que ésta se formó.

Resulta que el funcionamiento del LHC durante 10 años, ya se ha estado repitiendo millones de veces en el sol!!


Aunque pudieran formarse agujeros negros microscópicos en el LHC, estudios y simulaciones rigurosas predicen la evaporación instantánea (10-43s?) de tales agujeros negros, generando cascadas de partículas.

No hay tiempo para acumular materia.





### **Incidente LHC 19 Septiembre 2008**

19 sept 2008, tras excelentes inicios con primeras inyecciones de haces, hubo incidente debido mala conexión eléctrica (soldadura), en tramo final de subida de corriente de imanes de S34. 2/3 de los 600 MJ almacenados se disiparon (400 MJ).

Una resistencia demasiado elevada (0.3 nohmios a 220 nohmios)

2.4 kg Cu se funden con 1MJ

6t de He se liberaron (parte se recuperaron posteriormente).

**39 dipolos y 14 cuadrupolos sacados, arreglados, reinstalados.** 

Hay 100000 de esas soldaduras en LHC; muchas se han revisado con rayos X, y ultrasonidos, se han implementado medidas de protección de problemas en resistencia en la unión entre el cable superconductor y el Cu, a causa de discontinuidades.

De momento se comenzará a energías más bajas que las nominales de 7Tev por haz (3- 3.5 TeV por haz). Incluso a finales de 2009 la energía será de 1.1 TeV por haz.









### **Incidente LHC 19 Septiembre 2008**



#### Ciemat

#### Clasificación de partículas elementales



Quarks: son constituyentes de otras partículas (p,n), siempre en pares o tripletes.

Tienen carga eléctrica fraccionaria (±1/3, ±2/3).

Leptones: no se asocian, siempre aparecen individualmente.

e,  $\mu$ ,  $\tau$  tienen carga eléctrica ±1. Neutrinos,  $\nu$ , carga eléctrica 0.

Cada generación tiene mayor masa que la anterior



Ciemat

Toda partícula tiene su antipartícula, de igual masa pero números cuánticos opuestos

Ej. electrón, e<sup>-</sup> :  $q(e^{-}) = -1$ , spin = -1/2, m(e<sup>-</sup>) =  $9.1 \times 10^{-28}$  gr. positrón, e<sup>+</sup> :  $q(e^{+}) = +1$ , spin = +1/2, m(e<sup>+</sup>) =  $9.1 \times 10^{-28}$  gr.

# Interacciones entre partículas

Se produce por el intercambio de una partícula mediadora

4 tipos de fuerzas básicas:

fuerte, débil, electromagnética y gravitatoria



	THE FORCES IN	NATURE	
ТҮРЕ	INTENSITY OF FORCES (DECREASING ORDER)	BINDING PARTICLE (FIELD QUANTUM)	OCCURS IN:
STRONG NUCLEAR FORCE	~1	GLUONS (NO MASS)	ATOMIC NUCLEUS
ELECTRO-MAGNETIC FORCE	~ 1/1000	PHOTON (NO MASS)	ATOMIC SHELL ELECTROTECHNIQUE
WEAK NUCLEAR FORCE	~ 1/100000	BOSONS Z°,W <sup>+</sup> ,W <sup>-</sup> (HEAVY)	RADIOACTIVE BETA DESINTEGRATION
GRAVITATION	~ 10 <sup>-38</sup>	GRAVITON ?	HEAVENLY BODIES
THE EXCHAN	GE OF PARTICLES IS RE	ESPONSIBLE FOR THE	E FORCES

# Modelo Estándar de Partículas Elementales



#### Teoría matemática gauge con lagrangianos que incorpora SU3xSU2xU(1) [QCD⊕EWK]

Probada con precisión hasta valores de 10-<sup>11</sup>, pero aun así, teoría efectiva de otra más general. Describe leyes fundamentales de la naturaleza en términos de unos cuantos parámetros y predice valores algunas magnitudes con precisiones de hasta 10<sup>-11</sup>.

Sin embargo, pueden existir nuevas simetrías, nuevas partículas que nos expliquen origen de la masa, unifiquen la gravedad con el resto de interacciones y origen de Materia oscura y Energia oscura (75% del universo actual).

Y de todo esto hay indicios que la zona de E=1TeV es crucial



## Algunos laboratorios en el mundo

CERN (Ginebra, Suiza) http://public. web.cern.ch/public	Fer http
LHC	DES
CMS	http
ATLAS	SLA
ALICE	http
LHCb	Bro

Fermilab (Chicago, EEUU) http://www.fnal.gov/ DESY (Hamburgo, Alemania) http://www.desy.de/html/home

SLAC (Standforf, EEUU) http://www.slac.standford.edu/

Brookhaven (Nueva York, EEUU) http://www.bnl.gov/world/ Construyendo las camaras de deriva (DT) en el Clemat





