

# 10<sup>-7</sup> m 10<sup>-9</sup> m 10<sup>-10</sup> m Atomo Núcleo 10<sup>-16</sup> m Menor que 10<sup>-18</sup> m Quark



Portada: Una vista aérea del campus de Cornell con un bosquejo del acelerador superimpuesto. El complejo del acelerador se encuentra ubicado 40 pies (aproximadamente 12 m) debajo de la pista atlética.

## El Alcance de la Ciencia

La idea de que toda la materia esta compuesta de bloques fundamentales se originó hace más o menos 2500 años con los antiquos filósofos Griegos quienes postularon la existencia de los átomos. Al principio de los años 1900, los estudios indicaron que los mismos atómos estaban compuestos por unidades aún más pequeñas, tal como los electrones y los protones. Para mediados del siglo veinte, nuevos instrumentos más poderosos llamados aceleradores de particulas dieron evidencia directa de estas y otras partículas elementales. Versiones mejoradas de estas tremendas máquinas, incluyendo la localizada en el Laboratorio Wilson de la Universidad de Cornell, juegan hoy un rol significativo en la investigación actual de la estructura de la materia. El Laboratorio Wilson es una de las diez facilidades de aceleradores más importantes en el mundo de hoy. Sin embargo, el laboratorio es único entre todas estas facilidades en cuanto a la función del acelerador que es usado tanto como fuente de partículas sub-atómicas como también una fuente de uno de los haces más intenso de rayos-x disponibles en el mundo.

#### CLEO y CHESS

El Laboratorio Wilson, apoyado por la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF), abarca realmente varias unidades operacionales: Un complejo de acelerador que incluye El Anillo de Almacenamiento de Cornell ("The Cornell Electron Storage Ring" (CESR)), el detector (CLEO); y el Syncrotron de Altas Energías de Cornell ("Cornell High Energy Synchrotron Source" (CHESS)). Las partículas sub-atómicas, producidas por colisiones de electrones y positrones (electrones de anti-materia), son estudiados por una colaboración multi-institucional que usa el detector CLEO e investiga física de partículas elementales - el estudio de los bloques básicos de la materia. Los rayos-x, que son el producto de los electrones y positrones en circulación en el acelerador, son usados en el laboratorio CHESS para investigar los detalles de la estructura atómica de sólidos y liquidos en sistemas biológicos y no-biológicos. La investigación llevada a cabo en CLEO y CHESS está al frente de estos campos científicos.

## ● El Alcance de la Escala

(Desde lo más grande a lo más pequeño)

El aspecto más notable de estas investigaciones es que mientras estas están directamente interesadas en examinar la estructura molecular, atómica y sub-atómica de la materia, estan poseen implicaciones que se extienden al estudio del universo. El trabajo hecho en CLEO involucra la examinación de los bloques más pequeños de la materia - las partículas fundamentales - con la meta de explicar el origen y la historia de universo. La investigación en CHESS se hace a nivel molecular y atómico con el objetivo inmediato de entender la estructura del mundo material. De esta forma, este conocimiento, contribuye al progreso en campos como la medicina, la quimica, la biología y la ciencia de materiales.

# **CLEO - La Física**

#### Preguntas de Materia

Los problemas tratados por los investigadores de CLEO son de interés a la composición de la materia a nivel subatómico y lo que ésta estructura puede revelarnos sobre la naturaleza del universo. La mejor teoría hasta el momento es conocida como el "Modelo Estándar". Esta teoría es consistente con todo el conocimiento adquirido al presente aunque sabemos que no es completa. La misma está basada en la idea de que toda la materia está compuesta de dos diferentes tipos de partículas llamadas quarks y leptones, de los cuales cada una de ellas tiene seis miembros. El conocido electrón es un leptón. Los protones y neutrones, dos constituyentes del núcleo, se componen de dos quarks mas livianos, up y down. Los otros quarks son conocidos como charm, strange, top y bottom. Sus funciones se encuentran entre los misterios que la física de altas energías trata de resolver.

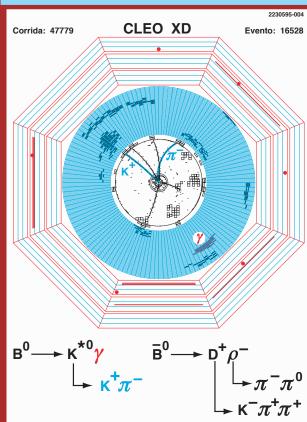
#### Una Complicación Adicional

De interés especial es el hecho de que los quarks no se pueden ver por si solos. Siempre están en combinación con otros quarks. Por ejemplo, el protón se forma de una combinación de tres quarks (uud). Combinaciones de un quark y un anti-quark forman una partícula menos conocida llamada mesón. Pareciera que la naturaleza lanzó una barrera extra en nuestra investigación. No podemos estudiar los quarks directamente, solo podemos recopilar información acerca de estos por medio de estudios indirectos de las partículas que los componen.

# Por qué Existimos?(Dónde quedó toda la anti-materia?)

Otra pregunta que los cientificos en CLEO tratan de contestar es la desaparición de la anti-materia. Al principio del universo, después de la gran explosión ("Big Bang"), se asume que había cantidades iguales de materia y antimateria. A donde se fué la anti-materia?. Se ha sugerido que el entendimiento de las propiedades de uno de estos quarks - el "bottom" o "b-quark" podría ayudar a resolver este misterio. Durante los últimos veinte años, la investigación de CLEO ha otorgado la mayoría del conocimiento del guark b en el mundo. El mesón B es la partícula mas liviana que contiene el quark b. Actualmente, estudiar el mesón B es el meior método que permite encontrar información acerca del quark b. Para hacer las cosas más complicadas, el meson B vive por un corto tiempo antes de descomponerse en otras partículas que son las que se pueden observar. Una reconstrucción computarizada de un evento se puede observar a la derecha.

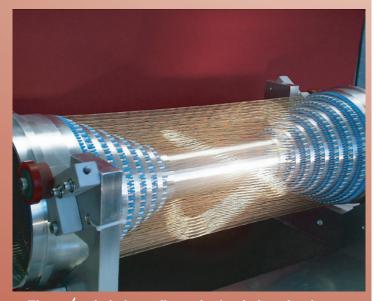




Un ejemplo de un decaimiento de una partícula y una antiparticula. En este evento grabado, um meson B $^0$  y su compañero la anti-partícula B $^0$  son observados en un modo de decaimiento muy raro. Las partículas etiquetadas com  $\mathbf{k}^+$  y  $\pi^-$  son mesomes que resultaron de el decaimiento del mesón B. Estudiando estos decaimientos raros, podemos obtener intuición de como la antimateria desapareció en el comienzo del universo.

#### **CLEO III** Solenoid Coil Barrel RICH Drift Chamber ZD. Detector SC Quadrupole Pvlon Endcap Quadrupoles Rare Earth Quadrupole Magnet **Barrel Muon** Chambers

Una vista lateral de el detector CLEO



El patrón de la luz reflectada desde las alambres en el detector ZD muestra que estas estan montadas en dos ángulos "stereos" diferentes. Esto permite un reconstrucción tri-dimensional complete de la trayectoria de una particula.



Una vista de lado de la Cámara de Deriva Principal durante su reconstrucción. La estructura de apoyo es removida antes de su inserción en CLEO.

## **CLEO - El Detector**

#### Propósito y Método

Cuando un electrón y un positrón chocan, un pequeño "Big Bang" resulta de esta aniquilación produciendo un rocio de dos a treinta partículas volando en todas direcciones. Estas partículas son rastreadas, registradas, y medidas por CLEO. De esta información recopilada los científicos reconstruyen los detalles de la aniquilación. Como estas partículas cargadas son muy pequeñas para ser observadas aún con un microscopio muy poderoso, la mayoría son detectadas por el hecho de que pasan por ciertos materiales, interaccionan con los átomos y dejan huellas en su camino. Las partículas causan que la materia emita luz o produzca carga eléctrica proveniente de los electrones sacados de sus átomos encontrados a lo largo de su trayectoria (esto es concido como ionización). Luego los detectores registran la luz o la ionización producida. CLEO esta construido con la ventaja de poder registrar ambos efectos. Partículas neutrales también pueden ser detectadas al hacerlas interaccionar con esta materia densa (ver abajo calorímetro de Cristal).

#### Los Componentes

CLEO consiste de un conjunto de cilindros concéntricos con su eje principal a lo largo de la línea de radiación. Las dimensiones externas del detector son aproximadamente 20 pies por cada lado. Está compuesto de cerca de 1,000,000 de tonelades de hierro y más de 150,000 elementos de detección individuales. Un campo magnético muy fuerte penetra la región central, la cual es aproximadamente 10 pies en diámetro y 11 pies de largo. Este campo es creado por un imán super-conductor mantenido a temperatura de unos pocos grados sobre el zero absoluto (-460 F). Este campo magnético causa que la trayectoria de las partículas cargadas se desvien en forma circular. El grado de la curvatura es una medida del ímpetu de la partícula y la dirección de ésta (a favor de las manecillas del reloj o en contra) es una medida de la carga eléctrica (positiva o negativa) de la partícula. Los diferentes componentes del detector CLEO son descritos a continuacion.

El Sistema de Rastreo está compuesto de dos diferentes cámaras de deriva "Drift Chambers": la Cámara ZD y la Cámara Principal. Las dos miden posiciones de partículas cargadas a lo largo de su trayectoria curvada a distancias bien definidas del punto de interacción que es donde los electrones y positrones colisionan. Estos son cilindros cerrados que contienen una mezla de gases de Helio y Propano. Dos tipos de alambres, "field y sense", se alargan entre los extremos del cilindro. Electrones, producidos por partículas cargadas ionizan el gas, se desvian rumbo a los alambres "sense" en el campo eléctrico creado por diferencia de voltage entre estos alambres. Al llegar a los alambres "sense", estos crean un pulso eléctrico. Mediante el uso de los patrones de los alambres "sense" con los pulsos eléctricos característicos podemos reconstruir la ruta de una partícula y por consiguiente su curvatura. El tiempo de estos pulsos se usa para medir la precisión de la posición a 1/10 de un milímetro.

La Cámara ZD es la cámara más interna del detector. Esta tiene seis capas radiales con un total de 1300 alambres, 300 de los cuales son alambres "sense", cubriendo un espacio de 5 cm a 11 cm desde el punto de interacción. Esta provee la mejor medida de la posición más cercana donde es producida una partícula.

La Cámara Principal tiene 47 capas con aproximadamente 40,000 alambres, 10,000 de los cuales son alambres "sense",cubriendo un espacio de 13 cm a 79 cm del punto de interacción. Este volumen tan grande es necesario para reconstruir todas aquellas partículas que resultan de la colisión de un electrón con un positrón. La combinación de información de esta cámara con aquella de ZD deja una medida excelente del impetu de la partícula.

El Detector RICH ("Ring Imaging Cherenkov") se usa para la identificación de partículas y es sensible a la luz de la onda de choque que produce una partícula cuando se mueve a velocidades más rápidas que la velocidad de la luz en ese material. Esta luz es conocida como Radiación Cherenkov y es análoga a la onda de choque sónica producida por un avión jet al viajar más rápido que la velocidad del sonida en el aire. Este tipo de radiación es emitida en un patrón conico y puede ser utilizada para identificar diferentes tipos de partículas en base al ángulo del cono de la luz emitida.

El Calorímetro de Cristal, tambíen se usa para la identificación de partículas, en partícular, electrones y rayos neutrales gamma (fotones). Esta está compuesto de 7,800 cristales centelladores de "cesium-iodine" los cuales miden aproximadamente 5 cm x 5 cm x 30 cm cada uno. Mientras los electrones y fotones pasan por los cristales, estos causan cascadas de partículas secundarias cargadas que a su vez producen luz. La luz es detectada y convertida a señales eléctricas por los fotodiodos.

El Detector de Muones es la parte exterior del detector. Esta compuesto de otro grupo de cámaras de alámbres entre y detrás de capas de hierro que absorben todas las partículas expecto los *muones*, que son esencialmene electrones pesados. Como sólamente los muones pueden penetrar el hierro, esta es la mejor forma que tenemos para identificar estas partículas.

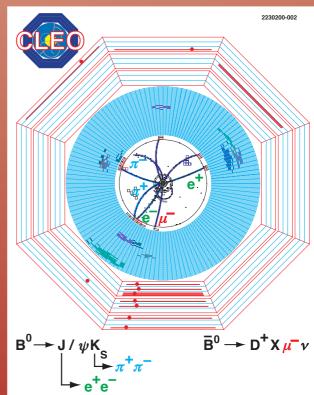
Uniendo los Componentes. El cuadro a la derecha nos enseña como varias partes del detector CLEO son usados para reconstruir un evento. La sección central blanca enseña las cámaras "drift". Alambres individuales prendidas muestran claramente la trajectoria de las dos partículas llamadas  $\pi^+$  y  $\pi^-$  al lado izquierdo. El calorímetro de cristal esta indicado en la parte azul clara donde cada caja representa un cristal separado. Los varios grupos coloreados indican la energía depositada en un grupo de cristales. Por ejemplo, la partícula e en la cámara "drift" fué identificada como un electrón debido a la gran cantidad de energía depositada en un grupo de cristales representada en verde en la parte baja del calorímetro. Finalmente, la parte más exterior del detector, el detector de muones, muestra un patrón bien definido de marcas indicado por los puntos rojos. Asi es como la partícula denominada  $\mu^-$  fué identificada como un muón.



Una vista del detector RICH durante su construcción.

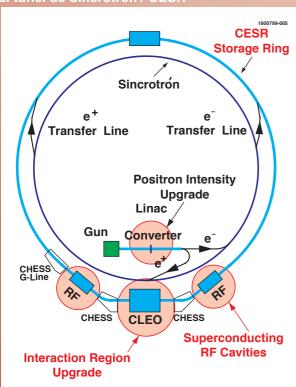


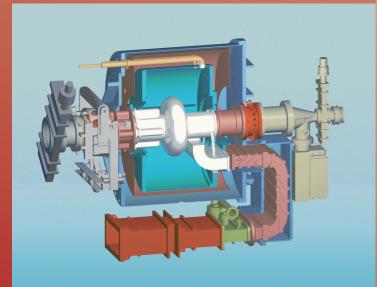
Un cristal centellador de "cesium-iodide".





El tunel de Sincrotrón / CESR





Vista lateral de una cavidad RF superconductora

# El Anillo de Almacenamiento de Electrones de Cornell (CESR)

#### El Propósito

Las partículas sub-atómicas estudiadas por la colaboración en Cleo y los rayos-x usados en los estudios en CHESS se originan en el CESR. Los electrones y sus colegas anti-materia, los positrones, son acelerados y luego circulados a velocidades cercanas a la velocidad de la luz, con los dos tipos de partículas viajando en direcciones opuestas. Cuando los electrones y positrones chocan, estos son aniquilados en una explosión de energía que resulta en la producción de una variedad de partículas sub-atómicas. Estas colisiones son la mejor forma que tenemos para estudiar los diferentes quarks.

#### El Complejo del Acelerador

La facilidad en el laboratorio de Wilson es un complejo de tres aceleradores:

El **Acelerador Lineal (LINAC)**, donde los electrones y positrones son producidos y acelerados a una energía equivalente a 150 millones de voltios.

El **Sincrotrón**, quien acepta los electrones y positrones del Linac y acelera a la energía a la cual son almacenados en el CESR, usualmente a 5 billones de voltios.

El Anillo de Almacenamiento (CESR), donde los electrones y positrones son llevados a una colisión causando su aniquilación.

Todos los tres aceleradores usan tipos de frequencias de radio (RF) similares a **Cavidades de Aceleramiento**, para empujar la energía de los electrones y positrones. Las cavidades de RF en el CESR son superconductoras lo cual incrementa su eficiencia comparada a cavidades conductoras normales por un factor de 2. Estas partículas ganan energía montando la cumbre de una onda de campo eléctrico, algo similar a como una persona haciendo surfing monta la ola en el mar.

# Sin Desperdiciar, Sin Querer

Cuando las partículas cargadas viajan en una trayectoria circular, éstas pierden energía al emitir radiación conocida como radiación de sincrotrón, de los cuales los rayos-x son una forma de ésta. Esta pérdida de energía debe ser compensada en el anillo de almacenamiento mediante el abastecimiento de energía de las cavidades de RF. Por otro lado, las líneas de radiación producidas por el CESR son de las más poderosas en el mundo, siendo de mil a un millón de veces más intensas que aquellas de equipos de radiación médica. Los rayos-x son una herramienta ideal para demostrar la estructura atómica porque son materia fácilmente penetrables y tienen una ondulación de 1.000 veces más pequeña que la luz visible, aproximadamente igual a la distancia entre átomos. Por consiguiente, pueden ser utilizados para estudiar la estructura detallada de los sólidos y líquidos así como los sistemas biológicos.

# CHESS - Poniendo los Rayos-X a Trabajar

La Fundación Nacional para las Ciencias (NSF) apoya al laboratorio CHESS que fué construido para tomar ventaja de los rayos-x producidos en CESR y permitir a los científicos probar las estructuras de la materia a niveles atómicos y moleculares. Se hacen aproximadamente 1,000 visitas por año a CHESS por cientificos de todos los rincones de mundo para utilizar una de las doce estaciones experimentales. Unos pocos ejemplos de varias aplicaciones en las areas de ciencias de materiales, medicina, y biología se describen en los siguientes párrafos.

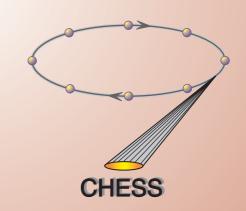
#### Nuevos Materiales

Almacenamiento CD-ROM: La creación de nuevos materiales es un empuje para el avance tecnólogico, y la investigación en CHESS juega un papel importantisimo en su descubrimento. Una de las areas donde se espera que la investigación tenga un impacto muy grande es en el almacenamiento CD-ROM. Un grupo de científicos en Cornell está en el proceso de crécer películas de nítrido de galión, los cuales son componentes de luz azul emitida de diodos y laseres. Con los rayos-x los investigadores pueden monitorear la suavidad de la película mientras crecen en cámaras vacias hacen ajustes reales a las condiciones de crecimiento. Los resultados: instrumentos más perfectos propiedad que conlleva a una vida mas larga en las partes. Diodos azules emitidos y laseres pueden mejorar el almacenamiento de densidad óptica de los CD's por una orden de magnitud.

Nuevos materiales Ultra Resistentes: Dióxido de zirconio y dióxido de hafnium que han sido sujetos a un cambio repentino (de presiones extremadamente altas a condiciones atmosféricas) han dado nuevas formas de materia cristalinas ultra densas y ultra resistentes. Estos materiales son de interés especial no sólo por su inusual resistencia, abolladuras resistentes , ralladuras, "abrasión" y cortaduras, sino que también porque es un material candidato para superconductores de altas temperaturas. Medidas de difracción llevadas a cabo en CHESS son la llave para el entedimiento del vínculo atómico fuerte en óxidos densos y cómo ese vínculo es traducido a dureza.

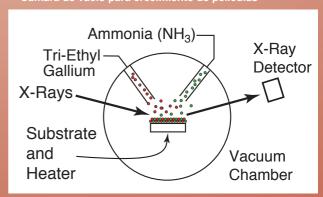
#### La Investigación Biomédica

La estructura tridimensional de los cristales (átomos colocados en una patrón tridimencional periódico) pueden ser visualizados con los rayos-x de CHESS y los recursos de MacCHESS, el grupo de proteina de cristalografía en CHESS (apadrinado por NIH). La cristalografía es una herramienta poderosa para examinar materiales biólogicos

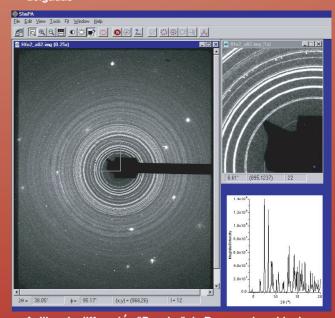




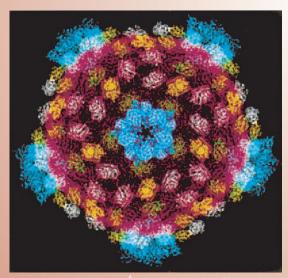
Cámara de vacio para crecimiento de películas



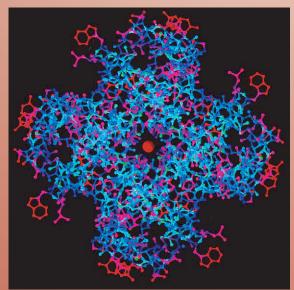
Rayos-x pueden medir la suavidad de películas delgadas



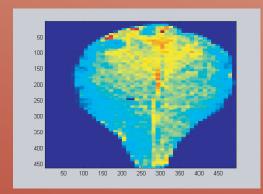
Anillos de diffracción "Powder" de Rayos-x de oxide de hafniumº en una celula de diamante "ANVIL:



La estructura del corazón de un virus reovirus es 70 nanometros de diámetro.



Estructura de un canal de ion con iones de potasio (punto rojo) en el centro.



Distribución del zinc en una hoja de una planta hecha por ray-x fluorecentes. Rojo = concentración alta de zinc. Azul = concentración baja de zinc

CESR/CLEO
304 Wilson Laboratory
Cornell University
Ithaca, New York 14853
Telephone: 607-255-4882
e-mail: outreach@lns.cornell.edu
www.lepp.cornell.edu/public/outreach

porque le da al cientifíco una vista detallada de cómo son construidas las moléculas a nivel átomico. Este tipo de información estructural provee discernimiento hacerca de las funciones biológicas.

Estructura Viral: Un caso reciente donde estos poderosos rayos-x han probado ser útiles en la investigación médica viene del grupo de la Universidad de Harvard que trabaja en las estructuras del reovirus. Estos viruses son de interés porque infectan el sistema respiratorio y la traquea intestinal de pájaros y mamíferos, incluyendo a los humanos. La radiación syncrotrónica es la única herramienta al alcance para determinar la estructura de moléculas tan grandes (la masa molécular es de 52 unidades atómicas). Este es el sistema más grande nunca antes estudiado de cristalografía de rayos-x. Determinar la estructura de este montaje es la llave al conocimiento de cómo trabaja, que será de gran valor para permitirnos el control sobre estos viruses y la prevención de enfermedades.

Canales de Ion: El Profesor Rod MacKinnon de la Universidad de Rockefeller fué ganador del Premio Nobel de Quimíca por esclarecer la arquitectura estructural y funcional de los canales de ión de proteinas. El trabajo de difracción de rayos-x fué hecho primordialmiento en CHESS. Los canales de ión de proteinas son pequeños poros que tachan la superficie de todas nuestras células. Estos canales gobiernan el potencial electrónico de membranas en la naturaleza, de este modo, generando impulsos nerviosos y controlando contracciones musculares, ritmo cardiaco, y secreciones hormonales. El trabajo de MacKinnon tiene implicaciones que van más allá de dar luz a los canales de ión. Su perseverancia ha demostrado que hasta las membranas de proteina más difíciles pueden ser critalizadas y estudiadas con rayos-x.

Bioremediación (Limpieza de Desechos Tóxicos): La bioremediación es un método ambiental seguro del uso de plantas para remover metales tóxicos de terrenos contaminados. Una colaboración que envuelve estudiantes sub-graduados de un proyecto de investigación y grupos de USDA y la Universidad de Cornell ha demostrado que un metal pesado, ZINC, se concentra en la hojas una vez que es absorbido por las plantas. Los rayos-x en CHESS han sido utilizados para localizar altas concentraciones del elemento en hojas de varios centimetros de largo de la planta Thlaspi caerulescens. Después que las plantas absorben los metales, éstas pueden ser removidas de la tierra previamente contaminada y tratadas para deshacerse de las substancias tóxicas riesgosas.



CHESS
200 Wilson Laboratory
Cornell University
Ithaca, New York 14853
Telephone: 607-255-7163
Fax: 607-255-9001
www.chess.cornell.edu

