



J. A. RUBIO nació en Madrid, en 1944, se licenció en Físicas en 1965 en la Universidad Complutense, ingresando a continuación como becario en la JEN en el tema de Física de Altas Energías. Durante los años 1968-71 trabajó en el CERN, aunque en estrecho contacto con la JEN, donde obtuvo un contrato en 1971, año en que presentó su tesis doctoral, y comenzó su colaboración como profesor con la Universidad. En 1975 pasó a ser funcionario de la JEN, desde donde colaboró, siempre en el mismo tema, con los laboratorios europeos y, en especial, con el CERN, donde fue pieza decisiva para el reingreso de España (1982). En 1983 fue nombrado Director Científico de la JEN, coordinador del Programa Nacional de Altas Energías y Director de Investigación Básica. Ha representado a España en varios comités internacionales. Es autor de unas 80 publicaciones y artículos. Desde abril de 1987 ha reingresado en el CERN como científico "senior".



Pedro PASCUAL es Catedrático de Física Teórica de la Universidad de Barcelona. Premio Ramón y Cajal de investigación científica 1985 y doctor honoris causa, por la Universidad de Valencia, 1987.

SITUACION DE LA FISICA DE ALTAS ENERGIAS EN ESPAÑA

J. A. RUBIO P. PASCUAL

Es bien sabido que el objetivo de la Física de Altas Energías es conocer los componentes fundamentales de la materia y sus interacciones básicas. Es también sabido que la forma más usual de penetrar en distancias más y más pequeñas es la de provocar interacciones entre componentes a energías más y más elevadas, y que para ello se requieren potentes aceleradores, detectores precisos, rápidos y completos, y una elevada capacidad de análisis.

En 1954 se creó el CERN (European Organization for Nuclear Research), cuya función primordial es desarrollar, construir, mantener y poner a disposición de los físicos de los países europeos de la Organización un conjunto de instalaciones necesarias en la investigación de Física de Partículas o de Altas Energías que por su complejidad, dimensión y coste no es posible tener de forma individual en cada uno de los países miembros. En este sentido, el CERN es el laboratorio fundamental del Programa de Investigación de Altas Energías en Europa, y a su vez es el foro en donde se coordina dicho Programa.

Las actividades científicas españolas de Altas Energías se iniciaron a partir de la adhesión de España al CERN en 1961, ya que hasta entonces prácticamente no existía investigación en esta disciplina en nuestro país. España permaneció en dicho Organismo hasta 1968, y durante ese tiempo se desarrolló, a partir de un pequeño grupo de físicos teóricos ubicados en la JEN (actualmente CIEMAT), una serie de grupos teóricos distribuidos en varias Universidades españolas y además se crearon los grupos experimentales de Altas Energías de la JEN y de la Universidad de Valencia.

La adhesión de España al CERN en 1961 no fue acompañada de una planificación precisa para aprovechar las oportunidades del Programa Europeo de Altas Energías y, en consecuencia,

la potenciación o creación de los grupos antes indicados, sobre todo los experimentales, no alcanzó el ritmo óptimo. Esto, unido a una cierta desconexión con la industria española de aquel entonces, relativamente poco desarrollada e insuficientemente activada para colaborar con el CERN, hizo que la permanencia de España en la Organización europea pudiera parecer poco rentable, lo que puede ser el origen de la decisión de retirarse del CERN en 1968. Sin embargo, no se apreció suficientemente el impacto de la adhesión en el sentido de crear una comunidad científica española de Altas Energías, que en sus inicios fue gravemente afectada por la retirada de la Organización, ya que se dismantelaron los dos grupos experimentales existentes y se creó con sus restos un pequeño grupo en la JEN. En física teórica las consecuencias de la retirada fueron menores dada su también menor dependencia de las instalaciones del CERN.

Desde entonces, la evolución de la física de Altas Energías en España ha tenido dos fases, las correspondientes a antes y después de 1983, momento en que se ratificaba la adhesión al CERN nuevamente, y se aprueba el plan movilizador de la especialidad para aprovechar de forma óptima dicha adhesión. Ambos hechos fueron, en parte, consecuencia de estudios realizados por la comunidad científica de Altas Energías, que preparó un borrador de Plan Nacional para el desarrollo de la especialidad, presentado en septiembre de 1981 a autoridades del Gobierno, representantes científicos de los partidos políticos, autoridades del CERN, empresarios e investigadores españoles. En dicho Plan estaba incluida la posible adhesión al CERN, que fue objeto de complejas negociaciones, pero que fue aceptada por el Consejo de la Organización en junio de 1982, y llevada a cabo en noviembre de 1983, después de las preceptivas

ratificaciones por el Congreso de los Diputados y el Senado.

Las condiciones de la adhesión estuvieron negociadas de forma que inicialmente sólo se contribuyera con una fracción de la cuota, fracción justificable por la entidad de la comunidad de físicos de Altas Energías de aquel entonces, y se aprovechara un período transitorio de seis años, al final del cual se alcanza la totalidad de la cuota, para potenciar, a través del Plan Movilizador, la comunidad científica de la especialidad, y los retornos previsibles del CERN hasta alcanzar los niveles apropiados a la entidad de la contribución de España a la Organización.

Al final de la primera fase, es decir, en 1983, el número de investigadores de la especialidad en España se aproximaba a un centenar, un 35 % de los cuales eran experimentales. Los teóricos estaban distribuidos entre numerosas Universidades de España, y los experimentales estaban ubicados fundamentalmente en la JEN y, en menor medida, en las Universidades de Valencia y Santander.

Como consecuencia del Plan Movilizador y de la adhesión, la situación de la comunidad de Altas Energías al final de la segunda fase, es decir, en 1987, es significativamente distinta a como era antes de la adhesión. En efecto, existen actualmente seis grupos experimentales de Altas Energías en el CIE-MAT y en las Universidades de Valencia, Autónoma de Barcelona, Santander, Autónoma de Madrid y Santiago de Compostela. Existe además un grupo experimental en la Universidad de Zaragoza, que trabaja en actividades de física nuclear relacionada con la problemática objeto de la investigación del CERN, y quizá podrían iniciarse otros dos en las de Sevilla y Valencia. Hay también quince grupos de Altas Energías teóricos distribuidos en una gran parte de las Facultades de Física de España y el total de investigadores doctores dedicados a la especialidad en nuestro país es de aproximadamente 140, con un 40 % de experimentadores. Si se tiene en cuenta además el número de doctorandos (aproximadamente 80, 50 % de ellos experimentales) y el número de auxiliares técnicos, el total de los recursos humanos de la especialidad se aproxima a 300.

Temáticamente, las características de las actividades investigadoras en Altas Energías son las siguientes: los proyectos teóricos cubren prácticamente todo el espectro de la física de Altas Energías actual y una gran parte de ellos están relacionados con la problemática más importante que afecta a la física experimental, predicciones de las teorías electrodébiles y de la cromodinámica cuántica, elaboración de grandes teorías de unificación con sus pre-

dicciones experimentales, etc. Los proyectos experimentales españoles cubren apropiadamente las facilidades más modernas y aprovechan en su gran mayoría el CERN. Se participa en tres de los experimentos del acelerador LEP (L3, DELPHI y ALEPH) y en uno de los experimentos del collider del CERN (UAI); se colabora también en uno de los experimentos del acelerador HERA (ZEUS) y en varios otros que utilizan el supersincrotrón de protones del CERN, así como otras facilidades destinadas a la física nuclear en la misma Organización. La temática es, por tanto, equilibrada y coherente con lo que es usual en los países europeos y la rentabilidad científica es razonable, pues supone del orden de 200 publicaciones científicas anuales, el 95 % de las cuales se realizan en revistas extranjeras.

Comparando las características de la comunidad española con lo que es usual en Europa, se pueden extraer consecuencias ilustrativas. En Europa se destina en promedio a I + D aproximadamente el 1,8 % del PIB, siendo el 1 % de esta cantidad la dedicada a Altas Energías. En España, incluida la cuota al CERN, los gastos originados por Altas Energías suponen aproximadamente 1,8 % de los dedicados a I + D, que son a su vez el 0,7 % del PIB. Este último porcentaje es esperable que continúe aumentando de forma que ambas cifras tiendan a situarse más cerca de los promedios europeos. Desde la perspectiva de número de investigadores, conviene mencionar que

en Europa hay un promedio de nueve físicos (seis experimentales y tres teóricos) por millón de habitantes. En España el número de físicos teóricos alcanza el promedio europeo y el de experimentadores ha crecido significativamente desde 1983 hasta situarse en aproximadamente la mitad del promedio de Europa.

En resumen, los grandes parámetros que definen las actividades españolas en la especialidad tienen un valor que corresponde al de una situación transitoria pero cuya evolución es la apropiada. Las características de calidad de la comunidad de Altas Energías la hacen comparable a las correspondientes a otros países de nuestro entorno.

No es objeto de este, sino de los siguientes artículos, exponer las rentabilidades tecnológicas, comerciales y de formación derivadas de nuestra investigación en la especialidad, pero es conveniente reseñar que también en este campo se han obtenido y se están obteniendo, en promedio, rentabilidades adecuadas. Procede, sin embargo, insistir en que, poco a poco, la aportación científica internacional española en Altas Energías aumente en entidad, que está diversificada en el interior como para promover calidad técnica y educativa en Centros de Investigación y Universidades del país, y que es quizá uno de los campos en los que España mantiene una conexión estrecha con grupos de investigación punta de los países europeos y de Estados Unidos a un nivel proporcionado a sus recursos.

PROYECTOS DEL LABORATORIO DE FÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS DE BARCELONA

E. FERNANDEZ

El laboratorio colabora actualmente en dos experimentos. En uno de ellos, NA14, la toma de datos está ya finalizada. El otro experimento, ALEPH, está en fase de preparación.

NA14 es un experimento donde se estudia la producción de hadrones en colisiones fotón + nucleón, en especial la producción de hadrones conteniendo el quark llamado encanto. La participación de Barcelona es pequeña y se reduce a tres personas, dos de las cuales están haciendo su tesis doctoral en el análisis de dichas reacciones.

La actividad principal del grupo de Barcelona consiste en la preparación del experimento ALEPH. Este experimento empezará a tomar datos en 1989 y será uno de los cuatro experimentos que se lleven a cabo en el acelerador LEP del CERN. El objetivo de dichos experimentos es, en una primera fase, el estudiar las interacciones e^+e^- a las

energías cercanas a la masa del bosón intermediario Z ($M_Z \approx 92 \text{ GeV}$). A estas energías la aniquilación e^+e^- procede casi exclusivamente por el intercambio del Z. La medida de la producción de sucesos a energías cercanas a M_Z hará posible la determinación precisa de dicha masa, así como de la anchura del Z.

La determinación precisa de M_Z puede interpretarse como una medida precisa del seno al cuadrado del ángulo de Weinberg $\sin^2 \theta_W$, que es uno de los parámetros fundamentales de la teoría electrodébil. Un conocimiento preciso de este parámetro permitirá verificaciones más estrictas del modelo de las hechas hasta la fecha. La aparición de nuevos fenómenos a energía superior a la de LEP puede afectar al valor de este ángulo a través de correcciones radiactivas. La determinación precisa de la anchura total está relacionada por

el número posible de familias fermiónicas cuyo origen no está explicado aún por ninguna teoría.

Los experimentos en LEP harán posible muchas otras medidas relacionadas con la verificación en detalle del Modelo Estándar. Las interacciones e^+e^- en LEP serán las de más alta energía con esta clase de partículas. Dada la simplicidad del estado inicial el estudio de estas reacciones es el marco ideal para la búsqueda de nuevos fenómenos, tanto de algunos predichos por el Modelo Estándar pero aún no observados como de fenómenos completamente inesperados.

Las actividades del grupo de Barcelona en ALEPH son las siguientes:

• Construcción de un monitor de luminosidad para ALEPH

El objetivo de esta parte del detector es la detección de los sucesos $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, en la que el ángulo de las partículas finales es pequeño con respecto a la dirección del haz. En esta zona la producción de estos sucesos es copiosa y la sección eficaz puramente electromagnética (por tanto conocida con gran precisión). Estos dos hechos hacen que esta reacción se utilice como medida de la frecuencia con la que los haces de e^+ y de e^- colisionan (cantidad que se conoce como luminosidad del acelerador).

Este monitor está siendo contruido en Barcelona. Consiste en varias placas de tungsteno de unos 7 mm de espesor entre las que se intercalan capas de silicio (de unos 300 micrones de espesor, sin incluir al soporte) convenientemente dopado para formar una unión p-n. Los electrones (o positrones) producen una cascada electromagnética al pasar por el tungsteno. Los electrones y positrones secundarios de la cascada crean pares electrón-agujero en el silicio. Aplicando un voltaje conveniente a la unión p-n, estos pares dan lugar a una corriente que es proporcional a la energía del electrón o positrón incidente. De esta manera se detectan los sucesos $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ en la que el electrón y positrón saliente tienen la misma energía que los iniciales. Además de detectar los sucesos mencionados el monitor es también capaz de detectar fotones (los cuales también producen una cascada electromagnética en el tungsteno) de más baja energía. En la zona del monitor (situado a sólo 6 cm del haz) se espera un gran número de éstos debido a la radiación sincrotrón. El monitor será también útil en la detección de esta radiación.

• Preparación de una estación de proceso de datos "off-line" para ALEPH

El procesado de los datos en ALEPH requiere una gran cantidad de recursos de computación. Un cálculo aproxima-

do indica que ALEPH necesita el equivalente de unas 100 Vax/780 (funcionando constantemente durante los varios años que dure el experimento) para pasar de las señales que salen del detector a la publicación de los resultados físicos obtenidos.

Aproximadamente la mitad de estos recursos van a pasar de la lectura de señales electrónicas a la escritura de las mismas o de cantidades relacionadas en un medio de almacenamiento (cinta magnética). En un año típico se escriben 10.000 cintas de alta densidad. Estos recursos se les conoce como "on-line", ya que son necesarios en tiempo real durante la toma de datos.

Los recursos "off-line" comprenden el procesado de los datos almacenados y el análisis físico de los mismos.

Una parte de los cálculos "off-line" tienen el objetivo concreto de reconstruir las trayectorias (en el volumen del detector) y momentos de las partículas, tarea ésta que requiere computación intensiva y pocos otros recursos. De ahí la utilización de procesadores especializados en Física de Altas Energías. Una clase de estos procesadores son los emuladores que fueron desarrollados en SLAC (en Stanford, California) y CERN. Recientemente han

aparecido procesadores similares comerciales. Estos procesadores carecen en general de sistema operativo o de funciones de entrada-salida. Requieren por tanto estar conectados a una máquina normal desde la que se envía al procesador un módulo ejecutable y que realiza además las funciones de entrada y salida. En ALEPH la mitad del cálculo "off-line" aproximadamente se hará en una batería de estos procesadores conectada a una máquina convencional. Asimismo esta máquina se dedicará a comunicaciones dentro del experimento y entre el experimento y los ordenadores generales del CERN. El grupo de Barcelona tiene la responsabilidad de hacer operacional este centro de proceso de datos propio de ALEPH. El trabajo en este aspecto técnico se refleja ya en la infraestructura informática del grupo de Barcelona. Es de destacar que el ordenador de dicho grupo lleva ya casi dos años conectado a dos redes internacionales sin ningún problema operacional. También dispone de un emulador que ha dado grandes rendimientos desde hace diez meses (este emulador tiene la potencia de cálculo equivalente a 3 Vax/780 con FPA).

ACTIVIDADES INVESTIGADORAS DE LA DIVISION DE FISICA DE PARTICULAS DEL CIEMAT, MADRID

M. AGUILAR

Actualmente la División de Física de Partículas desarrolla un programa de investigación en Física Experimental de Altas Energías, conectado con el Programa Experimental de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, Ginebra, Suiza). Las actividades tienen lugar en el contexto de grandes colaboraciones internacionales y se fundamentan en una amplia utilización de los laboratorios, instalaciones y servicios del CERN. La complejidad creciente de este tipo de experimentación implica que la realización de tareas requiera un considerable soporte tecnológico altamente sofisticado. En este sentido, el grupo del CIEMAT utiliza múltiples recursos materiales y humanos de otras unidades del CIEMAT y acude a la industria para trabajos de ingeniería, suministro de materiales y componentes y construcción de equipos.

Las actividades actualmente en curso se basan en experimentos que se encuentran en distinta fase de preparación, realización o análisis y que se realizan en los distintos aceleradores ubicados en los laboratorios del CERN.

En el acelerador Super Proton Synchrotron o SPS (de 6.4 km de circunferencia y con capacidad de acelerar protones a 450 GeV) el grupo del CIEMAT ha desarrollado desde 1980 un amplio programa experimental en el complejo de detección European Hybrid Spectrometer (EHS), en cuyo diseño y construcción participó activamente. En estos momentos se completa el análisis de los datos obtenidos en los experimentos NA23 ("Estudio de la Disociación Difractiva en Partículas Extrañas") y NA27 ("Medida Precisa de las Vidas Medias de Partículas Encantadas y Estudio de Propiedades de Producción y Desintegración"). Estos experimentos utilizan un dispositivo experimental híbrido con cámaras de burbujas, técnica en la que el grupo desarrolló una extensa actividad desde finales de la década de los sesenta, como detectores de vértices. En fase de toma de datos se encuentra el experimento NA36 ("Producción de Bariones y Antibariones Extraños en Colisiones de Iones Relativistas") que se lleva a cabo en una versión modificada del EHS y que pretende aislar un nuevo

estado de la materia denominado plasma de quarks y gluones.

En el colisionador de protones y antiprotones Super Proton Synchrotron Collider o SPSC (con capacidad para producir colisiones de protones y antiprotones de hasta 630 GeV de energía en el sistema centro de masas), investigadores del grupo del CIEMAT participan en el experimento UA1 ("Un Detector de Angulo Sólido 4π para el SPS, utilizado como Colisionador $p\bar{p}$ a 630 GeV") desde 1986. Esta colaboración dirigida por el profesor C. Rubbia (Premio Nobel de Física 1984), consiguió en 1983 aislar y medir las propiedades de los bosones vectoriales intermedios $W^\pm$ y Z^0 , agentes transmisores de la interacción electrodébil, tras una serie de experimentos extraordinariamente delicados y a un nivel de sofisticación tecnológica no conocido en el ámbito de la Física Fundamental. Los investigadores del CIEMAT desarrollan la nueva calorimetría para medidas a pequeño ángulo basada en U-TMP, dentro del marco de reconversión global del detector UA1 para hacer frente a las altas luminosidades que proporcionará el nuevo acumulador de antiprotones ACOL. Este programa se iniciará en 1988 y no es improbable que emerjan nuevos e interesantes fenómenos, como la detección del sexto quark o la mejor comprensión de las oscilaciones $B^0-\bar{B}^0$.

La actividad dominante del grupo del CIEMAT, que aglutina una gran parte de sus recursos humanos y materiales, es la participación en la construcción de un gigantesco detector, denominado L3, para experimentación en el anillo de colisiones Large Electron Positron Machine o LEP (un colisionador de electrones y positrones de 27 km de circunferencia, que en una primera fase permitirá producir colisiones a 100 GeV y, posteriormente, alcanzará los 200 GeV en el centro de masas). Esta colaboración, dirigida por el profesor S.C.C. Ting (Premio Nobel de Física 1974), integra 40 centros de investigación de 14 países. El grupo del CIEMAT es uno de los iniciadores del proyecto, y su participación puede considerarse, hasta cierto punto, como una continuación de la colaboración con el grupo del profesor Ting comenzada en 1981 en torno al detector MARK-J, ubicado en el acelerador PETRA del Laboratorio Nacional Alemán DESY (Hamburgo). El detector L3 de grandes dimensiones (prisma octogonal de $16 \times 16 \times 16 \text{ m}^3$) tiene la peculiaridad de que todos sus elementos de detección están inmersos en un gran volumen magnético, generado por un imán solenoidal de 5000 Gauss, de 1.300 m^3 . El detector está diseñado para medir la energía y posición de leptones con alta precisión, permitiendo obtener

una resolución en la masa de pares de leptones inferior al 2 %. El grupo del CIEMAT desarrolla una actividad de gran relevancia en la construcción del espectro de muones de este detector. Este consiste en 16 subconjuntos de 5 cámaras de deriva de alta precisión que permitirán medir la impulsión de muones con resolución de 1 % a 50 GeV. Para el total de 80 cámaras, el grupo del CIEMAT construye elementos mecánicos para 48 de ellas, la serie completa de 96 detectores de grandes dimensiones (5.50×2.30) para medida de coordenadas en el eje electrón-positrón, las 16 estructuras soporte articuladas que aseguran alineamientos relativos con precisión de decenas de micras y numerosas piezas para acoplo de módulos. El grupo del CIEMAT es también responsable del ensamblaje del espectrómetro en el CERN. La fase de construcción iniciada en 1984 está próxima a completar-

se. La fase de experimentación se iniciará en 1989, y proporcionará datos relevantes para la comprensión de las teorías electrodébil y cromodinámica cuántica durante una década.

El grupo del CIEMAT está compuesto por 24 físicos, de los cuales 15 son doctores y 10 técnicos y auxiliares de laboratorio. Su producción científica se cifra en aproximadamente 30 trabajos/año, de los cuales una quincena se publican en revistas internacionales especializadas. El grupo del CIEMAT, con una ininterrumpida actividad investigadora de más de veinte años, ha jugado un papel decisivo en el reingreso de España en la Organización CERN y en la estructuración y funcionamiento del Plan Movilizador de la Física de Altas Energías, que permitirá el desarrollo armonioso e internacionalmente competitivo de esta disciplina del conocimiento humano.

GRUPO DE ALTAS ENERGÍAS DE LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

J. A. GARZON

La investigación del Grupo de Altas Energías de la Universidad de Santiago de Compostela tiene actualmente las siguientes vertientes:

ESTUDIO DEL PLASMA DE QUARKS Y GLUONES

Algunas teorías prevén la posibilidad de que en condiciones de muy alta temperatura (como la que se pudo producir en el origen del Universo) o a muy alta densidad de energía (como la existente en el interior de algunas estrellas) los nucleones, protones y neutrones, pierdan su carácter individual y la materia se pueda "ver" como un gran conglomerado de los constituyentes de aquéllos: los quarks y los gluones. A dicho posible estado se le denomina Plasma de Quarks y Gluones (QGP). Algunos experimentos ya realizados (por ejemplo los de la Colaboración Europea de Muones, EMC) parecen mostrar que los nucleones pierden su individualidad ya en el interior de los núcleos atómicos. Otros cálculos teóricos y resultados experimentales apuntan hacia las colisiones entre núcleos a muy alta energía como el campo ideal para producir tal plasma en el laboratorio. Por dicho motivo, tanto en el CERN (Laboratorio Europeo para la Física de Partículas) como en el BNL (Brookhaven National Laboratory), se han desarrollado amplios programas de experimentos en colisiones de iones pesados.

Paralelo al problema de reunir en un laboratorio las condiciones necesarias para producir el Plasma de Quarks y Gluones, está el de detectarlo y medir sus propiedades. Una de sus "señas de identidad" puede ser un notable incremento en la producción del llamado quark "extraño" y, por tanto, de partículas extrañas (partículas portadoras de dicho quark). El experimento NA36, en el que participa el Grupo de Altas Energías de Santiago, es aquel de todos los experimentos del CERN encaminados a la detección del Plasma de Quarks y Gluones, que permite una mejor medida de la producción de partículas extrañas.

El espectrómetro NA36 consta de un blanco activo, formado por blancos de diversos materiales y que permite detectar la coordenada de la interacción. Tras él se sitúa una TPC (Time Projection Chamber) encaminada a medir con gran resolución la desintegración de las partículas extrañas, y otra serie de detectores a lo largo de unos 20 m para medir el impulso de partículas cargadas, la energía de partículas cargadas y neutras, así como la detección de posibles fragmentos pesados.

El pasado invierno tuvo lugar en el CERN la primera toma de datos, utilizándose como haz núcleos de oxígeno (^{16}O), a 60 y 200 GeV/c. Los resultados experimentales disponibles hasta el momento no muestran, en ninguno de los experimentos, resultados que no sean explicables con teorías o modelos hoy aceptados.

DESARROLLO Y OPERACION DE UNA CAMARA TPC

Nuestro Grupo participa en la operación de la TPC del experimento NA36.

PROYECTOS DE INVESTIGACION DEL GRUPO DE ALTAS ENERGÍAS DE VALENCIA

A. FERRER

El tema de investigación fundamental en el que trabaja el Grupo de Física de Altas Energías de Valencia concierne el estudio exhaustivo del bosón Z^0 intermedio, junto con los bosones $W^\pm$ y el fotón, de las interacciones unificadas electrodébiles.

La física del Z^0 entre otros ha motivado la construcción del anillo de colisiones e^+e^- (LEP) del CERN, actualmente el mayor anillo de colisiones del mundo: está ubicado en un túnel de 27 km de perímetro y 100 m de profundidad. El Grupo de Valencia pertenece a la Colaboración Internacional DELPHI, que prepara un gran detector de partículas y que se instalará en el LEP. El detector DELPHI tiene como objetivo el estudio del Z^0 , el estudio de la producción de "jets" de quarks y gluones, y sus desintegraciones, la espectroscopía de partículas con los números cuánticos "beauty" y "truth", etc. El detector más original de DELPHI es el denominado Cerenkov de imágenes angulares (RICH) que identificará las partículas (e , π , k , p) en un amplio rango energético.

Dentro de los 10 detectores que componen el Proyecto DELPHI, el Grupo de Valencia tiene la responsabilidad de contruir por entero uno de ellos, denominado TOF (detector de tiempo de vuelo) y participar de la construcción de un segundo: el calorímetro electromagnético (FEMC) en colaboración con el Grupo de Santander y otros tres grupos de las universidades italianas de Padua, Turín y Trieste.

El TOF ha sido, pues, concebido y diseñado por los grupos españoles de Valencia y Santander y es de entera responsabilidad española. Actualmente, después de haber realizado varios prototipos, se encuentra en fase de construcción. El TOF es un gigantesco barril de 7 m de longitud y 3 m de radio formado por 192 contadores de centelleo, equipados con dos fotomultiplicadores en cada extremo del contador. Además de detectar el paso de las partículas cargadas, medirá el tiempo transcurrido entre el instante de su producción en el punto de colisión y el de cruce por el TOF con una precisión de un nanosegundo aproximadamente.

En cuanto a la electrónica asociada a este detector, concebida por los exper-

También participa en el desarrollo y construcción de una pequeña réplica de dicha cámara que, operada en Santiago de Compostela, permitirá estudiar la respuesta de este tipo de detec-

tos del propio grupo de Valencia, ha sido diseñada en el nuevo sistema de adquisición rápido FASTBUS.

El detector TOF tiene una doble misión:

- Detectar la desintegración del Z^0 en pares $\mu^+ \mu^-$, así como disponer de una buena eficiencia para los μ producidos por desintegraciones de quarks pesados.

- Será también el detector de cósmicos en el experimento DELPHI. En efecto, su característica distintiva de los demás detectores es su rapidez.

La detección de los muones cósmicos permitirá dotar a DELPHI de un método de calibración y alineamien-

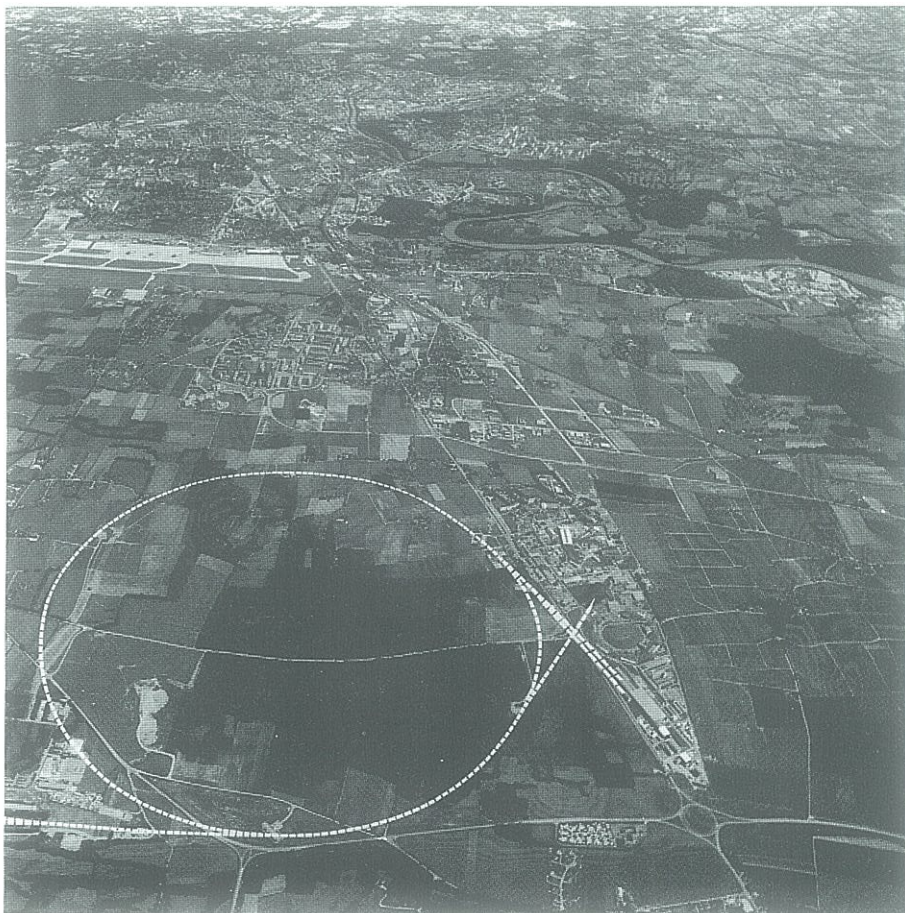
tores a diversas situaciones. Ello permitirá mejorar la resolución de los datos del experimento y aportará resultados útiles para el mejor conocimiento de este tipo de detectores gaseosos.

to de los otros detectores entre sí, todos ellos siendo de simetría cilíndrica e independientes.

El calorímetro electromagnético FEMC tienen por misión la detección y medida de la energía de los electrones y fotones energéticos que serán emitidos, en la colisión e^+e^- , en un ángulo sólido comprendido entre 10° y 35° . El detector FEMC cubre, pues, los conos delante y atrás de DELPHI. Estará compuesto por unos 10.000 bloques de vidrio de plomo (material transparente de gran densidad), y la luz de Cerenkov producida en los mismos por las cascadas electromagnéticas será convertida en corriente por fototriodos de vacío pegados en un extremo del bloque.

Otra actividad importante en el marco del Proyecto DELPHI la ocupa y la ocupará cada vez más el cálculo científico

Altas Energías. Trazado del túnel de aceleración LEP, el proyecto más reciente que ha puesto en marcha el CERN



(software) necesario para reconstruir las colisiones e^+e^- en DELPHI, y analizar los fenómenos observados en el experimento.

Para la realización de sus trabajos de investigación el Grupo de Valencia cuenta en la actualidad con un importante núcleo de investigadores y técnicos compuesto por ocho doctores (profesores de la Universidad o investigadores del CSIC), ocho licenciados preparando sus tesis y ocho técnicos. Cabe resaltar que para la realización de un proyecto de investigación en física experimental como el que actualmente desarrollamos, la participación del grupo de técnicos es indispensable. Otras actividades científicas, de menos envergadura, se llevan a cabo en nuestro grupo, principalmente orientadas hacia la formación del personal investigador, y motivadas por la propia tradición científica del grupo. Conciernen la participación modesta en experimentos que se realizan en el CERN con objetivos muy precisos como son:

- Búsqueda de partículas con el número cuántico "beauty" (belleza), utilizando un detector híbrido (OMEGA - emulsión nuclear) (experimento denominado WA71), que reúne las ventajas del detector OMEGA del CERN y las de las emulsiones nucleares, que graban las trayectorias de las partículas y permiten medir recorridos extraordinariamente cortos (varias micras), lo cual es óptimo para el estudio de partículas con belleza por tener vidas medias muy pequeñas.
- Experimento de búsqueda del "quagma", hipotético estado de la materia a gran temperatura, formando un plasma de quarks y gluones (experimento NA38). El interés de este experimento radica en la capacidad de detección de pares $\mu^+\mu^-$ producidos en la colisión de núcleos de oxígeno de muy alta energía contra blancos de distintas masas atómicas. Ya se ha observado, en los datos preliminares que se disponen, la producción de la conocida partícula J/ψ .
- Estudio de la producción y desintegración de partículas con número cuántico "charm" (encanto). En especial, el estudio del barión Λ_c^+ , poco conocido y estudiado, pues existen muy pocos sucesos en el mundo. Para ello, ha sido optimizado el experimento conocido en el CERN como NA32, y que incorpora como faceta original un detector de pares de partículas extrañas K^+K^- , lo cual facilita la selección del barión Λ_c^+ .

Todas las actividades descritas conciernen al estudio de fenómenos de gran actualidad, y todas ellas, como puede verse, utilizan los aceleradores e instalaciones del CERN.

INVESTIGACIONES DEL GRUPO DE FÍSICA NUCLEAR DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

R. NUÑEZ LAGOS-A. MORALES

El grupo de Física Nuclear de la Universidad de Zaragoza estudia desde hace tiempo, tanto desde un punto de vista teórico como mediante la realización de experimentos concretos, si las interacciones fundamentales entre las partículas conservan o no ciertas propiedades de estas últimas (ciertos de sus números cuánticos), que convencionalmente se suponen invariantes. Las experiencias para la detección de las presuntas no conservaciones conllevan la búsqueda de sucesos o fenómenos muy poco probables, -los denominados "procesos raros"- que se sitúan en el límite de la detectabilidad y por tanto se requieren equipos experimentales extremadamente sensibles y condiciones muy especiales en su entorno. Si tales procesos fueran positivamente detectados, habría que revisar nuestros esquemas teóricos convencionales, y esto es lo que da un interés evidente a tales investigaciones.

En los últimos años, el grupo se ha ocupado de un proceso que se conoce con el nombre de la doble desintegración beta del ^{76}Ge sin emisión de neutrinos. Este proceso es el test más sensible que existe para detectar la no-conservación del número leptónico. Por otra parte, proporciona información sobre la naturaleza y propiedades del neutrino.

Las partículas básicas de la naturaleza son, en la teoría convencional, los quarks (que forman, por ejemplo, los protones y neutrones de los núcleos atómicos), los leptones (como por ejemplo los electrones y los neutrinos), los bosones gauge (como el fotón o los pesados W y Z que median las interacciones electrodébiles) y algunas más exóticas (higgs) necesarias para la consistencia de la teoría estándar. Los leptones están caracterizados por un atributo de su especie que se denomina número leptónico, con un valor +1 ó -1 según se trate de una partícula o de su antipartícula. Existen tres familias de leptones, cada una formada por una pareja: el electrón con su neutrino, el muón con su neutrino y la partícula tau con el suyo. A cada una de estas familias o generaciones también se les otorga un atributo propio de su generación. Es un hecho admitido -y hasta la fecha ninguna evidencia prueba lo contrario- que el número leptónico se conserva en los procesos elementales: es la denominada ley de conservación de la materia leptónica. En el proceso al que aludimos más arriba, el núcleo del ^{76}Ge emite dos electrones pasando a ser un núcleo de ^{76}Se : $^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se} + 2 e^-$, con evidente

violación del número leptónico (dos neutrones de un núcleo de germanio se convierten en dos protones del mismo núcleo y se emiten dos electrones). El proceso convencional de doble desintegración del ^{76}Ge , aunque muy poco probable, debería ser $^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se} + 2 e^- + 2 \nu_e$, para que el número leptónico se conservara. Este segundo proceso convencional ocurre a un ritmo lentísimo, con un período superior a $10^{21} - 10^{22}$ años (según la teoría) pero aún no ha sido detectado (sólo se ha podido poner el límite $T_{1/2} \geq 10^{20}$ años). Para que ocurra el otro proceso $^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se} + 2 e^-$, el que evidenciaría una física más allá de lo convencional, tienen que darse algunas circunstancias muy peculiares: el antineutrino emitido por el primer neutrón tiene que ser capturado por el segundo, y eso sólo puede ocurrir si el neutrino es autoconjugado -igual a su antipartícula- y además ha de tener masa o ser parcialmente dextrógiro (aspectos que no se dan en la teoría convencional). Esto añade interés y actualidad a la investigación porque ayudaría a desvelar si el neutrino tiene o no masa, hecho que tendría importantes consecuencias.

Las experiencias que tratan de detectar dicho fenómeno se han llevado a cabo (mediante una colaboración de las universidades de Zaragoza y Burdeos) con un conjunto de detectores de Ge, rodeado por una corona de detectores de yoduro sódico, todo ello con materiales de ultra-baja radiactividad de fondo -blindado el conjunto con cobre y plomo- dentro de un túnel en los Alpes (Frejus) bajo unos 2 km de roca. Para detectar un suceso tan poco probable, hay que disminuir al máximo el fondo de radiaciones que enmascararían el fenómeno. Para ello se utilizan laboratorios subterráneos, al abrigo de la radiación cósmica, y se utilizan materiales de extrema radiopureza que reduzcan al máximo el fondo radiactivo natural. Tras un año de toma de datos, no hay evidencia de tal violación del número leptónico, habiendo puesto un límite al período del proceso $^{76}\text{Ge}(0^+) \rightarrow ^{76}\text{Se}(2^+) + 2 e^-$ de $T_{1/2} \geq 6 \times 10^{22}$ años.

Para continuar tales investigaciones, se ha habilitado un laboratorio subterráneo en el túnel de Somport (Canfranc), en los Pirineos Aragoneses, en donde se han instalado nuestros equipos trasladados desde los Alpes, con un detector de Ge de mayor pureza. Se prosiguen trabajos sobre el mismo fenómeno y, dada la versatilidad de los equipos, sobre otros procesos análogos.