

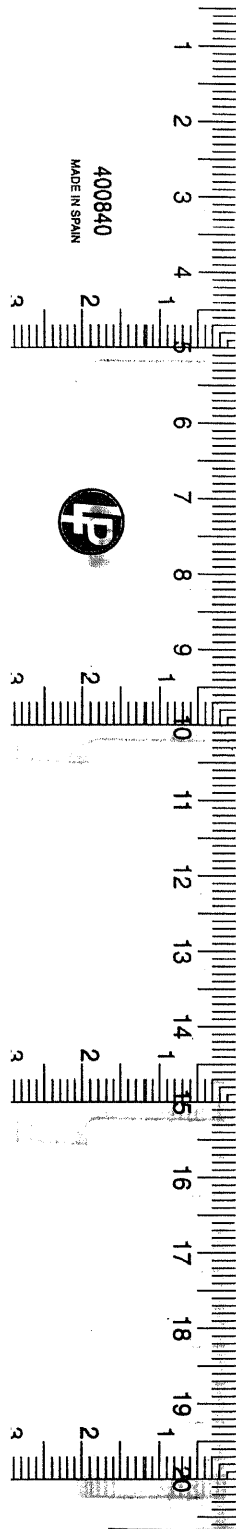
33

# Discursos

PRONUNCIADOS EN EL ACTO  
DE INVESTIDURA DE DOCTOR "HONORIS CAUSA"  
DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

**CRISTOPHER H. LLEWELLYN SMITH**

UNIVERSIDAD DE GRANADA  
MCMXCVII



33

# Discursos

PRONUNCIADOS EN EL ACTO  
DE INVESTIDURA DE DOCTOR "HONORIS CAUSA"  
DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

**CRISTOPHER H. LLEWELLYN SMITH**

UNIVERSIDAD DE GRANADA  
MCMXCVII

BIBLIOTECA HOSPITAL REAL  
GRANADA

Sala: C

Estante: 164

Numero: Caja 7 (33)

B13366440  
i 15307694

# Discursos

PRONUNCIADOS EN EL ACTO  
DE INVESTIDURA DE DOCTOR “HONORIS CAUSA”  
DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

**CRISTOPHER H. LLEWELLYN SMITH**

UNIVERSIDAD DE GRANADA  
MCMXCVII

DISCURSO PRONUNCIADO POR EL PROFESOR  
FRANCISCO DEL AGUILA GIMÉNEZ  
CON MOTIVO DE LA INVESTIDURA  
DEL PROFESOR CHRISTOPHER H. LEWELLYN  
SMITH COMO DOCTOR HONORIS CAUSA  
POR LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

© UNIVERSIDAD DE GRANADA  
DISCURSOS ACTO DE INVESTIDURA DOCTOR "HONORIS CAUSA"

Edita: Secretaría General de la Universidad de Granada  
Imprime: Gráficas La Madraza

*Printed in Spain*

*Impreso en España*

Excmo. Sr. Rector Magnífico

Claustro de Doctores de la Universidad de Granada

Señoras y Señores:

**L**a concesión del título de Doctor Honoris Causa siempre conlleva el reconocimiento mutuo entre la Institución y el Doctorando de un trabajo anterior por una causa común, y el deseo de compartir nuevos esfuerzos para lograr objetivos de otro modo difícilmente alcanzables.

En este caso la relación entre la Universidad de Granada, y en particular los miembros del Departamento de Física Teórica y del Cosmos, y el Profesor Christopher H. Llewellyn Smith, Director General del CERN, se inició casi 20 años atrás. En el pasado esta colaboración se redujo al ámbito científico y nuestro deseo es que en el futuro pudiera ampliarse, lo que requeriría un marco institucional más adecuado.

Tras una breve exposición de los méritos del Doctorando, describiré las características del Laboratorio Europeo para

la Física de Partículas que éste dirige y la situación actual de la Física de Altas Energías en España y Andalucía, para finalizar con un esbozo del beneficio que podría reportar a nuestra Comunidad Autónoma un apoyo institucional de reducido coste económico, pero decidido, a la investigación en Física de Partículas.

El Profesor de la Universidad de Oxford y Miembro de la Real Sociedad Christopher H. Llewellyn Smith propuso pruebas experimentales decisivas para confirmar la existencia de los quarks en procesos de colisión entre leptones y hadrones. Ha hecho famosa la regla de suma de Gross y Llewellyn Smith, que lleva su nombre y relaciona la dispersión de neutrinos y electrones con nucleones. Subrayo la relevancia de la estructura no abeliana de las interacciones electrodébiles para el buen comportamiento de las amplitudes de dispersión a gran energía de los bosones gauge. LEP2, ahora en funcionamiento en el CERN, permitirá su comprobación fehaciente. Fue el primero en calcular, simultáneamente con Marciano y Sirlin, las correcciones electrodébiles que relacionan las masas de los bosones gauge y las secciones eficaces de neutrinos, puestas en evidencia en LEP1, experimento recientemente finalizado en Ginebra. También ha estudiado las consecuencias fenomenológicas de supersimetría y el potencial experimental de un gran colisionador electrón-protón como HERA, actualmente en funcionamiento en Alemania.

Su trabajo se ha desarrollado en Oxford, Moscú, Stanford y Ginebra. El Departamento de Física Teórica de

Oxford, donde se inicio nuestra colaboración con el Doctorando, estaba formado por un prestigioso grupo de doctores, entre los que sobresalía el Profesor Christopher H. Llewellyn Smith, y numerosos becarios de todo el mundo. Diariamente todos nos reuníamos con el pretexto del te o café de las once de la mañana y de las cuatro de la tarde para discutir las ideas que durante el resto del día desarrollábamos en nuestros despachos. Aquel centro excelente y el Profesor Christopher H. Llewellyn Smith han ayudado a la formación de varias generaciones de científicos.

El Doctorando une al reconocimiento de su trabajo teórico una probada experiencia en el diseño de la política científica y la optimización de los recursos para su desarrollo. Ha sido miembro, entre otros, de los Comités de Expertos para la política en Física de Partículas y del futuro del CERN del Reino Unido. En 1987 la Universidad de Oxford le encomendó la modernización de los 5 Departamentos de Física tradicionales para adecuarlos a las demandas sociales, científicas y presupuestarias del momento. En 5 años unificó esos departamentos en uno solo y definió las políticas a seguir a corto y largo plazo para garantizar la permanencia del Departamento de Física de la Universidad de Oxford como centro de excelencia. En 1994 el Profesor Christopher H. Llewellyn Smith fue nombrado Director General del CERN, donde está guiando una reducción de recursos no traumática, sin modificar las expectativas de éxito del mayor acelerador del mundo de hadrones, el LHC. Ello lo exige la necesidad de adaptación a la situación internacional actual, que con escasa visión de futuro parece traducirse inexo-

rablemente en una reducción de los presupuestos dedicados a la investigación básica y también aplicada.

CERN es el acrónimo del Laboratorio Europeo para la Física de Partículas, que actualmente dirige el Doctorando. Es un centro internacional que incluye a 19 países, entre ellos todos los de la Unión Europea. Su presupuesto de 90.000 millones de pesetas anuales lo financian los países que lo forman según su producto interior bruto. España contribuye con el 6%, es decir, con unos 5.500 millones de pesetas anuales. El laboratorio, ubicado en Ginebra entre Francia y Suiza, tiene unos 3.100 empleados: 300 físicos, 200 de ellos becarios, 800 ingenieros y científicos, 1.100 técnicos, 400 administrativos y 500 obreros especializados.

El CERN es un centro es fundamentalmente experimental, y la complejidad y el tamaño de los experimentos que se hacen requieren la cooperación internacional para su realización. En los últimos 15 años este laboratorio, el mejor en su género del mundo, ha descubierto los bosones  $W^\pm$  y  $Z$ , y ha estudiado las propiedades de este último con una precisión sin parangón presente ni probablemente futuro. Por eso y por sus trabajos anteriores 4 de sus miembros han recibido el premio Nobel. El CERN es sinónimo de progreso en ciencia básica y aplicaciones tecnológicas. Por ejemplo, recientemente se ha obtenido por primera vez antihidrógeno, producido en interacciones de antiprotones con núcleos. Este sistema ligado atómico de antimateria es el más simple y permitirá el estudio de simetrías fundamentales que parece exhibir la Naturaleza. También el uso popular de Internet tiene su origen en

el CERN con la creación del WWW, acrónimo para la red mundial interactiva de información compartida. En la actualidad el esfuerzo del centro se concentra en la construcción del gran acelerador de hadrones LHC.

El CERN no sólo destaca por ser uno de los máximos exponentes de la investigación en Europa, sino por ser ejemplo paradigmático de la cooperación internacional. Además de conseguir que el trabajo conjunto de los científicos europeos alcance las mayores cotas de eficacia, cohesión y desarrollo, anticipo de lo que puede llegar a ser la Unión Europea, se adelantó a fenómenos como la caída del muro de Berlín o la integración de los países de Europa Central y del Este, haciendo de la investigación científica en Física de Partículas una empresa universal. El total de físicos e investigadores pertenecientes a 540 instituciones de casi todo el mundo, incluyendo Estados Unidos y Japón, que usan las instalaciones de Ginebra supera los 7.000.

España se integró en el CERN tras su creación, para retirarse posteriormente. Con la vuelta de nuestro país a la escena internacional y antes de su entrada en la Unión Europea, España pidió su reincorporación y los Reyes de España lo visitaron en 1984. Desde entonces el Estado español contribuye al mantenimiento y desarrollo del primer laboratorio mundial de investigación en Física de Partículas. Ese compromiso incluía la promoción interior de la Física de Partículas, en particular experimental, con una inversión que actualmente es del 10% de lo que se paga a Ginebra. Así se esperaba garantizar el máximo beneficio o retorno de esa cooperación europea.



Ese esfuerzo presupuestario durante más de una década ha significado la creación de grupos experimentales en Barcelona, Madrid, Santander, Santiago de Compostela, Valencia y Zaragoza. Es hoy sólo un deseo que exista uno de tales grupos en el sur de España. Por otro lado, los 10 grupos teóricos incluidos en ese Plan Nacional consumen menos del 10% de la inversión interior, y son básicamente financiados por las propias universidades o por el CSIC, que pagan sus salarios como docentes o investigadores. En Andalucía hay uno solo de esos grupos, el de la Universidad de Granada, también financiado en parte por el Plan Andaluz de Investigación.

El CERN, líder en ciencia y tecnología y ejemplo de cooperación internacional, ofrece una oportunidad única para el desarrollo y homologación de nuestros investigadores y tecnólogos. No solo permite colaborar con Europa en investigación de primera línea, sino que pone en contacto a nuestras industrias con las más avanzadas del continente compitiendo por contratos que exigen las mejores prestaciones. El esfuerzo español de participación descrito no ha revertido en el sur de España. No conocemos ninguna razón suficiente que justifique que se prolongue esta situación. El Director General del CERN apoya con su presencia la incorporación de Andalucía al desarrollo europeo en ese campo. La Universidad de Granada reconoce la importancia de esa investigación acogiendo al único grupo andaluz en el Plan Nacional de Física de Altas Energías. Parece, pues, el momento de que nuestra Comunidad Autónoma y el Estado español con el apoyo del CERN y la Universidad de Granada faciliten que el gran esfuerzo previsto y realizado revierta progresivamente en Anda-

lucía hasta acercarse a los retornos que le corresponden como 20% de España. Si se creara un Instituto de Física de Partículas de Andalucía que incluyera un grupo experimental, no sólo se facilitaría el desarrollo de la física experimental en nuestra Universidad y Comunidad Autónoma y se aproximaría el CERN y su alta tecnología a la industria andaluza, sino que se ayudaría a España a incrementar el número de sus físicos experimentales de Altas Energías. Este número, después de más de 10 años de apoyo institucional, está por debajo de la mitad de la media europea. Si Andalucía quiere, lo que hoy es una ilusión puede llegar a ser una realidad: en esta década un grupo experimental andaluz podría participar en el mayor proyecto científico llevado a cabo en el CERN, el LHC, investigando las propiedades de la única partícula del modelo electrodébil que todavía no se ha observado, el boson de Higgs.

Solo me queda dar las gracias al Profesor Christopher H. Llewellyn Smith y a la Universidad de Granada por brindarnos la oportunidad de hacer esta petición, y solicitar el grado de Doctor Honoris Causa para el Doctorando al Claustro de Doctores de la Universidad de Granada por sus grandes méritos.

DISCURSO PRONUNCIADO POR EL PROFESOR  
CHRISTOPHER H. LLEWELLYN SMITH  
CON MOTIVO DE SU INVESTIDURA  
COMO DOCTOR HONORIS CAUSA  
POR LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

Es un gran placer y honor estar aquí hoy. Quisiera aprovechar el privilegio de esta ocasión para hablar del CERN, el Laboratorio Europeo de Física de Partículas próximo a Ginebra, de la investigación que allí se hace por grupos de todo el mundo y de la importancia de esta investigación para España, para Europa y para el mundo.

La Física de Partículas estudia los constituyentes de la materia y las fuerzas que gobiernan su comportamiento al nivel más básico posible. La naturaleza de estos constituyentes y fuerzas determina la forma de toda la materia del Universo, y la arquitectura del Universo mismo.

Podemos describir la materia que vemos a nuestro alrededor con constituyentes que pueden o no ser realmente elementales. El primero que se descubrió fue el electrón. El descubrimiento del electrón lo anunció J.J. Thomson casi 100 años atrás, el 30 de abril de 1897. En los años que siguieron llegamos a entender la mecánica que describe el comportamiento de los electrones, y de hecho de toda la materia a pequeñas distancias, que llamamos Mecánica Cuántica. Usando ese conocimiento hemos aprendido a manipular electrones y a hacer artilugios de una importancia práctica y económica tremenda, tales como transistores y láseres.

Entretanto, ¿qué es lo que hemos aprendido de la naturaleza misma del electrón? Desde el principio los electrones parecían comportarse como partículas elementales, y todavía parece ser este el caso hoy. Sabemos que si el electrón tiene alguna estructura, ha de ser a distancias menores que  $10^{-18}$  m, esto es, menores que una mil millonésima de una mil millonésima de metro.

Sin embargo, una gran complicación apareció. Descubrimos que el electrón tiene un hermano, y primos, que son aparentemente también fundamentales. El hermano es una partícula eléctricamente neutra, llamada neutrino, que es mucho más ligero que el electrón. Los primos son dos partículas cargadas, llamadas muon y tau, que también tienen hermanos con carga nula. El muon y el tau parecen ser fotocopias del electrón, excepto porque son 200 y 3.500 veces más pesados. Su papel en la ordenación de las cosas y el origen de sus masas son un misterio, justo la clase de misterios que los físicos de partículas desean resolver.

Por tanto conocemos seis partículas aparentemente fundamentales: el electrón, el muon y el tau y sus hermanos sin carga, que al igual que el electrón no sienten la fuerza nuclear, y que son conocidos genéricamente como leptones.

¿Qué se sabe de los constituyentes de los núcleos atómicos, que obviamente sí sienten las fuerzas nucleares? A primera vista los núcleos están hechos de protones y neutrones, pero estas partículas no son elementales. Se vio que cuando se hacen chocar protones y neutrones se crean nuevas partí-

culas. Ahora sabemos que todas estas partículas están compuestas de entidades más elementales, llamadas quarks. En una colisión se pueden crear pares de quarks y de sus antipartículas, llamadas antiquarks: parte de la energía ( $E$ ) de las partículas incidentes puede transformarse en las masas ( $M$ ) de estas nuevas partículas, gracias a la famosa equivalencia  $E = Mc^2$ . Los quarks en los proyectiles y los pares quark-antiquark creados pueden entonces recombinarse para formar varias clases de nuevas partículas.

Hoy se conocen seis tipos de quarks, que como los leptones (el electrón y sus parientes) tienen propiedades simples, y pudieran ser elementales. En los últimos treinta años se ha desarrollado una receta que describe el comportamiento de estas partículas. Es el llamado "Modelo Estándar" de física de partículas. Pero nos falta un verdadero conocimiento de la naturaleza de estas partículas y de la lógica detrás del Modelo Estándar. ¿Qué está mal en el Modelo Estándar?

Primero, no combina consistentemente la teoría de Einstein de las propiedades del espacio (llamada Relatividad General) con la descripción mecánico-cuántica de las propiedades de la materia. Es por lo tanto lógicamente incompleta.

Segundo, tiene aparentemente demasiados aspectos arbitrarios, es demasiado barroca, demasiado bizantina para ser completa. No explica la finalidad del muon y del tau, ni responde a la pregunta de si el hecho de que el número de leptones y de quarks es el mismo es una coincidencia, o una indicación de la profunda conexión entre estos tipos diferentes de partículas. Sobre el papel, sabemos construir teorías que dan

respuestas mejores y explicaciones, y en las que existen tales conexiones, pero no sabemos cuál de estas teorías es correcta si es que alguna lo es.

Tercero, hay un elemento que falta, no comprobado. ese no es un detalle menor, sino un elemento central: el mecanismo para generar las masas observadas de las partículas conocidas, y por tanto también los rangos diferentes de las fuerzas conocidas (la gravedad y el electromagnetismo tienen largo alcance, como sabe quien ha utilizado una brújula, la fuerza nuclear y la llamada fuerza débil tienen muy corto alcance, aunque estas fuerzas son muy similares en todos los otros aspectos). Sobre el papel, se conoce un posible mecanismo, llamado el mecanismo de Higgs, por el físico británico que lo inventó. Pero hay mecanismos alternativos, y en cualquier caso el mecanismo de Higgs es una idea genérica. No sólo necesitamos saber si la Naturaleza lo usa, sino, si lo hace, como lo realiza en detalle.

Espero que estos pocos ejemplos ilustren el significado profundo de las preguntas que los físicos de partículas intentan responder. El modo de contestarlas es realizar experimentos que decidan sobre las diferentes respuestas propuestas, o que puedan revelar respuestas inesperadas. Afortunadamente las expectativas son buenas. Sabemos que la respuesta al misterio del origen de la masa y de los distintos rangos de las fuerzas, y otras cuestiones muy importantes, debe estar en el intervalo de energías que se exploraran en los experimentos del Gran Colisionador Hadronico, un nuevo acelerador ahora en construcción en el CERN cerca de Ginebra.

Las herramientas fundamentales de las que depende la física de partículas experimental son los grandes aceleradores, como el Gran Colisionador de Hadrones, que acelera partículas a energías muy grandes y luego las hace chocar. Estudiando lo que sucede en las colisiones de esas partículas, que son típicamente electrones o protones (los núcleos de los átomos de hidrógeno) aprendemos de su naturaleza.

Las condiciones que se crean en esas colisiones de partículas existieron justo después del principio del Universo, cuando éste era extremadamente caliente y denso. Lo que aprendemos en estos experimentos de física de partículas es por tanto indispensable para quienes desean entender la estructura del Universo como un todo, y como ha evolucionado desde una bola de fuego inicial hasta su forma actual.

Los aceleradores en el CERN y en cualquier otro sitio son, en cierto sentido, como grandes microscopios. Cuando mas grande es un microscopio, mas pequeños son los objetos que puede investigar. Análogamente, cuando mas grande es el acelerador y mayor la energía a la que puede acelerar las partículas, menor es la distancia a la que puede estudiar sus propiedades.

La finalidad del CERN es proveer aceleradores para el uso de los científicos de las Universidades e Institutos de Investigación de los 19 países miembros del CERN, entre los que esta España. En el CERN tenemos un gran acelerador circular de 27 kilómetros de circunferencia, que no sólo es el mayor acelerador del mundo sino, creo, el instrumento científico

mas grande del mundo. En estos momentos estamos construyendo un acelerador aún más potente, el Gran Colisionador de Hadrones, que será ubicado en el mismo túnel de 27 kilómetros.

Esos aceleradores son obviamente caros. Sin embargo, se debe recordar que su costo se divide entre 19 países con una población total de alrededor de 450 millones, y debe precisarse que cuando se corrige por inflación, el presupuesto del CERN es actualmente casi un 20% menos del que era veinte años atrás, cuando solo eran 13 los Estados Miembros. Debe también resaltarse que parte del coste de la construcción del Gran Colisionador de Hadrones será compartido con países de otras zonas del mundo, cuyos científicos desean participar en esta gran aventura científica.

El gasto está justificado por la importancia de la ciencia, y su contribución a nuestra cultura. Parece razonable que el mundo como un todo, con los costes repartidos como se ha propuesto para el Gran Colisionador de Hadrones, continúe empujando la frontera del conocimiento. Los científicos han sido sorprendentemente tímidos a la hora de promocionar la ciencia por razones culturales, y este es un fenómeno muy viejo como recoge Platón, quien en *La República* describe el diálogo siguiente sobre el plan de estudios universitario en un estado bien ordenado:

**Sócrates:** *¿Debe estar la Astronomía entre los temas de estudio?*

**Glauco:** *Creo que sí, Saber algo sobre las estaciones,*

*los meses y los años es útil para la milicia, también para la agricultura y para la navegación.*

**Sócrates:** *Me divierte ver cuánto miedo tienes, no sea que la gente te acuse de recomendar estudios inútiles.*

Yo seguiré a Glauco ahora justificando la utilidad de la física de partículas.

Primero, el conocimiento nuevo de las leyes y propiedades de la materia puede llevar inesperadamente a tecnologías y aplicaciones nuevas, como sucedió en el caso del electrón. Esto no parece que vaya a ocurrir, pero no es inconcebible. Es cierto, sin embargo, que las leyes y hechos de la Naturaleza que no son conocidos, no se pueden explotar.

Segundo, la física de partículas tiene importantes retornos: aparatos desarrollados para hacer investigación en un campo, después, inesperadamente, tienen otras aplicaciones. Por ejemplo los mismos aceleradores, que se desarrollaron para hacer investigación en física nuclear y de partículas. Hoy, hay unos 10.000 aceleradores en el mundo, de los que sólo cien o así se usan para su propósito original. El resto se utilizan en la industria, por ejemplo para implantar iones en la fabricación de semiconductores, y en hospitales: una persona de cada ocho en occidente será tratada de cáncer con radiación generada por un acelerador durante su vida. Los aceleradores son ahora también importantes herramientas de investigación en otras áreas de física. Los detectores desarrollados para física de partículas tienen muchos otros usos, particularmente en estudios médicos radiológicos (cristales desarrollados para detectar partículas en el CERN, sin otra aplicación en mente, se usan ahora en detectores literalmente en cientos de hospitales), en de-

tección de contrabando y también en otras áreas de la ciencia. Mi último ejemplo es la World Wide Web inventada en el CERN. No tiene nada que ver con física de partículas ni con el CERN, pero no es un accidente que se inventara en el CERN, donde científicos de 50 países trabajan juntos. Su necesidad apremiante de encontrar un modo simple de comunicarse llevó a la invención de la red, que probablemente no habría sido inventada todavía en ningún otro sitio.

Tercero, la muy alta tecnología que requieren los aceleradores y detectores que se usan en física de partículas tiene un efecto estimulante de catalizador al forzar con frecuencia a la industria a mejorar su capacidad técnica. En efecto, análisis detallados muestran que por cada peseta pagada por el CERN a la industria, la industria gana en promedio 3 pesetas de nuevo negocio, como resultado de las mejoras en las tecnologías y las técnicas que ha tenido que aprender para cumplir con el pedido inicial.

Cuarto, la física de partículas juega un importante papel educacional. Alrededor de 150 doctorados se obtienen cada año con trabajo hecho en el CERN. Casi la mitad de esos nuevos Doctores van, tarde o temprano, a trabajar en la industria, donde las capacidades que ellos han aprendido son muy valoradas, especialmente la capacidad de trabajar con grandes equipos internacionales en proyectos de muy alta tecnología. La física de partículas también juega un papel importante, junto con la astrofísica, como "abanderada de la ciencia" que despierta el interés de los escolares en la ciencia y la tecnología.

¿Qué relevancia tiene esto para España y para Granada?

Primero, es seguramente adecuado que una gran Universidad como es ésta deba participar en la excitante aventura intelectual de la física de partículas. Las preguntas fundamentales que son la motivación de la física de partículas son parte de la antigua y sobresaliente tradición andaluza de curiosidad y educación. Además, el espíritu del CERN, donde físicos de unas 80 nacionalidades colaboran juntos, es acorde con la gran tradición de tolerancia que caracterizó el período de las tres culturas cuando Andalucía era un foco de civilización. Es importante que Granada tenga un grupo de física de partículas teórico, pero es de lamentar que no tenga un grupo de física de partículas experimental.

¿Qué hay sobre transferencia de tecnología y retornos? Son todos los beneficios para Suiza, donde está emplazado el CERN? La respuesta es no. Nosotros reducimos lo que se hace en el CERN a un mínimo. Los pedidos industriales se hacen en toda Europa, y España tiene una participación razonable. Aún más importante, los componentes de los detectores de partículas gigantes que deben instalarse en el CERN para el estudio de las colisiones de partículas se fabrican en las universidades que participan en colaboración con su industria local. Los estudiantes están por lo tanto involucrados directamente, y los beneficios fluyen localmente. Además, en la medida en que es posible, el análisis de los datos acumulados en el CERN se hace en las universidades.

En conclusión, creo que el gasto público en física de partículas está bien justificado y tiene muchos beneficios. La primera razón para hacerlo, sin embargo, es satisfacer la curiosi-

dad humana, y espero que yo haya sido capaz de comunicar algo de lo emocionante de este campo de investigación, y de las grandes expectativas que se presentan ante nosotros.

It is a great honour and pleasure to be here today. I would like to use this privileged opportunity to speak to you about CERN, the European Laboratory for Particle Physics near Geneva, the research that is done there, by groups from all over the world, and the importance of this research for Spain, for Europe, and for the world.

Particle physics is the study of the constituents of matter and the forces that control their behaviour at the most basic level possible. The nature of these constituents and forces determines the form of all the matter of the Universe, and the architecture of the Universe itself.

We can describe the matter that we see around us in terms of a number of constituents, which may or may not be truly elementary. The first to be discovered was the electron. The discovery of the electron was announced by J.J. Thomson almost exactly 100 years ago, on 30th April 1897. In the intervening years we have come to understand the mechanics which describe the behaviour of electrons, and indeed of all matter on a small scale which is called Quantum Mechanics. By exploiting this knowledge, we have learnt to manipulate electrons and make devices of a tremendous practical and



economic importance, such as transistors and lasers.

Meanwhile, what have we learnt of the nature of the electron itself? From the start, electrons were found to behave as elementary particles, and this is still the case today. We know that if the electron has any structure, it is on a scale of less than  $10^{-18}$  m, i.e. less than 1 billionth of 1 billionth of a meter.

However, a major complication has emerged. We have discovered that the electron has a sibling, and cousins, which are apparently equally fundamental. The sibling is an electrically neutral particle, called the neutrino, which is much lighter than the electron. The cousins are two electrically charged particles, called the mu and the tau, which also have neutral siblings. The mu and the tau seem to be xerox copies of the electron, except that they are respectively 200 and 3,500 times heavier. Their role in the scheme of things, and the origin of their different masses, remain mysteries just the sort of mysteries which particle physicists wish to resolve.

We therefore know of six seemingly fundamental particles, the electron, the mu, the tau and their neutral siblings, which like the electron do not feel the nuclear force, and incidentally are known generically as leptons.

What about the constituents of atomic nuclei, which of course do feel the nuclear force? At first sight, nuclei are made of protons and neutrons, but these particles turned out not to be elementary. It was found that when protons and neutrons

are smashed together, new particles are created. We now know that all these particles are made of more elementary entities, called quarks. In a collision, pairs of quarks and their anti-particles, called anti-quarks, can be created: part of the energy (E) of the incoming particles is turned into mass (M) of these new particles, thanks to the famous equivalence  $E = Mc^2$ . The quarks in the projectiles and the created quark-antiquark pairs can then rearrange themselves to make various different sorts of new particles.

Today, six types of quarks are known which, like the leptons (the electron and its relations) have simple properties, and could be elementary. In the last thirty years a recipe which describes the behaviour of these particles has been developed. It is called the "Standard Model" of particle physics. However, we lack a real understanding of the nature of these particles, and the logic behind the Standard Model. What is wrong with the Standard Model?

First, it does not consistently combine Einstein's theory of the properties of space (called General Relativity) with a quantum mechanical description of the properties of matter. It is therefore logically incomplete.

Second, it contains too many apparently arbitrary features it is too baroque, too Byzantine to be complete. It does not explain the role of the mu and the tau, or answer the question whether the fact that the numbers of leptons and quarks are the same six each is a coincidence, or an indication of a deep connection between these different types of particles. On paper,

we can construct theories which give better answers and explanations, and in which there are such connections, but we do not know, which, if any, of these theories is correct.

Third, it has a missing, untested, element. This is not some minor detail, but a central element, namely a mechanism to generate the observed masses of the known particles, and hence also the different ranges of the known forces (long range for gravity and electromagnetism, as you know if you have used a magnetic compass, but very short range for the nuclear and the so-called weak forces, although in every other respect these forces appear very similar). On paper, a possible mechanism is known, called the Higgs mechanism, after the British physicist Peter Higgs who invented it. But there are alternative mechanisms, and in any case the Higgs mechanism is a generic idea. We not only need to know if Nature uses it, but if so, how it is realized in detail.

I hope these few examples have illustrated the profound significance of the questions that we particle physicists are trying to address. The way to answer them is to perform experiments which can distinguish the different answers that have been suggested, or reveal unexpected answers. Luckily the prospects are good. We know that the answer to the mystery of the origin of mass, and the different ranges of forces, and certain other very important questions, must lie in an energy range that will be explored in experiments at the Large Hadron Collider, a new accelerator now under construction at CERN near Geneva.

The fundamental tools on which experimental particle physics depends, are large accelerators, like the Large Hadron Collider, which accelerate particles to very high energies and smash them together. By studying what happens in the collisions of these particles, which are typically electrons or protons (the nuclei of hydrogen atoms), we can learn about their natures.

The conditions that we create in these collisions of particles existed just after the birth of the Universe, when it was extremely hot and dense. Knowledge derived from experiments in particle physics is therefore essential input for those who wish to understand the structure of the Universe as a whole, and how it evolved from an initial fireball into its present form.

The accelerators at CERN and elsewhere are, in a sense, like large microscopes. The larger a microscope, the smaller the objects that it can be used to investigate. Similarly, the larger the accelerator, and the greater the energy to which it can accelerate particles, the smaller the scale on which their properties can be studied.

The role of CERN is to provide accelerators for the use of scientists based in universities and research institutes in CERN's 19 Member States, of which Spain is one. At CERN, we have a large circular accelerator, 27 kilometers in circumference, which is not only the world's largest accelerator but, I believe, the world's largest scientific instrument. We are currently constructing an even more powerful accelerator, the

- Large Hadron Collider, which will be housed in the same 27-kilometer tunnel.

Such accelerators are obviously expensive. However, it should be recalled that the cost is shared between 19 countries with a total population of some 450 million, and it should be pointed out that, when corrected for inflation, the budget of CERN is actually some 20% less than it was twenty years ago, when there were only 13 Member States. It should also be pointed out that part of the cost of the construction of the Large Hadron Collider will be shared by countries in other regions of the world, whose scientists wish to participate in this great scientific adventure.

The expense is justified by the importance of the science, and its contribution to our culture. It is surely reasonable that the world as a whole should, with costs shared as proposed for the Large Hadron Collider, continue to push back this frontier of knowledge. Scientists have been surprisingly shy in promoting science on cultural grounds, and this is a very old phenomenon dating back to Plato, who in the Republic, describes the following dialogue, concerning the appropriate university syllabus in a well-ordered state:

“Socrates shall we set down astronomy among the subjects of study? Glaucon I think so, to know something about the seasons, the months and the years is of use for military purposes, as well as for agriculture and for navigation. Socrates it amuses me to see how afraid you are, less the people should accuse you of recommending useless studies.” I shall now

follow Glaucon in considering the utility of particle physics. First, new knowledge of fundamental laws and properties of matter may lead to quite unexpected new technologies and applications, as was the case for the electron. This may not be likely, but it is not inconceivable. It is certainly the case, however, that laws and facts of nature that remain unknown, cannot be exploited.

Second, particle physics has important spin-offs, meaning devices developed to do pure research in one field, which turn out, usually unexpectedly, to have other applications. I only have time to give a few examples. The first is accelerators themselves, which were developed to do pure research in nuclear and particle physics. Today, there are some 10,000 accelerators in the world, of which only a hundred or so are used for their original purpose. The rest are in use in industry, for example to implant ions in the manufacture of semi-conductors, and in hospitals: one person in eight in the Western world will be treated for cancer by radiation generated by an accelerator during their lifetimes. Accelerators are now also used as very important research tools in many other areas of science. Detectors developed for particle physics have also found many other uses, particularly in medical imaging (crystals developed for detecting particles at CERN, without any other applications in mind, are now in use in detectors in literally hundreds of hospitals), in the detection of contraband, and again in other areas of science. My last example is the World Wide Web which was invented at CERN. It has nothing to do with particle physics or CERN, but it is not an accident that it was invented at CERN, where scientists based in some

50 countries collaborate together. Their pressing need to find a simple way to communicate led to the invention of the Web, which would probably not yet have been invented elsewhere. Third, the very high technology which goes into the accelerators and detectors used in particle physics has a catalytic, stimulating, effect through frequently forcing industry to improve its technical capacity. Indeed, detailed surveys have shown that for every Peseta paid to industry by CERN, that industry on average gains 3 Pesetas of extra business, as a result of improved technologies and techniques that it has learnt in fulfilling the original order.

Fourth, particle physics has an important educational role. Some 150 PhDs are awarded every year based on work done at CERN. Over half these new Doctors go on, sooner or later, to work in industry, where the skills they have learnt are highly valued, in particular the ability to work in big multinational teams on very high technology projects. Particle physics also plays an important role, together with astronomy, as a "flagship science" which awakens the interest of school children in science and technology.

What relevance does this have for Spain and for Granada? First, it is surely appropriate that a great University such as this one should participate in the exciting intellectual adventure of particle physics. The fundamental questions that are the focus of particle physics are part of the outstanding and ancient Andalucian tradition of enquiry and scholarship. Furthermore, the spirit of CERN, where scientists of over eighty nationalities collaborate together, is in the great tradition

of tolerance that characterised the period of the three cultures when Andalucia was a beacon of civilization. I am pleased that Granada does have a group of theoretical particle physicists, but sorry that it does not have a group of experimental particle physicists.

What about technology transfers and spin-offs? Are all the benefits going just to Switzerland, where CERN is situated? The answer is no. We reduce what is actually done at CERN to a minimum. The industrial orders that we place go all over Europe, and Spain gets a reasonable share. Even more importantly, the components of the giant particle detectors that must be installed to study particle collisions at CERN are fabricated in the Universities that are involved in close collaboration with their local industries. These students are therefore directly involved, and the benefits flow locally. Furthermore, as far as possible, analysis of the data accumulated at CERN is undertaken in the universities.

In conclusion, I believe that public expenditure on particle physics is well justified and has many benefits. The primary reason for doing it is, however, to satisfy mankind's curiosity, and I hope that I have been able to convey some of the excitement of this field of research, and the exciting prospects that lie ahead.



Biblioteca Universitaria de Granada



01042429