

# EL CONOCIMIENTO DE LA MICROESTRUCTURA DE LA MATERIA Y LOS PROBLEMAS DE LA INVESTIGACION FÍSICA ACTUAL

por el Prof. WILLIBALD JENTSCHKE

De la Universidad de Hamburgo, Director del Instituto Estatal de Física

Con impresionante velocidad se desplaza hoy el límite entre lo explorado ya conocido y lo nuevo desconocido. Lo que todavía hace 50 o 20 años era tierra virgen para la investigación, hoy pertenece a la firme estabilidad de nuestro saber: la onda eléctrica, la fuerza cohesiva de las moléculas, el orden de los electrones en los átomos, la emisión y absorción de la luz... todo esto son problemas que hace 50 años quitaban el sueño a los físicos. Hoy son comprendidos y han encontrado innumerables aplicaciones en nuestra vida diaria.

La exploración de nuestro mundo se realiza actualmente en dos direcciones cardinales, entre sí opuestas, mas relacionadas en estrecho acoplamiento: la exploración de las dimensiones más vastas y más diminutas del Universo. Los límites del mundo subatómico son actualmente situados —en forma aproximada— a unos  $10^{14}$  cm., es decir, a 1/10.000 de un millar de millones de milímetros, aproximadamente, mientras en el macrocosmos se sitúan a unos 6 mil millones de años-luz, en los más remotos mundos galácticos, por lo tanto, que aún podemos observar con nuestros más poderosos y gigantes telescopios. Paso a paso, en una tarea de centurias, se logró penetrar en lo más íntimo de la materia: de las moléculas a los átomos con los electrones que giran en torno al núcleo y finalmente, al núcleo mismo, que consta de protones y neutrones, así como a los mesones, que con fuerzas enormes mantienen la cohesión de los núcleos. Y finalmente se logró un atisbo en lo íntimo de los elementos constructivos fundamentales de nuestro mundo: del protón y del neutrón mismos.

En la investigación de las partículas elementales podemos distinguir tres fases. Empieza la primera con el descubrimiento del núcleo atómico por Rutherford en 1911, quien demostró que el átomo responde a la forma de un sistema planetario, con el núcleo atómico en el lugar del sol y los electrones en el lugar de los planetas. La naturaleza elemental del átomo quedó así destruida.

Niels Bohr logró un nuevo y gran avance (1913) en el terreno de los enigmas de la constitución de la envoltura electrónica del átomo con su presunción de que entre las innumerables órbitas electrónicas posibles según la mecánica clásica, sólo a los electrones del hidrógeno le son permitidas muy determinadas órbitas y que el electrón que gira no irradia luz constantemente como debiera ser de

acuerdo con la electrodinámica clásica, sino sólo cuando desde una de sus órbitas permitidas se verifica, sucesivamente, un salto cuántico. Las consideraciones de Bohr se basaron en el concepto de los cuantos de Max Planck, ampliado por Albert Einstein con su idea de los cuantos luminicos (1905). Sólo en virtud de la idea de las ondas también para las partículas materiales pudo desarrollarse una comprensiva teoría, exenta de contradicción, en forma de mecánica cuántica o de ondas. Así como pudo probarse la presencia de la onda luminica en forma de partícula, pudo también demostrarse un carácter de onda en las partículas. Constituye un triunfo de la mecánica cuántica el haber llegado a comprender este dualismo, que se basa en la existencia del cuanto operante de Planck.

También las cualidades de la envoltura electrónica pudo ser comprendida con ayuda de las cualidades de la onda. La aparente imagen de los electrones que se mueven en sus órbitas se ha desvanecido. En cuanto es sencillamente posible calcular una imagen de la envoltura de los electrones de un átomo, constituye ésta una especie de difusa nube. No el acontecer objetivo: sólo la probabilidad de que se produzcan determinados eventos puede ser expresada con fórmulas matemáticas.

Núcleo y envoltura son en todo opuestos. El núcleo atómico tiene carga eléctrica positiva, la envoltura consta de electrones negativos, que son las partes elementales primarias de la electricidad. El núcleo contiene prácticamente toda la masa del átomo. La envoltura es muchos miles de veces más liviana que el núcleo. El diámetro del núcleo es sólo 1/10.000, aproximadamente, que el de la envoltura de los electrones. Por eso el interior del átomo parece vacío en su mayor parte y permeable a la irradiación de la materia, mientras en el núcleo la materia está tan apretada que la cabeza de un alfiler, si estuviera constituida por tan compacta materia pesaría diez mil toneladas.

Los conocimientos sobre la envoltura electrónica son muy completos, de modo que la mayor parte de los fenómenos que en la tierra que habitamos nos rodean se pueden, en principio, comprender. Nos brindan una base para comprender la constitución de todas las sustancias de la tierra: las cualidades de los cuerpos sólidos, de los gases y los líquidos. Comprendemos además, los fenómenos eléctricos, la emisión luminica y su absorción atómica, los cromatis-



La física nuclear del año 30 nos demostró que el núcleo consta de un compacto cúmulo de protones de carga positiva y neutrones eléctricamente neutrales. En la envoltura de los electrones están éstos bajo el influjo central del núcleo de carga positiva. Sus acciones recíprocas son insignificantes. Sólo las fuerzas eléctricas representan un papel.

En el núcleo del átomo ocurre algo distinto. No existe en él un centro como punto de partida de la fuerza cardinal. No pueden ser fuerzas eléctricas la causa de su cohesión, ya que las únicas fuerzas de esta especie son las fuerzas eléctricas de repulsión de los protones. Debe, pues, existir otra energía: la energía nuclear. Es cien veces mayor que la energía electromagnética. Pero con todo lo enorme de su magnitud sólo tiene un alcance de una billonésima parte de milímetro. Es causa de la acumulación y cohesión de los elementos constructivos elementales en estas diminutas dimensiones.

Para la fase próxima de la investigación de las partículas elementales no puede darse una imagen dotada de unidad como para las dos primeras. Todavía hace veinte años parecían ser protones, neutrones y electrones, los últimos e inmutables elementos constructivos de la materia. Pero que también el protón y el neutrón evidencian una estructura sólo se averiguó con las investigaciones sobre la naturaleza de las fuerzas nucleares. Fue una audaz idea del físico japonés Yukawa atribuir las energías nucleares a la existencia de una nueva partícula: la llamada mesón. Los protones y neutrones del núcleo intercambian mesones constantemente, en lapsos inmensurablemente pequeños, por emisión y absorción. En virtud de este juego recíproco se realiza la acción de la energía operante entre ambas partículas elementales.

Yukawa incluso calculó, tomando como punto de partida las cualidades de las energías nucleares, las mínimas energías que serían necesarias para la producción de los mesones. De hecho pudo comprobarse la libre existencia de los mesones en la naturaleza. Siempre que se encuentra un protón o neutrón con energías superiores a un par de centenares de millones de voltios electrónicos se observa una irradiación de mesones, lo que constituye una impresionante confirmación de lo acertado de las ideas de Yukawa.

Según estas ideas todo neutrón y protón, para la emisión y reabsorción en un medio temporal, tendría que estar rodeado por una nube de carga que procede de los mesones.

Para poder investigar la estructura electromagnética de las partículas elementales, necesitamos electrones cuya longitud de onda sea menor que el radio de las partículas elementales. Debe, por lo tanto, ser de magnitud menor a la billonésima parte de un milímetro. Significa esto que se necesitan miles de millares de millones de voltios electrónicos. Para la producción de estas energías es necesaria la construcción de aceleradores de alta energía. El acelerador de electrones de Hamburgo proporciona electrones con una energía de seis millares de millones de voltios electrónicos. Aceleradores de alta energía son, pues, los gigantesos mi-

croscopios para la exploración del mundo subatómico. Nos permiten penetrar en dimensiones de  $10^{-12}$  cm.

En la investigación de la estructura de una partícula elemental —del protón, por ejemplo— deberá renunciarse a una imagen real y conformarse con las informaciones que pueden obtenerse de un ensayo de dispersión en el que son utilizados electrones de alta energía como finas sondas.

En la ordenación empleada en los ensayos son disparados sobre hidrógeno electrones de varios miles de millones de voltios electrónicos. Según acierten los electrones a los protones en el átomo de hidrógeno son desviados en determinada dirección y dispersados. Si los protones tuvieran forma de punto debería resultar una distribución exactamente matemática. De hecho se evidencian claras desviaciones de esta imagen. Los protones, por lo tanto, no pueden tener forma de punto. Se les debe considerar, más bien, como una nube de materia de carga eléctrica positiva, con un radio de 0,8 billonésimos de milímetros. Los resultados obtenidos confirman cualitativamente el criterio de Yukawa de que el protón está rodeado de una nube de mesones. Según las últimas mensuras llevadas a efecto con el acelerador de Hamburgo<sup>1</sup>, en virtud de la alta energía electrónica de que se dispone, que asciende a seis mil millones de voltios, es posible medir hasta lo más íntimo del protón. Tampoco en el centro del protón hay la concentración de un cúmulo de carga. En el núcleo no pueden distinguirse entre sí la nube de mesones y el protón.

La inmutabilidad de protones y neutrones se evidencia mucho más claramente aún cuando en un acelerador de alta energía se hacen chocar entre sí los protones con energías de miles de millones de voltios. En el centro de Europa, en Ginebra, existe, por ejemplo, un acelerador de protones para la investigación nuclear donde los protones pueden ser sometidos a energías de 28 mil millones de voltios electrónicos. Fue descubierto un nuevo mundo de partículas, llegándose a producir más mesones y numerosas partículas más pesadas que el protón y el neutrón. El número de las partículas conocidas, de las que muchas sólo tienen una duración de menos de  $10^{-20}$  segundos, es ya de más de 200. Acaso sea su número ilimitado. Pueden producirse partículas de toda especie, al entrec chocar con otras partículas, de la energía dinámica, de las partículas que entrec chocan, de acuerdo con la ley de la equivalencia de Einstein. El mundo que conocemos consta esencialmente de protón, neutrón, electrón y los cuantos de la irradiación por ser los de mayor estabilidad de toda la familia de partículas elementales y no porque esta especie de partículas sean elementales especialmente.

A pesar de la inmutabilidad de las partículas elementales no transcurren los procesos de las partículas elementales caóticamente. La experiencia nos enseña que cumplen determinadas condiciones que se expresan en la inmutabilidad temporal de muy determinadas magnitudes. Constituye una peculiaridad de nuestra naturaleza el hecho de que la conservación de estas magnitudes se manifiesta en la presencia

<sup>1</sup>Construido y dirigido su funcionamiento por el propio Jentschke.

de correspondientes simetrías. Así, por ejemplo, las leyes de movimiento o energía de las partículas elementales son independientes de la especial orientación en el espacio, es decir, son rotativamente simétricas. Dirac fue el primero en enunciar como condición previa un simétrico carácter de ley en el sentido de que toda partícula está subordinada a una antipartícula. Se demostró que la materia sólo conjuntamente con la antimateria puede producirse.

Un cuanto luminico energético —un fotón— puede transformarse directamente en un par de electro-positrones en determinadas condiciones. El positrón de carga positiva es la antipartícula del electrón de carga negativa. Cuando un positrón tropieza con un electrón se destruyen mutuamente y transforman su masa en rayos luminicos de onda corta.

Debido a la mucho más alta masa del protón, se necesita, naturalmente, una energía mucho mayor para producir el antiprotón o antineutrón. Se requieren aquí varios miles de millones de voltios electrónicos. Sólo recientemente ha sido posible producir antiprotones, sobre la base de cuantos luminicos altamente energéticos, con el acelerador de Hamburgo.

Se sabe que en nuestro sistema de galaxias no existen antiprotones y por ello no existe un antimundo. Si remotos sistemas galácticos constan de antimateria es un problema por resolver.

Sobre base empirica se ha conseguido en los últimos años establecer un esquema de orden de las partículas elementales. Hasta hace poco parecían los valores exactos de masa, la duración y otros parámetros de las partículas elementales un cúmulo de hechos empíricos. Sólo pocos principios esenciales de un orden habían sido descubiertos.

Se ha valorizado especialmente un esquema desarrollado por Gell-Mann y Neeman que ordena las partículas elementales en grupos de modo por completo similar a los espectros del átomo. En el "zoológico de las partículas elementales" son éstas, en cierto modo, clasificadas en especies y familias. La demostración experimental de la —previamente enunciada con exactitud en todas las cualidades esenciales— partícula omega, fue un considerable éxito de este esquema.

La última época de la investigación nos ha permitido, con la ayuda de las grandes máquinas aceleradoras, inesperados atisbos en la estructura del mundo subatómico. Existe un incalculable número de partículas elementales, la composición de cada una de las cuales no es simple, sino, a su vez de conexión propia. A pesar de un muy vasto conocimiento

de los fenómenos no poseemos todavía una teoría general de las partículas elementales. Se ha logrado establecer un sistema de las partículas elementales comparable al sistema periódico de los elementos. Pero una mayor simplificación que respondería a la reducción de los 92 elementos a los tres constructivos fundamentales —neutrón, protón, electrón— no se ha logrado todavía en la esfera de las partículas elementales. Pero existen prometedores comienzos para la solución de este difícil problema.

Para la tarea de esta investigación se requieren grandes inversiones. Los aceleradores de alta energía son los instrumentos de exploración de mayor tamaño, y ciertamente, los más caros también, de la ciencia moderna. Centenares de científicos y técnicos proyectan, construyen y manejan el acelerador. Para la preparación de los experimentos se necesitan años de planificación y trabajo previo. La realización de un experimento exige la colaboración de un grupo de científicos y técnicos. La técnica experimental de la física de las partículas elementales abarca una vasta esfera, que va desde la técnica de las más bajas temperaturas y la construcción de máquinas eléctricas a la técnica de las micro-ondas y la elaboración automática de los datos. En tan complicada tierra virgen es necesario poner a contribución toda la capacidad de la inteligencia humana para poder avanzar. Un sólo investigador no puede llegar aquí a la meta.

Ahora bien, estos centros de investigación no pueden prosperar si les falta el contacto directo con las Universidades. Las mejores instalaciones al cabo sirven para poco si dotados estudiantes o jóvenes científicos no enriquecen la tarea con nuevas ideas en estos laboratorios. Con gratitud reconocemos el comprensivo apoyo que en este aspecto hemos recibido de las Universidades.

Por otra parte, las Universidades deberían, por si mismas, hacer posible a sus profesores y estudiantes la colaboración en importantes organizaciones de investigación, que no puede ser cultivada en distintas Universidades debido a la aportación económica que exigen. La tendencia a grandes laboratorios y al trabajo en comunidad y grupos, en el que una meta elegida en común permita colaborar a investigadores de diversas especialidades, se intensificará en el futuro considerablemente. Quedará, no obstante, lugar para el sabio independiente. Ya sea en grupos o individualmente, en el cultivo de la ciencia, el avance del conocimiento, en sus impulsos decisivos, seguirá procediendo del individuo, hoy como ayer.