

El núcleo atómico: Un modelo contemporáneo

Por: JUAN MANUEL PEREA*

El núcleo atómico es un objeto extremadamente denso de forma esférica constituido por protones y neutrones acomodados muy juntamente. Los estudios de la estructura atómica hiperfina han demostrado que la distribución de carga de los núcleos no es del todo esférica sino que forma un elipsoide de revolución. Los protones y neutrones reciben el nombre colectivo de NUCLEONES y durante muchos años se creyó que estos eran verdaderas partículas elementales. No obstante, estas partículas no son elementales, ya que poseen una estructura interna formada por partículas más pequeñas además de las existentes en el núcleo. Los protones y los neutrones son muy similares ya que poseen propiedades físicas casi idénticas. Una diferencia importante se encuentra en su carga eléctrica: los protones tienen una carga positiva unidad, y los neutrones no poseen carga.

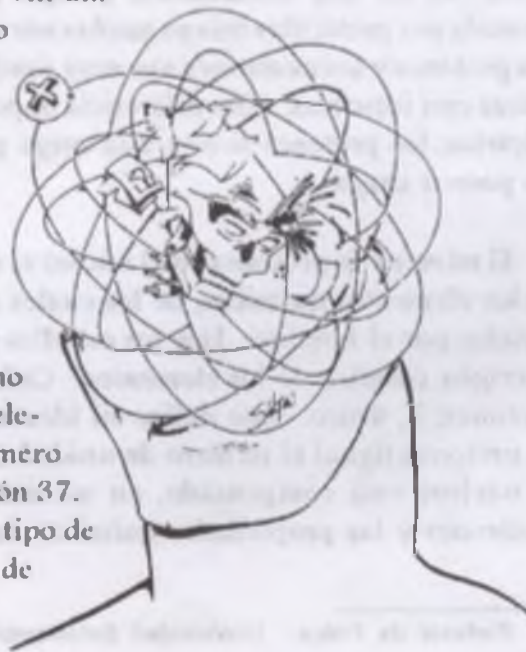
El número de protones en el núcleo es el que proporciona la diversidad de los elementos químicos, de los cuales se conocen 109, incluyendo los creados por el hombre. Hoy los estudios de Astrofísica Nuclear explican el origen cósmico de los elementos. Cada elemento tiene un número de protones, Z , único. Este define su identidad química, ya que el número de protones (igual al número de unidades de carga eléctrica presentes en el núcleo) está compensado, en un átomo neutro, por el número de electrones y las propiedades químicas de cualquier elemento dependen

* Profesor de Física. Universidad Surcolombiana.

exclusivamente de sus electrones orbitales. El átomo más ligero y pequeño, el de hidrógeno tiene un protón y por lo tanto un electrón; el átomo mayor y más pesado que existe en la naturaleza, el de uranio, tiene 92 protones y 92 electrones.

Para explicar la estabilidad de los elementos y estudiar la física del núcleo, se debe tener en cuenta el número de neutrones, N , de cada núcleo, que puede variar considerablemente de un núcleo a otro de un mismo elemento. El núcleo de hidrógeno, por ejemplo, tiene un protón y ningún neutrón, lo cual constituye un caso único entre todos los núcleos. Por otro lado, un núcleo de hidrógeno también puede existir bajo la forma de un protón y un neutrón ($Z=1$, $N=1$), recibiendo el nombre de DEUTERON, y el átomo, con su electrón único, se denomina DEUTERIO. No obstante, químicamente continúa siendo hidrógeno, al igual que la forma más pesada y radiactiva denominada TRITIO, la cual tiene un protón y dos neutrones ($Z = 1$, $N = 2$). El núcleo de tritio es el TRITON.

Estos núcleos distintos de un único elemento químico, que difieren únicamente en el número de neutrones, reciben el nombre de ISÓTOPOS. Cada elemento tiene por lo menos varios isótopos (estables e inestables) e incluso algunos de los más pesados tienen más de 35. Aunque las propiedades químicas de los isótopos de un elemento dado son las mismas, sus propiedades nucleares pueden ser tan diferentes que es preciso identificar sin ambigüedades cada isótopo conocido hipotético del elemento. La manera más sencilla de realizar este proceso consiste en utilizar el nombre del elemento y su NÚMERO MÁSCICO, A , el cual es simplemente la suma de su número de protones y neutrones: $A = Z + N$. Debido a que diferentes combinaciones de Z y N pueden dar el mismo valor de A , núcleos de diferentes elementos pueden tener el mismo número másico, por ejemplo cloro 37 y argón 37. Para enfatizar la unicidad de cada tipo de núcleo que puede ser identificado de forma separada, los científicos se refieren a ellos como NUCLIDOS.



Los elementos químicos poseen unos 300 núclidos estables y unos 2400 radiactivos (es decir, que se desintegran espontáneamente). La mayor parte de estos últimos no existen en la naturaleza sino que han sido creados en los aceleradores de partículas o en los reactores nucleares. Estas máquinas de la Física Moderna también pueden crear condiciones experimentales que son drásticamente distintas de las que ordinariamente existen en la tierra pero que, tal vez, son similares a las que existen en otros lugares menos hospitalarios del Universo. Por lo tanto, estas máquinas permiten extender el dominio intelectual del hombre a regiones que, de otro modo, serían inaccesibles.

El principal objetivo de la física nuclear es la investigación experimental y teórica del amplio abanico de núcleos existentes en los elementos químicos. En el estudio de la espectroscopia nuclear, por ejemplo, los físicos experimentales realizan muchos tipos de medidas cuya finalidad es caracterizar detalladamente el comportamiento de los núclidos y encontrar estructuras y simetrías que permitirán ordenar e interpretar, en términos de principios unificadores, enormes cantidades de información. Los físicos teóricos por otra parte, buscan estos principios unificadores a través de cálculos basados en los datos existentes y en las leyes fundamentales de la naturaleza. Su intención es, no sólo explicar todos los hechos conocidos de la física nuclear, sino también predecir otros nuevos cuya verificación experimental confirmará la corrección de la teoría y extenderá los límites de su aplicabilidad.

La intención de los físicos nucleares es comprender, en primer lugar, la estructura de los núcleos en términos de sus partículas constituyentes, la dinámica de los núcleos en términos de los movimientos de estas partículas y, por último, las interacciones fundamentales entre las partículas que gobiernan estos movimientos. El estudio de estos conceptos se realiza, de forma experimental, a través de la espectroscopia nuclear y del análisis de los diversos tipos de reacciones nucleares, mientras que la teoría se lleva a cabo mediante la construcción de modelos matemáticos simplificados que solucionan el problema de muchos cuerpos.

Estos modelos nucleares son de diferentes tipos. Los modelos de partículas independientes permiten examinar el movimiento de un único nucleón en términos de un campo de fuerzas promedio estacionario producido por los demás nucleones. El modelo de partículas independientes mejor conocido es el MODELO DE CAPAS, llamado así porque impone la construcción de capas de nucleones análogas a las de los electrones en la teoría de la estructura atómica. En el otro extremo, los modelos colectivos hacen referencia al movimiento de los nucleones de un núcleo de forma

concertada (colectivamente) de manera simple o compleja, al igual que las moléculas de un fluido pueden moverse suavemente o turbulentamente. De hecho, el modelo colectivo mejor conocido, el modelo de la GOTA LIQUIDA, se basa en analogías con el comportamiento de una gota líquida.

En la naturaleza, la denominada fuerza fuerte mantiene el núcleo atómico unido a pesar de la importante repulsión electrostática que ejercen entre sí los protones cargados positivamente. La distancia sobre la cual se ejerce la fuerza fuerte es, no obstante, extremadamente pequeña: unos 10^{-15} metros ó un FENTOMETRO (conocido comunmente como un Fermi en honor del físico nuclear Enrico Fermi). El tamaño de un nucleón es de un fermi. El tiempo requerido por la luz para atravesar esta distancia increíblemente corta es, a su vez, infinitesimal: solo $3 \cdot 10^{-24}$ segundos. El tiempo característico empleado por muchos fenómenos que tienen lugar en el núcleo no es mucho mayor que éste, es decir, se sitúa entre 10^{-23} y 10^{-22} segundos, lo que corresponde viajando a la velocidad de la luz a una distancia comprendida en tres 3 y 30 Fm. Este es el dominio de la fuerza fuerte que controla el núcleo; incomprensiblemente remoto para nuestra experiencia cotidiana.

Los nucleones del interior del núcleo se atraen fuertemente entre sí mientras se mueven dentro de los confines del volumen nuclear. Sin embargo, si intentan acercarse demasiado entre sí, la fuerza fuerte se vuelve bruscamente positiva e impide que esto ocurra. Es como si cada nucleón poseyera un escudo impenetrable a su alrededor que impidiera cualquier contacto directo con otro nucleón. Por lo tanto, el comportamiento de la fuerza fuerte, es tan complejo, que el análisis de las interacciones múltiples nucleón-nucleón es altamente difícil de resolver.

La fuerza débil, es la responsable de la desintegración de muchos núclidos radiactivos y de muchas partículas inestables, así como de todas las interacciones en las que intervienen las partículas denominadas neutrinos. Esta fuerza es menos intensa en los núcleos que las fuerzas electromagnética y fuerte, pues sólo tiene 10^{-5} veces la intensidad de la última, pero es extremadamente fuerte comparada con la gravitación. También, la distancia sobre la cual es efectiva es más pequeña que la de la fuerza fuerte: unos 10^{-18} m o 0,001 Fm. aproximadamente la milésima parte de diámetro de un nucleón. Actúa directamente sobre procesos que son relativamente lentos en la escala de tiempo nuclear, ya que emplean 10^{-10} segundos o más para actuar. Por pequeño que pueda parecer este tiempo, constituye alrededor de un billón de veces más que el tiempo requerido por los procesos gobernados por la fuerza fuerte.

El núcleo, tal como se conoce actualmente, no está compuesto únicamente de protones y neutrones, los cuales, a su vez, no son partículas elementales. Por lo tanto, para comprender adecuadamente en núcleo atómico se deben tener en cuenta todas las demás partículas que puedan existir en diferentes situaciones, así como su composición y la de los nucleones.

Actualmente, los físicos sostienen la teoría de que existen tres clases de partículas elementales (LEPTONES, QUARKS Y BOSONES VECTORIALES) y que cada partícula, elemental o no, tiene su correspondiente antipartícula. Una antipartícula difiere de su partícula ordinaria en que algunas de sus propiedades elementales, tal como las cargas eléctricas, son opuestas. Por lo tanto, la antipartícula del electrón está cargada positivamente y se denomina positrón; los antinucleones son el antiprotón, cargado negativamente, mientras que el antineutrón es neutro. La antipartícula de una antipartícula es la partícula original y algunas de ellas, como el fotón, son consideradas como sus propias antipartículas.

Veamos en qué consiste cada clase de partículas:

Leptones: Son partículas que interactúan débilmente, es decir, experimentan la interacción débil pero no la fuerte y son considerados como entidades puntuales sin estructura. El más familiar de los leptones es el electrón. Otros dos leptones son la partícula TAU, o TAUON, y el MUON, que son idénticos al electrón excepto en su masa siendo el primero 3500 veces más pesado que el electrón y el segundo 200 veces más pesado. Asociado con cada uno de estos tres leptones cargados existe un leptón denominado NEUTRINO; por lo tanto, hay un neutrino electrónico, un neutrino muónico y un neutrino tauónico.

Quarks: Son partículas que presentan interacción fuerte y débil a la vez. Aparentemente, no pueden existir como partículas libres en condiciones normales sino que solo pueden existir como combinaciones ligadas de tres quarks, tres antiquarks, o una pareja quark - antiquark. Por lo tanto, aunque se cree que son verdaderas partículas elementales, sólo pueden ser estudiadas dentro de los confines de las partículas compuestas, las cuales, a su vez, se encuentran a menudo en el interior de un núcleo. Esta aparente incapacidad de los quarks de escapar, bajo condiciones ordinarias, de su estado de ligazón recibe en nombre de confinamiento de los quarks. Hay seis tipos fundamentales de quarks clasificados en tres parejas o familias. Estas y sus nombres son respectivamente: UP (arriba)

El núcleo, tal como se conoce actualmente, no está compuesto únicamente de protones y neutrones, los cuales, a su vez, no son partículas elementales. Por lo tanto, para comprender adecuadamente en núcleo atómico se deben tener en cuenta todas las demás partículas que puedan existir en diferentes situaciones, así como su composición y la de los nucleones.

Actualmente, los físicos sostienen la teoría de que existen tres clases de partículas elementales (LEPTONES, QUARKS Y BOSONES VECTORIALES) y que cada partícula, elemental o no, tiene su correspondiente antipartícula. Una antipartícula difiere de su partícula ordinaria en que algunas de sus propiedades elementales, tal como las cargas eléctricas, son opuestas. Por lo tanto, la antipartícula del electrón está cargada positivamente y se denomina positrón; los antinucleones son el antiprotón, cargado negativamente, mientras que el antineutrón es neutro. La antipartícula de una antipartícula es la partícula original y algunas de ellas, como el fotón, son consideradas como sus propias antipartículas.

Veamos en qué consiste cada clase de partículas:

Leptones: Son partículas que interactúan débilmente, es decir, experimentan la interacción débil pero no la fuerte y son considerados como entidades puntuales sin estructura. El más familiar de los leptones es el electrón. Otros dos leptones son la partícula TAU, o TAUON, y, el MUON, que son idénticos al electrón excepto en su masa siendo el primero 3500 veces más pesado que el electrón y el segundo 200 veces más pesado. Asociado con cada uno de estos tres leptones cargados existe un leptón denominado NEUTRINO; por lo tanto, hay un neutrino electrónico, un neutrino muónico y un neutrino tauónico.

Quarks: Son partículas que presentan interacción fuerte y débil a la vez. Aparentemente, no pueden existir como partículas libres en condiciones normales sino que solo pueden existir como combinaciones ligadas de tres quarks, tres antiquarks, o una pareja quark - antiquark. Por lo tanto, aunque se cree que son verdaderas partículas elementales, sólo pueden ser estudiadas dentro de los confines de las partículas compuestas, las cuales, a su vez, se encuentran a menudo en el interior de un núcleo. Esta aparente incapacidad de los quarks de escapar, bajo condiciones ordinarias, de su estado de ligazón recibe en nombre de confinamiento de los quarks. Hay seis tipos fundamentales de quarks clasificados en tres parejas o familias. Estas y sus nombres son respectivamente: UP (arriba)

y DOWN (abajo), STRANGE (extraño) y CHARM (encanto), y TOP (cima) y BOTTOM (final).

Bosones vectoriales elementales: Son partículas de intercambio mediante las cuales se ejercen las interacciones fundamentales. Por ejemplo, la teoría de la interacción electromagnética, o electrodinámica cuántica, predice que el FOTÓN es el vehículo que transporta la fuerza electromagnética. La fuerza fuerte en el núcleo existe bajo dos formas; una llamada fuerza de color entre los quarks la cual es medida por ocho bosones vectoriales llamados GLUONES y otra que afecta a los hadrones y es transmitida por los MESONES o por PIONES cuando se trata de distancias largas. El dato más significativo para la física nuclear es que los nucleones interactúan a través del intercambio de mesones virtuales (es decir, que aparecen espontáneamente cerca de uno de los nucleones y desaparecen cerca del otro) por lo que se cree que el núcleo siempre contiene un enjambre de estas partículas entre sus nucleones.

Como se observa, la tradicional imagen de un núcleo formado únicamente por protones y neutrones ha sido sustituida por una más compleja en la cual las interacciones fuertes nucleón - nucleón deben pensarse en términos del efecto de intercambio de mesones. E incluso en este caso, se trata de una visión aproximada en comparación con el modelo muchos más complejo que puede obtenerse únicamente a partir de detalladas consideraciones acerca de la naturaleza quark-gluon de los propios mesones y nucleones.

Por lo tanto, el núcleo debe explicarse en términos de un sistema muy complejo de muchos formados por quarks y gluones.

Bibliografía

- Introducción al núcleo atómico. J. B. CUNINGHAME. Editorial Alhambra, S.A. 1980.
- Fundamentos de Física Moderna. Robert M. Eisberg. Editorial LIMUSA. 1986.
- Física Cuántica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. Editorial LIMUSA, 1986.
- Curso de Física Moderna. Virgilio Acosta. et Ali. Editorial. Harla, 1980.