



EL SORPRENDENTE MUNDO DEL NUCLEO ATOMICO

ING. MARCO FERNÁNDEZ BACA

Es difícil entender cómo es que puedan existir ocurrencias tan diferentes en un lugar tan pequeño como es el núcleo de un átomo.

Desde la ecuación de Einstein ya no son ciertos, el principio de la Conservación de la Masa o el principio de la Conservación de la Energía, como se creía, sino: la energía y la masa juntas se conservan, pero si una aumenta la otra disminuye. La Masa se convierte en Energía; la energía de la radiación emitida.

Es a veces difícil comprender cómo en un lugar tan pequeño como es el núcleo de un átomo, puedan existir ocurrencias tan diferentes a lo que ordinariamente observamos en el mundo que nos rodea, y que aún a comienzos de este siglo parecían estar en desacuerdo con principios fundamentales del conocimiento científico.

Veamos algunos casos, comenzando con los más sencillos:

- I -

Si tenemos presente que el diámetro del núcleo de un átomo es aproximadamente un millonésimo de un millonésimo de centímetro ($10e^{-12}$ cm), su volumen sería ese número elevado al cubo ($10e^{-36}$ cm³), algo tan pequeño que estaría más allá de nuestra imaginación. Sin embargo, así es como existe, y en ese pequeñísimo volumen están concentrados sus protones y sus neutrones. Su masa es, en gramos, un décimo elevado a la 24 potencia ($10e^{-24}$ g), o sea otra cantidad extremadamente pequeña.

Con los datos anteriores es fácil calcular la densidad de masa del núcleo del átomo: basta dividir la masa entre el volumen ¿Cuál es el resultado?

$10e^{-24}$ gramos dividido entre $10e^{36}$ cm cúbicos es nada menos que $10e^{12}$ gramos/cm³ !!!!

que es un número inconcebiblemente grande, equivalente a un millón de toneladas métricas por centímetro cúbico. Imaginemos la masa de un cubo gigantesco de plomo, de medio kilómetro de lado, concentrado en un centí-

metro cúbico. Así es la densidad del núcleo de un átomo ligero (por ejemplo Hidrógeno), y en la naturaleza existen átomos doscientas veces más pesados (por ejemplo Uranio).

- II -

Si consideramos válidos los conocimientos y las leyes tradicionales de la Física, que son de uso corriente en la ingeniería contemporánea, el mundo diminuto del núcleo atómico se muestra aún más sorprendente.

Tal es lo que ocurre con los protones, las partículas del núcleo con carga eléctrica positiva, sometidas por supuesto a las conocidas fuerzas electroestáticas. Aplicando la ley de Coulomb, resultan fuerzas tan grandes, como en el caso de la densidad, que es difícil concebirlas en términos prácticos; para obviar cálculos numéricos recordemos solamente que dichas fuerzas, en este caso de repulsión, tienen intensidades inversamente proporcionales al cuadrado de las distancias; las distancias dentro del núcleo son muy pequeñas ($10e^{-12}$ cm). La inversa de su cuadrado es un número tremendamente grande ($10e^{12}$, un millón de millones) que representa gigantescas fuerzas, a pesar de la diminuta carga de cada protón.

La fuerza gravitatoria, de atracción de las masas es demasiado débil para poder equilibrar aquellas inmensas fuerzas electroestáticas. Pero hay fuerzas aún más poderosas que mantiene a los protones dentro del reducido volumen del núcleo: son las que corresponden a una nueva clase de energía, la ENERGIA NUCLEAR.

- III -

Existen núcleos en equilibrio inestable, especialmente entre los átomos más pesados (Uranio, Plomo...). Por ser inestables se van transformando continuamente en núcleos de otros átomos, a veces emitiendo energía con sacrificio de su propia masa; a veces absorbiendo la energía que reciben e incrementando su propia masa. Esa energía que emiten o absorben puede corresponder a (1) solamente energía elec-

tromagnética, tal como la radiación GAMMA, (2) a electrones (carga eléctrica negativa con una masa muy pequeña), animadas con velocidad considerable, como es caso de la radiación BETA y (3) emisión de iones de helio (4 protones y 2 neutrones íntimamente unidos), que constituyen la radiación ALFA. Hoy día se conocen más de tres mil isótopos inestables de los elementos químicos, llamados también radiactivos; la radiación que emiten se denomina radiactividad natural, que puede ser intensamente peligrosa, como es el caso del Cobalto, o muy débil como es el caso de radio-isótopos del Plomo, del Potasio, del Carbono, y aún del mismo Oxígeno del aire que respiramos.

Un ejemplo ilustrativo: el isótopo 210 del Plomo (83 protones y 127 neutrones en su núcleo) emite radiación Beta. Es decir emite o irradia electrones, y se convierte en otro elemento, el Bismuto 210 (83 protones y 126 neutrones en su núcleo) que

tiene un neutrón de menos que el plomo que lo originó. Se nota que ha desaparecido un neutrón, que tiene una masa 2000 veces mayor que el electrón emitido.

Efectivamente, se ha aniquilado, ha dejado de existir un neutrón. En realidad, su MASA se ha convertido en ENERGIA, la energía de la radiación emitida, según la relación llamada Ecuación de Einstein:

$$\text{ENERGIA} = \text{MASA} \times \text{EL CUADRADO DE LA VELOCIDAD DE LA LUZ}$$

Ya no son ciertos, por separado, el Principio de la conservación de la Energía o el Principio de la conservación de la Masa como se creía firmemente hasta el comienzo del siglo XX. Más bien la energía y la masa, juntas se conservan, si una aumenta la otra disminuye.

Ocurre que la velocidad de la luz es muy grande, unos trescientos mil kilómetros por segundo (con más precisión, 299.790 km/seg.). La luz tarda unos 8 minutos en llegar del Sol a la superficie terrestre; algunos años para llegar desde la estrella más cercana y miles de millones de años si la luz viene desde confines del UNIVERSO.

Según la Ecuación de Einstein, por consiguiente, la energía generada cuando se aniquila materia es enorme: la energía de la radiación que emiten los núcleos atómicos es equivalente a la parte de su masa que desaparece multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz ($9 \times 10^{20} \text{ cm}^2\text{-seg}^2$). Una vez más esta-

mos molestando la imaginación con números gigantes!!!

- IV -

El sueño de los alquimistas fue transmutar metales baratos en oro. Desde 1919 la trasmutación de los elementos es un hecho real; la misma radiación nuclear significa transmutación de elementos; se acaba de mencionar que el PLOMO (Pb 210) se transmuta en BISMUTO (Bi 210) y éste que también es inestable a su vez se transmuta en el elemento POLONIO (Po 210), el cual a su vez puede convertirse en otro elemento...etc.

La observación de tales fenómenos indujo a pensar que bombardeando (literalmente) un núcleo atómico con proyectiles suficientemente poderosos se podía penetrar en el interior de su densa estructura, haciendo "saltar" partículas o alterando el inventario de protones y neutrones o cambiando el balance de su energía interna hasta convertirlo en el núcleo de un nuevo elemento químico, generalmente radiactivo.

Los primeros "proyectiles" que se usaron fueron las mismas partículas emitidas por los elementos radiactivos, especialmente las ALFA que resultaron ser muy penetrantes por poseer más masa (2 neutrones y 2 protones); se les podía comparar con los proyectiles pesados de la artillería. La probabilidad de "dar en el blanco" era pequeña debido a la repulsión eléctrica o a rebotes por caída oblicua o por falta de suficiente energía cinética.

Rutherford, en un histórico expe-

rimento en Cambridge (1919), logró hacer "saltar" protones desde el interior del núcleo de NITROGENO, utilizando como proyectiles nada menos que las partículas ALFA procedentes del Radio.

En un principio se supuso que se podía CREAR energía cuando se observó las partículas expulsadas por los núcleos poseían mucha más energía que la de los proyectiles con que se había atacado a dichos núcleos. Ahora se sabe, con seguridad, que esa energía "extra" se genera a costa del sacrificio de la masa conforme a la célebre ecuación $E=MC^2$.

- V -

Los proyectiles que inicialmente se emplearon para penetrar al interior del núcleo atómico, se obtenían de los elementos naturalmente radiactivos; pero su éxito estuvo limitado a bombardear núcleos livianos; no así a elementos más pesados como los del CARBONO o el OXIGENO y mucho menos con las "fortalezas" que representaban los núcleos de otros elementos con masas cientos de veces mayores.

Fue necesario "fabricar" proyectiles más poderosos, es decir con mayor energía cinética (la cual depende del cuadrado de su velocidad). Con tal propósito se inventaron aceleradores, modestos en un comienzo, que podían acelerar partículas de mayor masa hasta darles grandes velocidades, y que permitieron comprobar con más certeza la exactitud de la Ecuación de Einstein. Por ejemplo, bombardeando núcleos de LITIO se logró que éstos

expulsasen partículas ALFA con una energía cinética extraordinaria, pero precisamente equivalente a la pérdida de masa que sufría el núcleo emisor, conforme a la ya varias veces mencionada ecuación $E=MC^2$.

En los últimos cincuenta años se están construyendo aceleradores más y más poderosos, capaces de impulsar a las partículas que hacen de proyectiles hasta darles velocidades miles de veces mayores, y por consiguiente energías millones de veces más grandes. Con tales máquinas, que se extienden en túneles circulares de decenas de kilómetros de longitud, se está logrando generar nuevos elementos que ocupan lugares adicionales a la de los 92 tradicionalmente conocidos en la naturaleza que nos rodea (por ejemplo 93-Neptunio, 95-Americio, 97-Berkelio, 98-Californio y muchos más).

Tales aceleradores gigantes (Ciclotrones, Betatrones, Sincrotrones, etc), también han permitido descubrir nuevas y numerosas clases de partículas elementales tales como los neutrinos, positrones, diferentes muones etc. y además las correspondientes "antipartículas" (surgiendo el concepto de antimateria), que forman una familia numerosa, cuya investigación está contribuyendo a penetrar cada vez más profundamente en los secretos de la estructura de la materia, y por ende del mismo Universo.

-VI-

Como resultado de estudiar cuidadosamente las radiaciones naturales o las artificiales generadas con los acele-

radores, también se han aclarado satisfactoriamente las causas de algunos fenómenos importantes, tales los espectros que caracterizan a los elementos y su estructura superfina.

A semejanza de los niveles de energía que caracterizan a las nubes de electrones que rodean dinámicamente al núcleo atómico, existen niveles de energía en el interior de dicho núcleo, pero muchos miles de veces más fuertes. Y en forma parecida a lo que ocurre con los electrones periféricos al núcleo, los cambios de los niveles de energía se producen en forma discontinua, no admitida en la Física Clásica. Cuando el núcleo emite energía (o cuando la absorbe), lo hace en forma de los llamados SALTOS CUANTICOS: el cambio de un nivel de energía a otro nivel, no ocurre en forma continua sino en una forma absolutamente discontinua; concepto difícil de admitir, ya que estamos acostumbrados a observar la permanente continuidad con que ocurren los fenómenos de la naturaleza; aún en el caso de la descarga de un rayo, o en la variación CASI instantánea del voltaje con el interruptor más perfecto que podamos construir, siempre ocurren efectos que aseguran la continuidad del proceso (contracorrientes que se AMORTIGUAN rápidamente pasando por TODOS los voltajes intermedios). En el caso de los SALTOS CUANTICOS, no EXISTEN POSICIONES INTERMEDIAS, el nivel de energía que existía hasta cierto instante del tiempo, en ese mismo instante deja de estar allí para aparecer inmediatamente a continuación en otro nivel diferente. Si el nivel es superior será porque ha

desaparecido determinada cantidad de materia; si es inferior, será porque en reemplazo de la energía que se ha perdido (que ha desaparecido), aparece el equivalente de masa, de materia.

El estudio cuidadoso de ese nuevo fenómeno – el SALTO CUANTICO – creó un campo fecundo, el de la Física Cuántica, que cubre el de la Mecánica Cuántica (generalizando los resultados obtenidos por Planck, relativos a la radicación), y demandó además el desarrollo de Estadísticas muy especiales (Estadísticas de Maxwell-Boltzman, Bose-Einstein, Fermi-Dirac...).

Y las elevadas velocidades que alcanzan los electrones que emiten los núcleos, próximas a la velocidad de la luz obligan a emplear necesariamente las leyes de la relatividad de Einstein para corregir la magnitud de sus masas.

- VII -

EL SPIN NUCLEAR es el nombre que han dado los físicos nucleares al momentum angular del núcleo. El momentum angular es un concepto elemental de la Mecánica Racional: tiene magnitud, dirección y sentido, en una palabra, es un vector.

Pero, se trata de un momentum angular que posee un comportamiento muy peculiar, pues a diferencia del que empleamos corrientemente en Ingeniería, el SPIN NUCLEAR solamente puede existir en un número limitado de direcciones definidas. El SPIN NUCLEAR (SP) es igual a la suma vectorial de los SP de las partículas que tiene el núcleo, o sea de sus protones y neutrones. Por otra parte, es posible determi-

nar los SP de cada protón, neutrón o electrón. Como quiera que sólo existe un número limitado de direcciones de los SP, al sumarse los SP sólo pueden ocurrir dos casos: o bien se anulan por pares si tienen la misma dirección y sentido opuesto, o dan valores múltiples enteros del SP de una partícula nuclear si tienen la misma dirección y sentido.

Es decir, el SP nuclear total solamente puede ser cero o un múltiplo entero del SP de una partícula. Si el número total de partículas del núcleo es par, su SP será múltiplo par; y si el número total de partículas es impar, su SP nuclear será múltiplo impar del SP de una partícula. Esta ley ingeniosa, expresada en forma tan sencilla sirvió para confirmar definitivamente que en el núcleo de un átomo no pueden existir electrones, como se creyó en el primer cuarto de este siglo conforme al famoso modelo de Rutherford.

Por ejemplo, según Rutherford, el núcleo del átomo de NITROGENO debería tener 14 protones y 7 electrones, o sea 21 partículas; por consiguiente su SP sería un múltiplo impar. Pero por diferentes métodos experimentales se ha determinado que el Sp del núcleo del átomo de NITROGENO es múltiplo par del de un protón o de un neutrón. Según el modelo aceptado actualmente, dicho núcleo tiene 7 protones y 7 neutrones o sea 14 partículas, número par, que confirma inequívocamente porque el Sp del núcleo de NITROGENO es par. Y, en general, confirmándose la inexistencia de electrones, partículas con carga eléctrica negativa en el núcleo atómico.



- VIII -

El MOMENTO MAGNETICO del núcleo es una propiedad muy importante que ha permitido explicar satisfactoriamente el espectro super fino de casi todos los elementos químicos, e inclusive a predecir su estructura antes de encontrarlas experimentalmente.

El MOMENTO MAGNETICO (MM) es un fenómeno magnético que existe cuando una carga eléctrica tiene movimiento de rotación. Los electrones que giran velozmente alrededor del núcleo en diversos niveles de energía tiene su MM bien definido y muy superior al MM de los protones del núcleo, los que por su mayor masa (de los protones) son más inertes.

Ambos MM interaccionan entre sí y producen efectos que han permitido explicar con mucha exactitud varios fenómenos pero muy especialmente la existencia de las líneas de la estructura fina del espectro de los elementos.

Cuando se pudo disponer de espectrógrafos de mayor resolución se observó que las clásicas líneas o rayas espectrales que caracterizan inequívocamente a las diversas sustancias de la naturaleza no eran líneas simples, sino estaban compuestas cada una, a su vez por un sistema de líneas espectrales más finas.

Si se recuerdan que las líneas espectrales típicas de cada elemento se producen por efecto de la emisión o absorción de energía (en este caso luminosa) en saltos cuánticos entre los niveles de energía de los electrones periféricos, las líneas más finas representan la influencia del MM del núcleo sobre el MM de los electrones. Esta influencia también tiene naturaleza

cuántica es decir ocurre por saltos definidos. Los resultados obtenidos experimentalmente coinciden exactamente con el efecto teóricamente calculado de los MM de los niveles de energía del núcleo.

- IX -

Existen muchas otras propiedades en la estructura de los núcleos de los átomos que forman la materia, tan especiales y a la vez tan diferentes a las que observamos cotidianamente en el mundo que está al alcance de nuestros sentidos, y aún de los instrumentos, máquinas o herramientas que manipulamos.

Se continúan descubriendo novedosos fenómenos en ese diminuto espacio que ocupan los núcleos: aquellas partículas que hace pocas décadas considerábamos las más pequeñas, únicas e indivisibles, tales como los protones y los neutrones, están a su vez formadas por estructuras que desafían la imaginación, y coexisten con multitud de otras partículas elementales, inclusive con otras aún más sorprendentes, las antipartículas, al entrar en contacto con las que se aniquilan por parejas, irradiando rayos extremadamente penetrantes. Los rayos cósmicos que pueden atravesar los materiales más densos, y que se detectan y se estudian en profundas cámaras subterráneas, cuando a su paso veloz a través de las rocas están cruzando el planeta, provenientes de lejanas galaxias. ●

REFERENCIAS:

Energía, del mismo autor, (8vo. vol. Naturaleza y Hombre, Editor Mejía Baca).
Física Nuclear, I.Kaplan Edit. Addison-Wesley.