D. FISICA NUCLEAR

D.1 INTRODUCCION

La física nuclear es el área de la física que más rapidamente ha encontrado aplicaciones en diferentes campos del saber humano. Después del descubrimiento de la radiactividad por Berquerel, en 1896, muchos científicos estudiaron este nuevo fenómeno, mediante el cual hemos logrado entender la estructura del núcleo y lograr aplicaciones útiles en la medicina, en la producción de energía eléctrica y en otros campos. Los estudios del núcleo han permitido entender las propiedades de las partículas que lo componen y la naturaleza de las fuerzas que mantienen unido el núcleo.

El descubrimiento de la fisión nulcear en 1939, fue uno de los acontecimientos que hacen época, ya que abrió el camino hacia una fuente de energía totalmente nueva, mediante la utilización de la energía interna del núcleo atómico.

Durante las últimas décadas, las necesidades energéticas han sido cubiertas por los combutibles fósiles, principalmente carbón, petróleo y gas natural. Por otra parte, se sabe que estas fuentes de energía se agotarán en un futuro cercano, de aquí que es preciso buscar nuevas fuentes alternativas de energía.

Con lo anterior se da una idea de la importancia y la necesidad de estudiar el núcleo atómico, la radiactividad y sus aplicaciones, aunque de manera breve, pero precisa.

D.2 CARACTERISTICAS DEL NUCLEO

NUMERO ATOMICO Y NUMERO MASICO

Como, ya se ha dicho, en el capítulo anterior, el átomo consta de un núcleo con carga positiva, rodeado de un cierto número de partículas cargadas negativamente, llamadas electrones, de tal forma que en conjunto el átomo resulta eléctricamente neutro . Los núcleos atómicos están constituidos por dos partículas fundamentales: el protón y el neutrón, que se designan con el nombre genérico de nucleón. El protón transporta una unidad de carga positiva, igual en magnitud a la carga del electrón. Se identifica, en realidad, con el núcleo del átomo de hidrógeno, es decir un átomo de hidrógeno que ha perdido su único

electrón. El neutrón es ligerísimamente más pesado que el protón, y como su nombre lo indica no transporta carga eléctrica.

Para un elemento químico determinado, el número de protones existente en el núcleo atómico, que es igual al número de cargas positivas que transporta, recibe el nombre de número atómico del elemento, y se representa generalmente por el símbolo Z. Es idéntico al número de orden del elemento en la tabla periódica de los elementos químicos. Así pues, el número del hidrógeno es 1, el del helio es 2, el de litio es 3, y así sucesivamente, hasta llegar al número 92 correspondiente al uranio, que es el elemento de masa atómica más elevado, en cantidades apreciables, en la naturaleza. Cierto número de elementos han sido preparados artificialmente.

El número total de nucleones (protones y neutrones) existentes en el núcleo atómico recibe el nombre de número másico del elemento y se representa por la letra A. Como Z es el número de protones, el número de neutrones contenidos en el núcleo atómico vendría representado por A - Z. Por ejemplo, el uranio cuyo número atómico es 92 y su número másico es 239, se tiene A - Z = 239 - 92 = 147 neutrones en el núcleo.

ISOTOPOS

Lo que determina la naturaleza química de un elemento es su número atómico (Z), es decir, el número de protones en su núcleo. Atomos cuyos núcleos contiene el mismo número de protones (igual número atómico), pero que difieren en el número másico, son desde el punto vista químico, esencialmente idénticos, presentando diferencias muy marcadas en sus características nucleares. Tales núcleos con idéntico número atómico y diferente número másico, recibe el nombre de isótopos. Los isótopos son, en general químicamente indistinguibles, pero poseen masa atómica diferente. La forma general para el símbolo de un isótopo es ${}^{A}_{Z}E$, donde E representa el símbolo del elemento, A su número másico Z su número atómico. Como por ejemplo

isótopos de uranio

$$ {}^{235}_{92}U,\ {}^{238}_{92}U,\ {}^{239}_{92}U. $$

isótopos de hidrógeno

$$^{1}_{1}H,\ ^{2}_{1}H,\ ^{3}_{1}H.$$

representaciones de diferentes isótopos

$$^{4}_{2}He \quad ^{12}_{6}C \quad ^{16}_{8}O,\ etc.$$

En física nuclear y disciplinas afines, las masas de los átomos, núcleos y partículas se han expresado invariablemente en unidades de masa atómica (uma). La unidad de masa atómica se define en función de la masa del isótopo de carbono $\left(^{12}_{6}C\right)$, de tal forma que una uma es igual a 1/12 de la masa del isótopo $\left(^{12}_{6}C\right)$, la cual equivale a $1.66X10^{-27}$kg.

ENERGIA DE ENLACE

Rutherford descubrió que el núcleo del átomo es un cuerpo muy pequeño que se encuentra en el centro del átomo. Hoy en día, se sabe que el radio del núcleo varia entre 1.3 fm ($1.3X10^{-15}$m) en el hidrógeno y 8.1 fm ($8.1X10^{-15}$m) en el uranio.

Como ya se dijo, el núcleo del átomo está compuesto por protones con carga positiva, y por neutrones. Los protones están muy unidos, aún cuando se espera que la fuerza eléctrica de repulsión los separe. Esto no sucede ya que existe otra fuerza, de atracción, más fuerte dentro del núcleo. A esta fuerza se le conoce como la fuerza nuclear fuerte. Esta fuerza actúa también entre los protones y los neutrones que se encuentran muy cerca. La fuerza nuclear fuerte actúa entre dos protones, entre un protón y un neutrón y entre dos neutrones. En todos los casos, es de atracción y es de igual magnitud.

La fuerza nuclear fuerte retiene a los nucleones dentro del núcleo. Si se quiere remover un nucleón, hay que realizar un trabajo para vencer la atracción de la fuerza nuclear fuerte, o sea, hay que añadir energía al núcleo. La energía de enlace (E.E) de un núcleo es la energía que se requiere para separar a todos los nucleones que lo componen.

Para romper un núcleo hace falta aplicar energía y además, se ha demostrado, de manera precisa, que la masa de un núcleo es menor que la suma de las masas de los nucleones que lo componen por separado. A ésto se le conoce como el defecto másico o defecto de masa. La relación $E = mc^2$ como ya se ha visto, establece la relación de la masa y la energía. Para nuestro caso particular, esta expresión relaciona a la E . E . con el defecto de masa, de la siguiente forma

$$E.E = \Delta m . c^2$$

donde

Δm representa el defecto de masa. Lo cual indica que existe una equivalencia entre la energía de enlace y el defecto másico. Por ejemplo, el núcleo de helio $\left(^{4}_{2}He\right)$ consiste de dos protones y dos neutrones. La masa de un protón es de 1.007825 uma y la de un neutrón es de 1.008665 uma. De éste modo, la suma de las masas de los nucleones que componen el núcleo de helio es igual a la suma de las masas de dos protones y de dos neutrones es decir es de 4.032980 uma. Sin embargo, las mediciones cuidadosas que se han hecho de la masa del núcleo de helio es de 4.00150 uma, de lo cual se observa que la masa del núcleo de helio es menor que la de sus constituyenten. Para separar un núcleo de helio en dos protones y sus dos neutrones, se requiere una cantidad de energía igual al energía de enlace (E . E) del núcleo de helio. Usualmente, la masa se mide en uma. Para la energía se utiliza el electrón - volt, el cual quivale a la energía que adquiere un electrón cuando se acelera en una diferencia de potencial de 1 volt. De que se tiene que 1 eV equivale a $1.60X10^{-19}$ J., de tal forma que si queremos encontrar la equivalencia de una unidad de masa atómica en electrón volt, se tiene que

$$E = mc^2$$

$$E = \left(1.66X10^{-27}\,kg\right)\left(3X10^{8}\,\frac{m}{s}\right)^2$$

$$E = 14.9X10^{-11}\,kg\left(\frac{1eV}{1,60X10^{-19}\,J}\right)$$

$$E = 9.31X10^{8}\,eV$$

$$E = 931\text{MeV}$$

Esta es la energía a la que equivale 1 uma. 1MeV = 10^6 e V.

Ejemplo 1 La energía de enlace para el núcleo de helio será.

masa de los dos protrones 2(1.007885 uma) = 2.015650 uma

masa de los dos neutrones 2(1.008665 uma) = 2.017330 uma

masa de los nucleones = 4.032980 uma

masa de núcleo de Helio = 4.00150 uma

defecto másico = 0.03148 uma

$$E.E = 0.03148uma\left(\frac{931MeV}{1uma}\right)$$

E.E = 29.30MeV

Para calcular la energía de enlace por nucleón, que es la energía necesaria para separar un nucleón del núcleo, se divide la energía de enlace (E . E) entre el número de nucleones, es decir,

$$\frac{E.E}{A} = \frac{29.30MeV}{4} = 7.32MeV$$

D.3 EL DECAIMIENTO RADIACTIVO

En 1896 Henri Bequerel trabajó con compuestos que contenían uranio. El encontró que las placas fotográficas que se exponían se nublaban total o parcialmente, cuando se exponian a los compuestos de uranio. Esto le sugirió que algun tipo de rayo había pasado a través de las cubiertas de las placas. Se ha descubierto que otros materiales también emiten estos rayos penetrantes. Los materiales de este tipo se llaman radiactivos y se dice que sufren un decaimiento radiactivo. En 1899, Rutherford descubrió que los compuestos de uranio emiten tres tipos de radiación, separádolos de acuerdo a su capacidad para penetrar, en

radiación α, β, y γ. La radiación α, no podía penetrar una hoja de papel descubriéndose posteriormente que eran núcleos de átomo de helio. Las partículas β, fueron identificadas como electrones de alta velocidad que pueden penetrar hasta 6 mm de aluminio. Los rayos γ, que son fotones de alta energía, pueden atravesar hasta varios centímetros de plomo.

Como las partículas α contienen protones y neutrones, deben provenir del núcleo de un átomo: de tal forma que al emitir una partícula α, en el proceso conocido como decaimiento α, el núcleo quedará con una masa y una carga eléctrica diferente a la que tenía originalmente.

Un cambio en la carga eléctrica del núcleo implica que el elemento radiactivo ha cambiado a un elemento diferente. Dado que el número másico de una partícula α es cuatro $\left({}^{4}_{2}He\right)$, por lo tanto, cuando un núcleo emite una partícula α, su número de masa se reduce en cuatro. Como el número atómico de una partícula α, es dos, por lo tanto, el número atómico del nùcleo se reduce en dos. Por ejemplo, cuando el uranio - 238 $\left({}^{238}_{92}U\right)$ emite una partícula α, el número atómico Z cambia de 92 a 90, correspondiente éste al elemento Torio. El número de masa se reduce en cuatro A= 238 - 4 = 234. De aquí que se forma un núcleo del isótopo en torio 234 por emisión de una partícula α.

Las partículas β son electrones emitidos por el núcleo. Como la masa de un electrón es una fracción muy pequeña de una uma, la masa de un núcleo, que sufre un decaimiento β, cambia muy poco. El número de masa permanece igual. Al emitirse un electrón, un neutrón en el núcleo se convierte en protón, de ahí que el número de protones, y por tanto el número atómico, aumenta en uno. Por ejemplo, el núcleo del torio 234 $\left({}^{234}_{90}Th\right)$ es inestable, emitiendo una partícula β y se convierte en un isótopo de protactinio $\left({}^{234}_{91}Pa\right)$.

La radiación γ se debe a una liberación de energía por parte del núcleo. El núcleo puede quedar con un exceso de energía, como resultado de un proceso, por ejemplo una reacción nuclear o una desintegración α o β. El rayo γ es un