

CAPITULO II.
MATERIA Y ENERGÍA.

Desde el punto de vista de un físico, la naturaleza consiste principalmente de materia y las fuerzas que gobiernan la conducta de la materia. Este capítulo revisa brevemente algunos de los aspectos de la estructura atómica de la materia, que son esenciales para entender los siguientes capítulos.

2.1 MATERIA, ELEMENTOS Y ÁTOMOS.

¿Qué es la materia? La materia es un concepto que se utiliza en la ciencia para hacer alusión a la sustancia que compone a los objetos físicos, aquello de lo que está “hecho” el universo observable. Lamentablemente para la ciencia, hay muchas definiciones de materia y no existe una gran claridad al respecto.

Los antiguos griegos suponían que la materia del universo estaba formada por diminutos compo-

nentes “indivisibles” que ellos llamaban átomos. Sin embargo ahora sabemos que los átomos están formados por un núcleo que contiene protones y neutrones, rodeado por un enjambre de electrones que describen órbitas alrededor de él.

También se sabe que los protones, neutrones y electrones no son las partículas fundamentales, y que están constituidos por partículas más pequeñas llamadas quarks. Así, por ejemplo, los protones están constituidos por dos quarks arriba y un quark abajo, un neutrón está formado por dos quarks abajo y un quark arriba. Se han descubierto quarks arriba (up), abajo (down), encanto (charm), extraño (strange), fondo (bottom) y cima (top).

Existen muchas otras partículas como los neutrinos, muones, fotones, gluones, bosones, gravitones, etc, algunos asociados más a la materia y otros asociados más a la energía. Figura 1.

En la Teoría de Cuerdas se afirma que, si pudiéramos examinar estas partículas infinitamente pe-

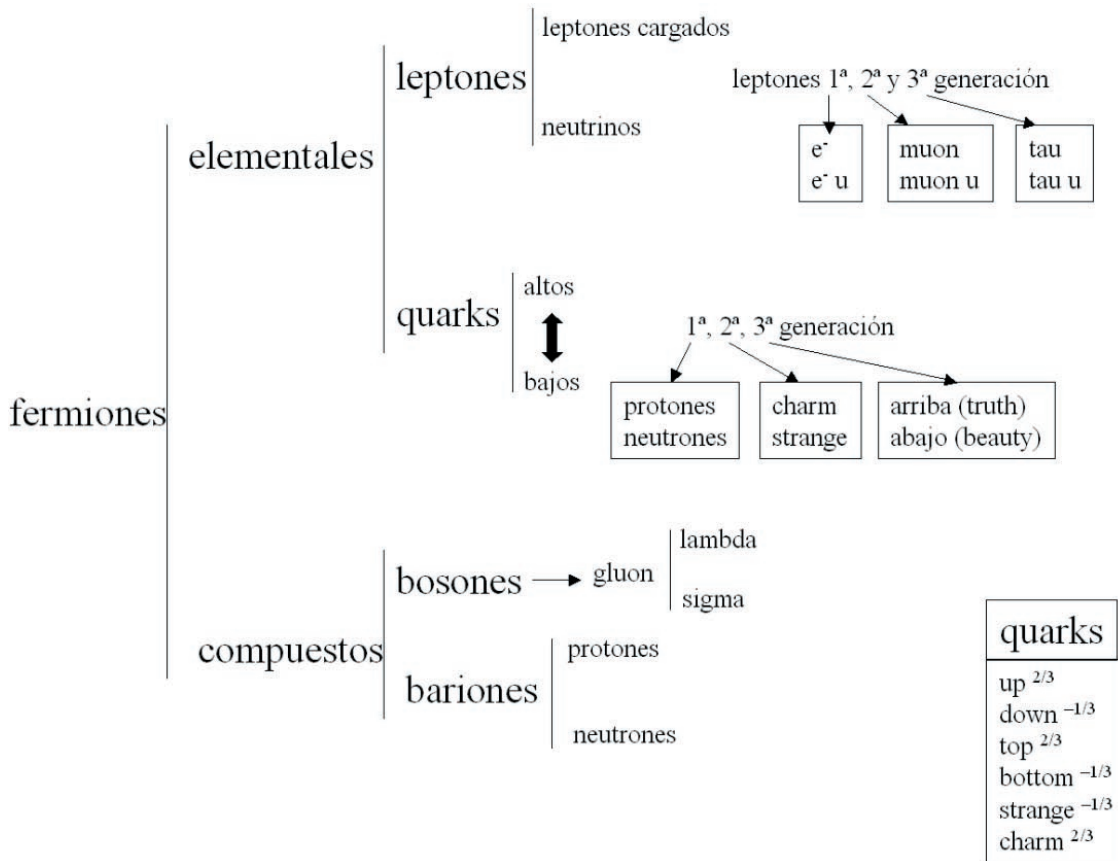


Fig. 1. Clasificación de algunas de las partículas subatómicas.

queñas, en realidad estarían formadas por un diminuto resorte unidimensional. Cada partícula contiene un filamento que vibra, oscila y baila como un elástico de goma infinitamente delgado que los científicos han denominado *cuerda*.

La teoría de cuerdas es importante porque logra combinar la Teoría de la Relatividad General con la Mecánica Cuántica, anteriormente incompatibles. Si la teoría de cuerdas es acertada nuestro universo estaría formado por diez dimensiones espaciales (y no tres como actualmente suponemos) y una temporal, es decir, un total de once dimensiones. Esta misma teoría supone que nuestro espacio-tiempo se puede rasgar o romper en determinados sitios y volverse a reparar, siendo esta rasgaduras y reparaciones muy sofisticadas, dando lugar a pasadizos llamados túneles de lombriz o agujeros de gusano y que permitirían el paso de materia y energía de unas regiones del universo hacia otras regiones muy distantes.

La estructura del universo es muy compleja. Desde su nacimiento en el big bang o gran explosión se comenzaron a formar las primeras partículas subatómicas, que posteriormente se combinaron para formar átomos y moléculas. El primer elemento formado fue el hidrógeno. La atracción gravitacional de grandes nubes de hidrógeno fue compactando este gas, incrementando progresivamente la temperatura hasta formar estrellas. En el interior de las estrellas se formaron todos los demás elementos naturales conocidos hasta la fecha.

Al crearse el universo también se creó el tiempo y actualmente ya no se piensa que el espacio y el tiempo son cosas distintas. Habitamos dentro de una compleja estructura de espacio-tiempo, curvada en todas direcciones y cuya curvatura se acentúa cerca de objetos muy masivos como las estrellas o los agujeros negros. Se cree que la velocidad del tiempo es la misma velocidad de la luz: 3×10^5 km/seg.

Se cree que el tiempo y la velocidad están muy relacionadas. Así por ejemplo un objeto que viaja a enormes velocidades reduce su tiempo particular, es decir, su tiempo transcurrirá lentamente en comparación con el tiempo de otro objeto que viaje a mucha menor velocidad.

Todas las partículas subatómicas giran sobre

su eje, a este giro se denomina espín. El espín de un electrón no es un estado de movimiento transitorio, al contrario, es una propiedad intrínseca, como su masa o su carga eléctrica. Si un electrón no estuviera girando, no sería un electrón.

Toda la materia está compuesta por un número limitado de elementos, el más pesado es el uninoctio con número atómico 118. Todos los que están por arriba del uranio, que tiene número atómico de 92, son artificiales.

Un átomo es la parte más pequeña de un elemento y que conserva todas las propiedades químicas de ese elemento. En general, los átomos son eléctricamente neutros; esto es, no tienen carga eléctrica.

Un electrón posee una carga eléctrica negativa de 1.6×10^{-19} Coulomb (unidad de carga) y una masa de 9.108×10^{-28} gramos. Un protón tiene carga eléctrica positiva en cantidad similar al electrón. El neutrón no tiene carga eléctrica y pesa ligeramente más que un protón. Los protones y neutrones tienen masas de 1.6724×10^{-24} y de 1.6747×10^{-24} gramos respectivamente; por lo tanto, son aproximadamente 2,000 veces más pesados que un electrón.

2.1.1 ESTRUCTURA DE UN ÁTOMO.

Un átomo es generalmente neutro debido a que contiene el mismo número de electrones y protones. El número de protones en un átomo también se conoce como número atómico Z porque especifica la posición de ese elemento en la tabla periódica y por lo tanto, especifica su identidad química. El tamaño de los átomos de diferentes elementos varía mucho pero está en el rango de 1 a 2×10^{-8} cm. El núcleo es muy pequeño en comparación con el átomo (alrededor de 10^5 veces menor).

Los átomos pueden tener diferentes formas, de acuerdo a sus diferentes niveles de energía. Figura 2.

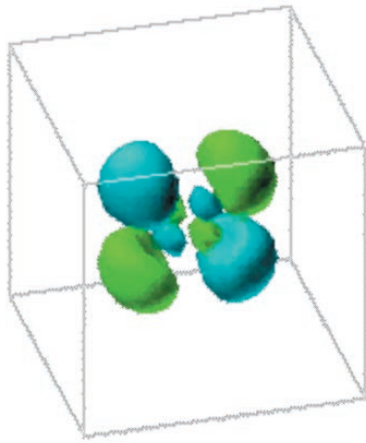


Fig. 2. Formas de los campos energéticos atómicos

En la siguiente dirección se pueden revisar diferentes formas de los campos energéticos atómicos:
http://itl.chem.ufl.edu/ao_pict/ao_pict.html

La fuerza atractiva de coulomb (eléctrica) entre las cargas positivas del núcleo (de los protones) y las cargas negativas de los electrones proporciona estabilidad a los electrones que giran en los diferentes campos.

El primer campo (que tiene la mayor energía) se conoce como campo K, el segundo como campo L,

el tercero como campo M y así sucesivamente. Existe un límite al número de electrones que pueden ocupar un campo dado. El campo K puede ser ocupado por un máximo de 2 electrones, el campo L por un máximo de 8 electrones, el campo M por un máximo de 18 y el campo N por un máximo de 32. Sin embargo, el campo más débil de cualquier átomo no puede ser ocupado por más de 8 electrones.

En un átomo simple como el del hidrógeno hay sólo un electrón que bajo condiciones normales ocupa el campo K. En un átomo complejo como el del yodo, hay 53 electrones que están acomodados en las órbitas K, L, M, N y O en números de 2, 8, 18, 18 y 7 respectivamente. La organización de electrones en varios campos del hidrógeno y otros tres átomos típicos se muestra en la figura 3.

2.1.2 MOLÉCULAS.

Las moléculas están formadas por la combinación de 2 o más átomos, por ejemplo la molécula de agua, H_2O , está formada por la combinación de 2 átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. La combinación de átomos se logra a través de la interacción de electrones (también conocidos como electrones valencia) en las órbitas más externas del átomo. Los electrones

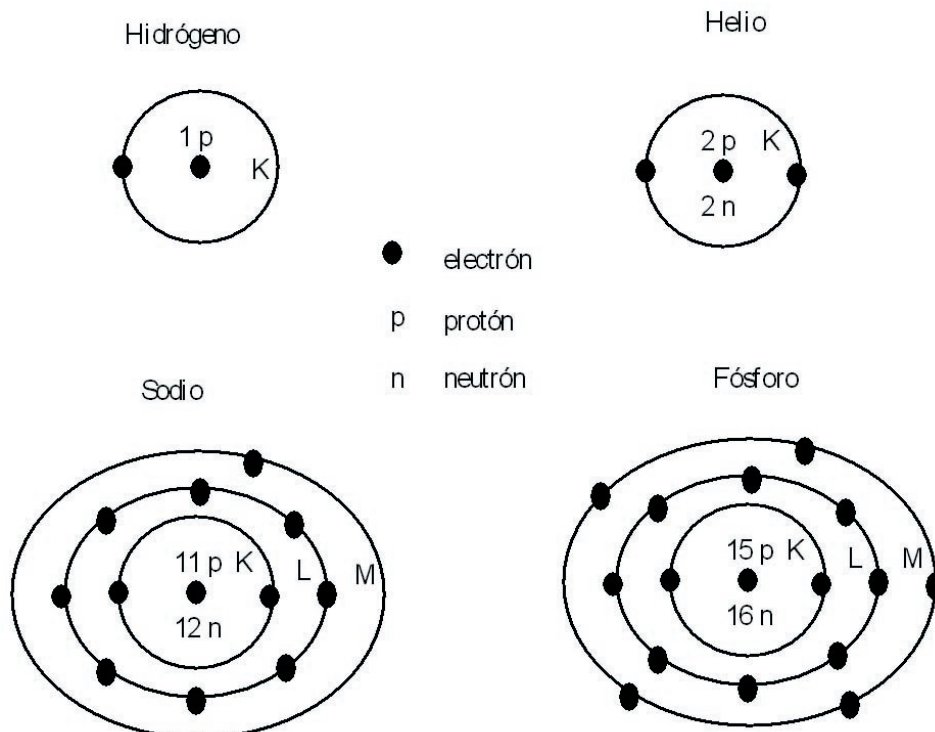


Fig. 3. Estructura atómica simplificada de cuatro elementos en su estado basal.

valentes participan en la formación de las moléculas de varios modos –por ejemplo, unión iónica, unión covalente y unión de hidrógeno. En teoría, la mayoría de las reacciones químicas y propiedades químicas de los átomos o moléculas se pueden explicar sobre la base de interacciones de los electrones valentes.

2.2 ENERGÍA DE UNIÓN, IONIZACIÓN Y EXCITACIÓN.

Cada electrón en un campo dado está unido al núcleo mediante una cantidad fija de energía, conocida como energía de unión. La unidad en que tal energía se mide en la escala atómica se conoce como electrón volt (eV), la cual es la energía adquirida por un electrón acelerado mediante 1 volt de diferencia de potencial. Los electrones en el campo K son los más estrechamente unidos dentro de un átomo, por lo tanto requieren de mayor energía para ser removidos del átomo (la remoción de un electrón de un átomo se llama ionización).

Los electrones de los campos más débiles, por otro lado, son los menos unidos, y por lo tanto, requieren de la menor energía para su remoción desde el átomo. La energía de unión de los electrones en varios campos se incrementa rápidamente con el número atómico Z. En la tabla siguiente se enlistan las energías de unión K y L de los electrones de los átomos de varios elementos:

Bajo condiciones normales, los electrones ocupan los campos más débiles posibles de acuerdo con el número máximo de electrones que pueden ocupar un campo. Sin embargo, los electrones se pueden mover hacia campos más fuertes temporalmente mediante la absorción de energía. La absorción se puede llevar a cabo de varias maneras -por ejemplo calentando una sustancia, sometiendo la materia a campos eléctricos altos, por el paso de una partícula cargada a través de la materia o incluso por un fuerte impacto mecánico.

Cuando un electrón absorbe suficiente energía para su separación del átomo, el proceso se llama ionización y el átomo que queda, se llama ion. Cuando el electrón absorbe cantidades de energía que son sólo suficientes para moverlo hacia un campo más energético no ocupado, el proceso se conoce como excitación y el átomo se vuelve un átomo excitado. Los átomos excitados son, en general, muy inestables y adquieren su

configuración normal emitiendo radiación electromagnética (luz, luz ultravioleta o rayos X), generalmente dentro de 10^{-9} segundos.

Los rayos X se producen durante la desexcitación atómica, es decir, cuando los electrones regresan a sus campos energéticos originales y liberan el exceso de energía.

2.3 FUERZAS O ENERGÍAS.

Fuerza es un término general relacionado con la interacción de varios constituyentes de la materia. Hasta el momento se conocen cuatro clases de fuerzas (o energías): gravitacionales, débiles, electromagnéticas y fuertes.

Las fuerzas fuertes son las que mantienen unido al núcleo y actúan entre los protones- protones, protones-neutrones y neutrones-neutrones.

Las fuerzas electromagnéticas tienen un papel dominante en nuestra vida diaria porque son las que mantienen unidos a los átomos y son responsables de las interacciones entre los átomos, moléculas, biomoléculas, etc.

Las fuerzas débiles juegan un papel significativo en las transformaciones de partículas dentro del núcleo.

Las fuerzas gravitacionales son producidas como resultado de la masa de la materia y juega un papel significativo en mantener nuestro sistema solar intacto, pero es despreciable entre los átomos y moléculas.

Las magnitudes relativas de estas fuerzas se anotan a continuación:

Tipo de fuerza	Magnitud
Fuerte	1
Electromagnética	10^{-2}
Débil	10^{-13}
Gravitacional	10^{-39}

2.3.1 FUERZAS ELECTROMAGNÉTICAS.

Las fuerzas o energías electromagnéticas se producen por partículas cargadas. Durante la interacción entre las partículas cargadas, con frecuencia se emite

energía como radiación electromagnética. La radiación electromagnética se puede propagar tanto en forma de ondas como de partículas. Cuando la radiación electromagnética se comporta como partícula, estas partículas se llaman fotones. Un fotón no tiene ninguna masa en reposo ni carga. Es un paquete de energía que interactúa con la materia de una manera específica o de acuerdo a las leyes de las fuerzas electromagnéticas.

La naturaleza dual de la radiación, que es un hecho establecido, es verdadera también para la materia (por ejemplo: los electrones). La radiación electromagnética se caracteriza sólo por su energía debido a que la interacción de la radiación electromagnética con la materia depende sólo de su energía. La radiación electromagnética de diferentes energías se conoce con diferentes nombres (mostrados en el espectro electromagnético). La energía de la radiación electromagnética se relaciona con la longitud de onda con una relación simple:

$$E = hc/\lambda$$

en donde h es la constante de Planck (6.626196×10^{-34} js), c es la velocidad de la luz o radiación electromagnética y λ es la longitud de onda. Si la energía se mide en KeV y la longitud de onda en angstroms ($\lambda = 10^{-8}$ cm) la relación es:

$$E(\text{KeV}) = 12.4/\lambda$$

Es importante analizar el espectro electromagnético para darse cuenta que las ondas de radio, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos X, etc., pertenecen al mismo tipo de energía:

http://luisperna.com.sapo.pt/espectro_electro.htm

http://www.cida.ve/~briceno/cursos/astrof_observ/clase3/

1. Chandra, R.: *Introductory Physics of Nuclear Medicine*. Lea & Febiger, Philadelphia, 1976.

2. Bennet, Clarence E.: *Física sin Matemáticas*. Compañía Editorial Continental SA de CV, México, D.F. 1994.

3. Bueche, F.J.: *Física General*. McGraw Hill. 8ª. Ed. México, D.F. 1994.

4. *Diccionario de Física*. Ed. Norma. Bogotá. 1984.

5. Welch, T.J.C. *Fundamentals of the Tracer Method*. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1972.

6. Rabinowitz. *Aplicaciones de los Radioisótopos en Química, Biología y Medicina*. SECEP, CUPV, UNAM. 1984.

7. Hawking, Stephen W.: *Historia del Tiempo*. Ed. Crítica, México, D.F. 1988.

8. Greene, Brian: *El Universo Elegante*. Ed. Crítica, Ed. Planeta. Barcelona. 2005.

9. Kaufmann, William J.: *Black Holes and Warped Spacetime*. Ed. W. H. Freeman & Co. 1979.