



**“ACERCA DE LA PRIMERA Y SEGUNDA LEYES
 DE LA TERMODINÁMICA”**

Sobre el universo se ha dicho que *“por sí mismas, las cosas van de bien, a mal o de mal en peor”*. En un sentido muy burdo, esta expresión resume la segunda ley de la termodinámica.

A mediados del siglo XIX la mecánica suministra temas fundamentales al estudio de los fenómenos térmicos. Gracias a Helmholtz, queda establecida la primera ley de la termodinámica; ésta, es un enunciado de la conservación de la energía, pero no afirma nada respecto al curso que toman los acontecimientos en el universo. La energía se conserva cuando cae una piedra y su energía potencial gravitatoria se transforma en energía cinética. Pero al chocar la piedra con el suelo y al llegar al reposo, su energía cinética se transforma en energía térmica. Ahora bien, una piedra que se encuentra en reposo sobre el suelo, NUNCA cambia la energía térmica, de ella y de la vecindad, en energía cinética para salir disparada hacia arriba. La primera ley no excluye esta posibilidad ya que este proceso inverso también conserva la energía; pero el proceso no se presenta en la naturaleza.



Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888)



William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907)

En 1850 Clausius y Thomson aclaran el problema de la degradación de la energía: la energía mecánica se puede utilizar íntegramente, pero la calórica no. En un sistema aislado, la energía se conserva, pero se

degrada. He aquí la esencia de la segunda ley de la termodinámica; la naturaleza muestra una dirección preferente para el curso de los acontecimientos espontáneos, la segunda ley indica cual es esa dirección. A lo largo de la historia de la termodinámica se han formulado varios enunciados, todos ellos equivalentes; a continuación se presentan algunos de ellos.

El calor no fluye espontáneamente de un cuerpo frío a un cuerpo caliente. Este enunciado es el más antiguo y simple de las formulaciones de la segunda ley y resume solamente el hecho de que, en forma natural, el calor fluye de lo caliente hacia lo frío. Aquí los términos coloquiales frío y caliente, se refieren a cuerpos o sistemas que están a diferentes temperaturas, el cuerpo frío tiene una temperatura menor que el caliente.

La energía calórica no puede transformarse completamente en trabajo mecánico y viceversa, en un proceso cíclico. En este enunciado las frases clave son “no puede transformarse completamente” y “proceso cíclico”. El que el proceso sea cíclico significa que, por ejemplo, el motor de un automóvil efectúa un ciclo de procesos que lo regresa a su estado original, de manera que puede mantenerse una producción de trabajo al repetirse el ciclo. En los procesos donde se intercambia calor por trabajo, siempre habrá alguna pérdida o desperdicio de calor, cuando dicha energía se transforma en trabajo mecánico. Debido a lo anterior la eficiencia de una máquina térmica nunca podrá ser del 100 %; si esto fuese posible podríamos construir máquinas de movimiento perpetuo. Por lo tanto, la segunda ley de la termodinámica nos indica que es imposible construir una máquina térmica de movimiento perpetuo.

La entropía total aumenta en todo proceso de la naturaleza. La entropía es una medida de la capacidad del sistema para hacer trabajo o para transferir calor. Por ejemplo, un sistema que esté a temperatura elevada tenderá de manera natural a hacer trabajo, a transferir calor o ambas cosas hacia sus alrededores. En el proceso, la entropía del sistema

aumenta y por tanto, a mayor entropía del sistema, menor energía disponible en el mismo para realizar trabajo. En cierto sentido, la energía calórica es más ordenada cuando está concentrada en el sistema y cuando se transfiere desde dicho sistema; en un proceso natural es más dispersa o “desordenada”, y por tanto hay aumento de entropía.

A manera de conclusión podemos entonces afirmar, que en el caso de los fenómenos de la naturaleza estudiados a nivel macroscópico, es decir con la física clásica, existe una asimetría, ya que hay o existe una dirección preferente para el curso de los acontecimientos en dichos fenómenos.

Ing. Martín Bárcenas Escobar (martin_b_e@yahoo.com.mx)

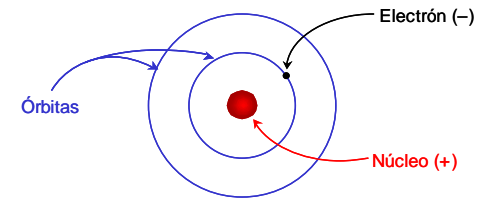
Prof. de Carrera Titular “A” de Tiempo Completo en el Área de Física General de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

“LA TEORÍA ATÓMICA DE BOHR”

En 1913 el físico danés Niels Bohr (1885-1962), tomando como base el conocimiento que se tenía hasta entonces sobre espectros electromagnéticos, la teoría cuántica y el efecto fotoeléctrico, elaboró un conjunto de postulados que explican el comportamiento de los electrones dentro de un átomo, dando origen a un nuevo modelo atómico que podía explicar, entre otras cosas, por qué los electrones no se proyectaban hacia el núcleo, por qué el átomo de hidrógeno sólo emite o absorbe ciertas ondas electromagnéticas, por qué se presenta el efecto fotoeléctrico y a qué se debe la estabilidad de los átomos; así también, explica algunas propiedades físicas de los átomos como el tamaño, la energía de ionización, etc. Los postulados de Bohr se pueden enunciar en la forma siguiente:

1.- Los electrones se mueven alrededor del núcleo en órbitas circulares estables.

Con este postulado, se concibe al átomo como un sistema planetario, donde el núcleo y los electrones hacen las veces del sol y los planetas respectivamente; de ello, se deduce que, mientras más grande sea la órbita, mayor será la energía que posee el electrón.



Esta situación presenta un inconveniente; de acuerdo con la física clásica, si los electrones se movieran en órbitas circulares, se acelerarían irradiando constantemente energía (perderían energía), describiendo una espiral hasta colapsar finalmente con el núcleo; en otras palabras, el momento angular del electrón sería cada vez más pequeño. Sin embargo, para que esto no suceda, y como condición para mantener la energía del electrón, Bohr estableció el postulado siguiente:

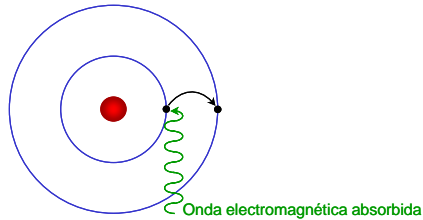
2.- Sólo son permitidas aquellas órbitas en las cuales el momento angular del electrón es un múltiplo entero de $\frac{h}{2\pi}$, donde h es la constante de Planck; así, se tendría que $m \cdot v \cdot r = \frac{n \cdot h}{2\pi}$, donde n es un número entero que indica la órbita o nivel energético en el que se encuentra el electrón.

Esto implicaría que un electrón de un átomo estable, que se encuentre en una órbita n , tendría un momento angular constante; es decir, su energía sería constante, por lo cual no existiría pérdida de energía. Además, también implicaría que el momento angular estaría cuantizado, ya que los valores de n , solo pueden ser números enteros (sería incorrecto suponer que existe la órbita 1.5); así, considerando lo anterior, Bohr propone el postulado siguiente:

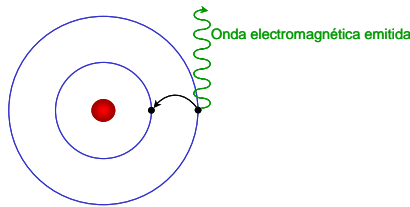
3.- Cuando un electrón pasa de una órbita a otra, dicha transición va acompañada de la absorción o emisión de una cantidad definida de energía (en

forma de onda electromagnética), cuya magnitud es igual a la diferencia de energía entre las dos órbitas.

Teniendo en cuenta lo anterior, si en un átomo estable, un electrón se encuentra inicialmente en la primera órbita, puede saltar a la segunda órbita; sin embargo, para que ello suceda, necesita ganar energía y esto puede hacerlo absorbiendo una onda electromagnética que lleve asociada la cantidad de energía correspondiente a la diferencia de energía entre las dos órbitas.



Cuando el electrón salta a una órbita superior, como en el caso anterior, deja un espacio vacío que hace inestable al átomo; para recuperar la estabilidad, el electrón debe regresar a la primera órbita liberando la energía que absorbió y lo hace emitiendo una onda electromagnética igual a la que absorbió.



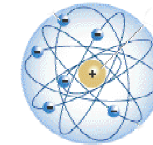
De este modo, la teoría de Bohr explica el origen del espectro de líneas, ya que un electrón solo puede absorber o emitir las ondas electromagnéticas que llevan asociadas las energías necesarias para realizar los saltos de una órbita a otra; además, dicha teoría también permite explicar el efecto fotoeléctrico, la energía de ionización y la constante de Rydberg para el átomo de hidrógeno. Sin embargo, la teoría de Bohr tiene sus limitaciones, porque no explica totalmente los espectros de los átomos que poseen más de un electrón; es decir, la teoría sólo se aplica para los átomos con un solo electrón (átomos hidrogenoides), ya que si el átomo tiene más de un electrón, se tendría que contemplar la

fuerza de repulsión que existiría entre los electrones. No obstante las limitaciones de la teoría, en 1922, Bohr obtuvo el Premio Nobel de Física por dicha teoría.

*M. en C. Alfredo Velásquez Márquez (velasquez4@yahoo.com)
Prof. de Carrera, Asociado "B", de Tiempo Completo en el Área de Química
de la Facultad de Ingeniería de la UNAM*

"EL COLAPSO DEL ÁTOMO DE HIDRÓGENO"

Uno de los postulados de Bohr afirma que la energía del electrón en un átomo sólo adquiere ciertos valores discretos (es decir, está cuantizada). En su estado basal el átomo de hidrógeno contiene sólo un electrón en la primera órbita. Bohr postuló que el electrón al girar en torno al núcleo no irradiaba energía y que, en consecuencia, se garantizaba la estabilidad del átomo en particular, y de la materia en general. Esto representó un duro golpe para la física clásica de ese tiempo, ya que era conocido que una carga eléctrica acelerada emitía radiación electromagnética.



Si se aplicara este razonamiento al átomo de hidrógeno, se llegaría a la conclusión de que el electrón al girar en torno al núcleo perdería energía gradualmente hasta llegar a colapsarse con él. Evidentemente este hecho iría en contra de la estabilidad de la materia, observada por cada uno de nosotros; sin embargo, no deja de surgir la siguiente interrogante: ¿si el átomo de hidrógeno se colapsara, según la física clásica de antaño, en cuanto tiempo lo haría?. Para contestar esta pregunta deben hacerse algunas consideraciones, entre ellas, que las órbitas que describe el electrón al caer hacia el núcleo, son casi circulares y que disminuyen gradualmente, como se describe a continuación:

Resolución

La fórmula de Larmor* permite determinar la energía irradiada por el electrón al ser acelerado:

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{e^2 \cdot a^2}{6 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot c^3} \quad (1)$$

Donde, e , representa la carga del electrón, a , la magnitud de su aceleración, ϵ_0 , la permitividad del vacío y c , la velocidad de la luz en el vacío.

Por otra parte, para que el electrón gire alrededor del núcleo, la fuerza centrípeta ejercida sobre esta partícula debe ser igual a la fuerza de atracción electrostática electrón-núcleo; entonces, debe cumplirse la igualdad:

$$m \cdot a = -\frac{e^2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2} \quad (2)$$

en la que m representa la masa del electrón, y r , el radio de la órbita (el cual iría disminuyendo al ir cayendo el electrón al núcleo).

De la ecuación (2) se obtiene:

$$a = -\frac{e^2}{4 \cdot \pi \cdot m \cdot \epsilon_0 \cdot r^2} \quad \text{y} \quad a^2 = \frac{e^4}{(4 \cdot \pi \cdot m \cdot \epsilon_0)^2 \cdot r^4} \quad (3)$$

Dando por hecho que la energía total que posee el electrón en su primera órbita está dada por:

$$E = -\frac{e^2}{2 \cdot (4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r)} \quad (4)$$

podemos escribir:

$$E^4 = \frac{e^8}{16 \cdot (4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r)^4} \quad \text{y} \quad e^2 = \frac{16 \cdot (4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r)^4 \cdot E^4}{e^6} \quad (5)$$

Al sustituir (3) y (5) en (1) se tiene:

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{16 \cdot e^4 \cdot (4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r)^4 \cdot E^4}{e^6 \cdot (4 \cdot \pi \cdot m \cdot \epsilon_0)^2 \cdot r^4 \cdot (6 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot c^3)} = -\frac{128 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}{3 \cdot e^2 \cdot c^3 \cdot m^2} \cdot E^4$$

que es una ecuación diferencial de primer orden, de la cual, al separar variables e integrar, se obtiene:

$$\int_{E_2}^{E_1} E^{-4} dE = -\frac{128 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}{3 \cdot e^2 \cdot c^3 \cdot m^2} \cdot \int_0^t dt$$

$$-\frac{1}{E^3} \Big|_{E_1}^{E_2} = \frac{128 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}{3 \cdot e^2 \cdot c^3 \cdot m^2} \cdot t = \frac{1}{E_1^3} - \frac{1}{E_2^3} \quad (6)$$

Cuando el electrón se colapsa en el núcleo, $r \rightarrow 0$, y $E_2 \rightarrow -\infty$ (por la ecuación (4)), así, el último término de la ecuación (6) tiende a cero. Si se despeja t ,

$$t = -\frac{3 \cdot e^2 \cdot c^3 \cdot m^2}{128 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot E_1^3}$$

La energía total del electrón en la órbita del átomo (E_1) es -13.6 [eV],

debido a lo cual: -13.6 [eV] $\cdot \left(\frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ [J]}}{1 \text{ [eV]}} \right) = -2.18 \times 10^{-18}$ [J]

de donde se obtiene:

$$t = -\frac{3 \cdot (1.6 \times 10^{-19} \text{ [C]})^2 \cdot (3 \times 10^8 \text{ [m/s]})^3 \cdot (9.1 \times 10^{-31} \text{ [kg]})^2}{128 \cdot \pi \cdot \left(8.85 \times 10^{-12} \text{ [C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2] \right) \cdot (-2.18 \times 10^{-18} \text{ [J]})^3} = 4.66 \times 10^{-11} \text{ [s]}$$

Como puede observarse, "el tiempo de colapso" del electrón sería muy pequeño; algo así como 215 veces más pequeño que el tiempo que el electrón dura en una órbita a la que ha brincado desde su estado basal, el cual se estima en alrededor de 10^{-8} [s].

*Joseph Larmor : Científico Irlandés (1857-1942) quien fue el primero en calcular la rapidez de emisión de energía de un electrón acelerado. Su fórmula no se satisface para velocidades cercanas a la de la luz, debido a efectos relativistas.

Dr. Rogelio Soto Ayala

*Prof. de Carrera Titular "A" de Tiempo Completo en el Área de Física General
de la Facultad de Ingeniería de la UNAM*

*La totalidad de la ciencia no es más que
un refinamiento del pensamiento cotidiano.*

Albert Einstein