

ELEMENTOS DE FISICA CUANTICA

En los últimos años del siglo XIX y primeros del siglo XX se pusieron de manifiesto diversos hechos que no podían explicarse con las leyes de la física entonces conocida y que abrían nuevos interrogantes, demostrando que la física no era una ciencia terminada. Algunos de estos hechos fueron:

- La forma de emitir radiación electromagnética en función de la temperatura que tienen los cuerpos.

Los cuerpos emiten radiación electromagnética a cualquier temperatura. Si la temperatura aumenta, la radiación emitida se hace más intensa y los cuerpos llegan a hacerse luminosos. A partir de ahí, si la temperatura sigue aumentando, su color varía hacia tonos más blancos y azulados, debido a que la radiación emitida es más rica en longitudes de onda cortas. A finales del siglo XIX se propuso un modelo que se denominó modelo del cuerpo negro, para estudiar la radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. De este modelo surgieron dos leyes:

- a) Ley de Stefan-Boltzmann: "la cantidad total, por unidad de tiempo y superficie, de energía emitida por un cuerpo negro es proporcional a la potencia cuarta de su temperatura absoluta"

$$E = \sigma \cdot T^4; \text{ siendo } \sigma = cte. = 5,67 \cdot 10^{-8} J/(sm^2 K^4)$$

- b) Ley de Wien: "El producto de la longitud de onda a la que se presenta un máximo de energía radiada, λ_m , por la temperatura absoluta es constante"

$$\lambda_m T = 2,897 \cdot 10^{-3} mK$$

- El comportamiento de la radiación electromagnética en el efecto fotoeléctrico.
- El comportamiento de la materia cuando interacciona consigo misma, como en los choques de electrones con átomos.
- El comportamiento ondulatorio de partículas materiales como los electrones.

Entre 1925 y 1927, Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Born y otros desarrollaron y formalizaron una nueva teoría denominada mecánica cuántica, que permitió interpretar los espectros de los átomos polielectrónicos y dar solución a muchos otros problemas de la física.

Hipótesis de Planck:

Los cuerpos emiten energía de forma discreta en forma de "paquetes" o "cuantos" de energía (posteriormente llamados fotones), de frecuencia determinada. Esta energía viene dada por: $E = hf$; donde f es la frecuencia y h es la constante de Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} J s$). (Recordemos que $f \lambda = c$)

Efecto Fotoeléctrico. Interpretación de Einstein:

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por las superficies metálicas cuando se iluminan con luz de frecuencia adecuada.

Para cada metal existe una frecuencia mínima llamada frecuencia umbral por debajo de la cual no se produce el efecto fotoeléctrico.

Einstein explicó el efecto fotoeléctrico: la luz se propaga por el espacio transportando la energía en forma de cuantos de luz, llamados fotones, cuya energía viene dada por la ecuación $E = hf$

Según Einstein, toda la energía de un fotón se transmite a un electrón del metal, y cuando éste salta de la superficie metálica posee una energía cinética dada por

$$hf = E_c + W_e; \Rightarrow hf = \frac{1}{2}mv^2 + W_e$$

W_e es la energía mínima que el electrón necesita para escapar de la superficie del metal. Se suele denominar trabajo de extracción.

Si la energía del fotón es menor que el trabajo de extracción, el electrón no escapa y no se produce el efecto fotoeléctrico.

Si la energía del fotón es igual al trabajo de extracción, estamos en la frecuencia umbral f_0 , frecuencia mínima necesaria para arrancar el electrón, entonces:

$$W_e = hf_0 ; \Rightarrow \quad \frac{1}{2}mv^2 = hf - hf_0 ; \Rightarrow \quad E_c = h(f - f_0)$$

Si la energía del fotón es mayor que el trabajo de extracción, el electrón escapa del metal con una determinada velocidad y por tanto energía cinética.

ENERGIA DEL FOTON = TRABAJO DE EXTRACCIÓN + ENERGÍA CINÉTICA DEL ELECTRÓN

MECÁNICA CUÁNTICA

En la evolución de los distintos modelos atómicos, el de Bohr alcanzó un gran éxito al explicar el espectro del hidrógeno, pero no era aplicable a átomos con varios electrones.

¡Recuerda! Postulados de Bohr:

1. Los electrones en los átomos se mueven en orbitas circulares alrededor del núcleo debido a la atracción coulombiana entre los electrones y el núcleo.
2. El electrón solo puede moverse en orbitas para las cuales el momento angular L es un múltiplo entero de la constante de Planck.
3. A pesar de que el electrón está acelerado constantemente, cuando se mueve en una orbita permitida no radia energía y entonces la energía total permanece constante.
4. El electrón solo emite energía cuando salta de una orbita permitida de energía E_i a otra también permitida de energía menor E_f . La frecuencia de la radiación emitida viene dada por:

$$f = \frac{E_i - E_f}{h}$$

Estos postulados están a medio camino entre la Física clásica y la cuántica. Los físicos teóricos intentaron encontrar nuevas fórmulas que explicasen la estructura de los átomos. Esto se consiguió con la llamada mecánica cuántica.

La mecánica cuántica tiene un carácter estadístico, es esencialmente probabilística y utiliza un aparato matemático más complicado.

Tiene tres principios fundamentales:

- La hipótesis de De Broglie
- El principio de incertidumbre de Heisenberg
- La ecuación de onda de Schrödinger

Hipótesis de De Broglie

Propuso la existencia de "ondas de materia". Su hipótesis consistía en suponer para la materia el comportamiento dual de la radiación, es decir, el comportamiento onda-partícula. Así como el fotón tiene asociada una onda que gobierna su movimiento, una partícula de materia (por ejemplo, un electrón) debe tener una onda asociada que gobierne su movimiento.

Tanto en la materia como en la radiación, la energía total está relacionada con la frecuencia de la onda asociada a su movimiento por la ecuación $E = hf$, y la cantidad de movimiento (momento lineal) está

relacionada con la longitud de onda de la onda asociada por la ecuación: $p = \frac{h}{\lambda}$

¡Recuerda que $p = m v$!

La relación anterior se llama relación de De Broglie, y predice la longitud de onda de materia asociada con el movimiento de la partícula.

Principio de Incertidumbre de Heisenberg

El hecho de que un cuerpo en movimiento pueda considerarse como un grupo de ondas de De Broglie, en vez de cómo una entidad localizada, sugiere que existe un límite fundamental para la precisión con que podamos medir sus propiedades corpusculares.

Heisenberg enunció su principio de incertidumbre, el cual establece que es imposible determinar la posición y el momento lineal de una partícula simultáneamente. Esto expresado matemáticamente:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Veamos una aplicación: tratemos de determinar la posición y el momento lineal en un instante dado de un electrón mediante la observación con un microscopio. Dicha partícula será observada por los fotones de luz que dispersa al ser iluminada. En este proceso, cada fotón posee un momento lineal h/λ , y al entrar en colisión con el electrón, este sufre una variación en su momento lineal p , por lo que la realización de la medida introduce una incertidumbre en la determinación del momento lineal del electrón: Δp .

Cuanto mayor sea la longitud de onda de la luz empleada para "ver" al electrón, menor será su momento lineal.

FÍSICA NUCLEAR

Reacciones Nucleares:

Se denominan reacciones nucleares los procesos en los que se producen cambios en el núcleo de los átomos. Estos cambios pueden ser en el número de protones, en el número de neutrones o en el estado energético. En las reacciones nucleares se conserva la energía, el momento lineal, el momento angular y la carga eléctrica.

Las reacciones nucleares se clasifican en cuatro grupos:

- Radiactividad o desintegración espontánea de un isótopo radiactivo, bien sea natural o artificial.
- Reacciones de bombardeo: captura de una partícula por parte de un isótopo y la posterior desintegración de éste, emitiendo alguna partícula.
- Fisión de un isótopo inestable pesado.
- Fusión de isótopos ligeros.

Modos de desintegración:

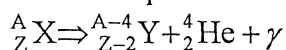
Las reacciones más importantes son:

- Emisión α
- Emisión β^-
- Emisión β^+
- Captura electrónica.
- Emisión γ

Emisión α :

Este tipo de desintegración nuclear es la fuente natural de radiactividad más importante. Se produce en átomos con más de 82 electrones. Las partículas alfa (${}^4_2\text{He}$) emitidas tienen valores discretos de energía.

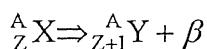
Estas reacciones se representan así:



Emisión β^- :

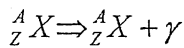
Este tipo de desintegración nuclear se produce por la emisión de electrones desde el núcleo de un elemento radiactivo. Estos electrones provienen de la desintegración de un neutrón.

Son de la forma:



Emisión γ :

Sería de la forma:



Ley de la Desintegración Radiactiva

En una muestra de material radiactivo compuesta inicialmente por N_0 núcleos, la cantidad de núcleos va disminuyendo con el tiempo debido a que parte de ellos se va desintegrando. En un instante posterior la cantidad que queda sin desintegrar es N , y se demuestra que en el intervalo de tiempo Δt , se desintegra un número de núcleos ΔN cuyo valor es proporcional al número de núcleos existentes:

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

La constante de proporcionalidad λ se llama constante de desintegración o constante radiactiva. Representa la probabilidad por unidad de tiempo de que se desintegre un núcleo, y tiene un valor característico para cada núcleo radiactivo. El signo (-) indica que la variación es siempre negativa, es decir N disminuye.

Si extendemos las variaciones a diferenciales e integramos obtenemos la siguiente expresión:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad *$$

Ley de la desintegración radiactiva: el número de núcleos de una muestra disminuye exponencialmente con el tiempo.

Algunas magnitudes importantes son:

- El periodo de semidesintegración o semivida, $t_{1/2}$, es el tiempo que tarda una muestra radiactiva de N_0 núcleos en reducirse a la mitad, es decir $N = N_0 / 2$
- La vida media τ de una muestra radiactiva es el tiempo promedio de vida de los núcleos presentes. Se cumple que $\tau = 1 / \lambda$
- La actividad, o velocidad de desintegración, de una muestra radiactiva que contiene N núcleos es el número de desintegraciones por unidad de tiempo:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{d}{dt}(N_0 e^{-\lambda t}) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N$$

En el sistema internacional se mide en becquerel (Bq): 1Bq equivale a una desintegración por segundo.

Energía de Enlace

La experiencia indica que los núcleos estables poseen masas mas pequeñas que la suma de las masas de las partículas que los constituyen. La diferencia entre la masa experimental de un núcleo y la teórica se llama defecto de masa, Δm :

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - M_{\text{exp}}$$

donde M_{exp} es la masa experimental del núcleo considerado, m_p la masa del protón y m_n la masa del neutrón.

Se llama energía de enlace, o energía de ligadura del núcleo, a la energía que corresponde al defecto de masa, por tanto $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$, que se desprende en el proceso de formación del núcleo a partir de sus constituyentes. Esta es la energía que da la estabilidad al núcleo.

Se denomina energía de enlace por nucleón al cociente entre la energía de enlace y el número de nucleones. Representa la energía necesaria para extraer un nucleón del núcleo que lo contiene y es una medida de la estabilidad de un núcleo: los mas estables son los que tienen mayor energía de enlace por nucleón. (Un nucleón es cada una de las partículas que contiene el núcleo, bien sea un protón o un neutrón).

La energía de enlace que mantiene los nucleones unidos es la energía equivalente al defecto de masa experimental del núcleo.

* En ocasiones se puede escribir N por las masas, cuando que $m = m_0 e^{-\lambda t}$