MODELO ATÓMICO DE NIELS BOHR

M. C. Q. Alfredo Velásquez Márquez

FRAUNHOFER

En 1814 el óptico alemán y constructor de instrumentos Joseph von Fraunhofer, unió un telescopio a un prisma y examinó los colores espectrales de la luz solar con mayor cuidado que cualquier otro predecesor y observó que la perfecta continuidad cromática que había visto Newton, donde un color se fusionaba imperceptiblemente con el otro, estaba en realidad quebrada por líneas oscuras. Así como Galileo había visto manchas oscuras en la brillante superficie del Sol, Fraunhofer descubrió manchas oscuras en el glorioso fenómeno del espectro.

KIRCHHOFF / BUNSEN

En 1859, dos profesores alemanes, Gustav Robert Kirchhoff y Robert Wilhelm Bunsen, sumando los logros alcanzados por Fraunhofer, desarrollaron el espectroscopio, un aparato que permite observar los espectros de absorción y de emisión de los diversos elementos, y sentaron las bases de la espectroscopia moderna, determinaron que cada elemento tiene un espectro de absorción único, en el cual se observan franjas oscuras en idéntica posición que las observadas en su respectivo espectro de emisión.

La pregunta que quedaba por responder era:

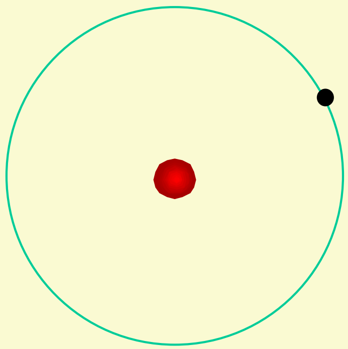
¿POR QUÉ LOS ÁTOMOS DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS SOLO ABSORBEN O EMITEN ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS DE DETERMINADAS LONGITUDES DE ONDA?

Niels Henrik David Bohr

En 1913, el físico danés Niels Bohr, propuso una nueva teoría atómica basada en la teoría cuántica de Planck, el efecto fotoeléctrico, los espectros electromagnéticos y sus propios resultados experimentales. Dicha teoría fue enunciada en forma de postulados que permiten visualizar al átomo como un sistema planetario en el cual los electrones giran alrededor del núcleo atómico en órbitas o estados estacionarios, tal como los planetas lo hacen alrededor del sol.

Postulados del Modelo de Bohr

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

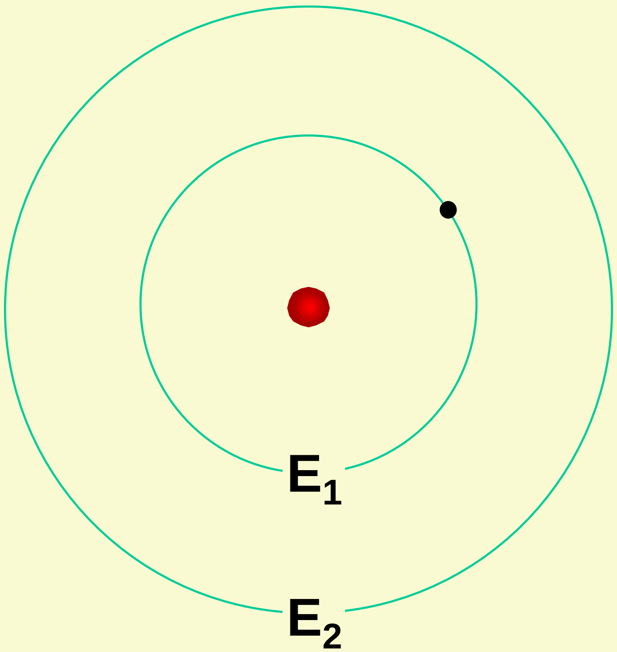


De acuerdo a la física clásica, si los electrones se movieran en órbitas circulares, se acelerarían irradiando constantemente energía (perderían energía), describiendo una espiral hasta colapsar finalmente con el núcleo.

Postulados del Modelo de Bohr

2.- Sólo son permitidas aquellas órbitas en las cuales el momento angular del electrón está cuantizado, siendo un múltiplo entero de $\frac{h}{2\pi}$

$$\underbrace{m \cdot v \cdot r}_{\text{Momento angular}} = n \frac{h}{2\pi}$$

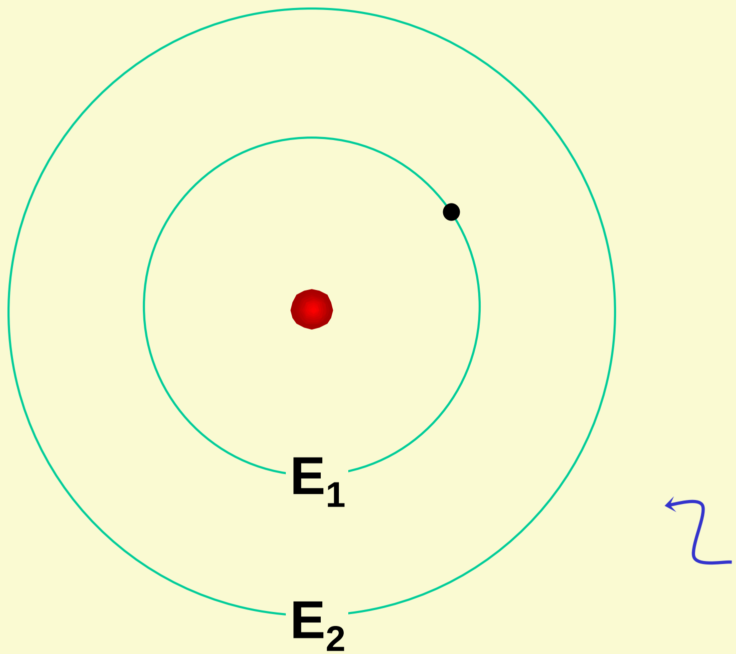


$E_1 < E_2$

Esto implica que un electrón en una órbita o estado estacionario **n**, posee un momento angular constante; y por lo tanto, su energía en dicha órbita se mantiene constante.

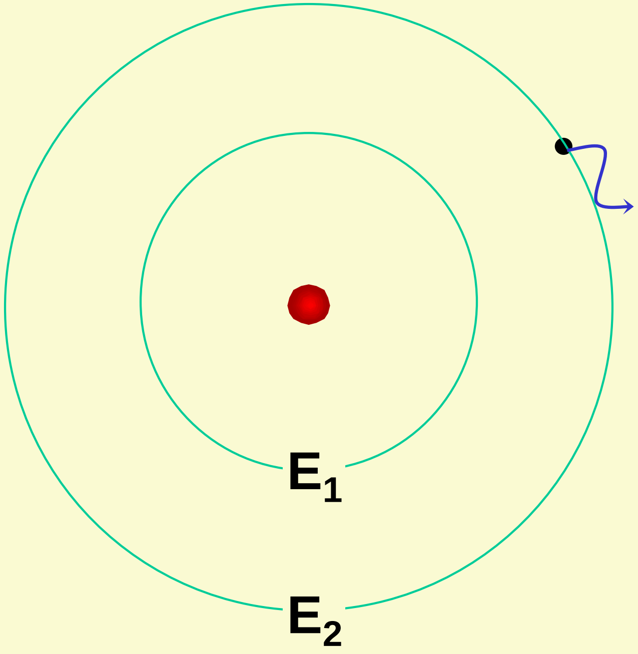
Postulados del Modelo de Bohr

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.



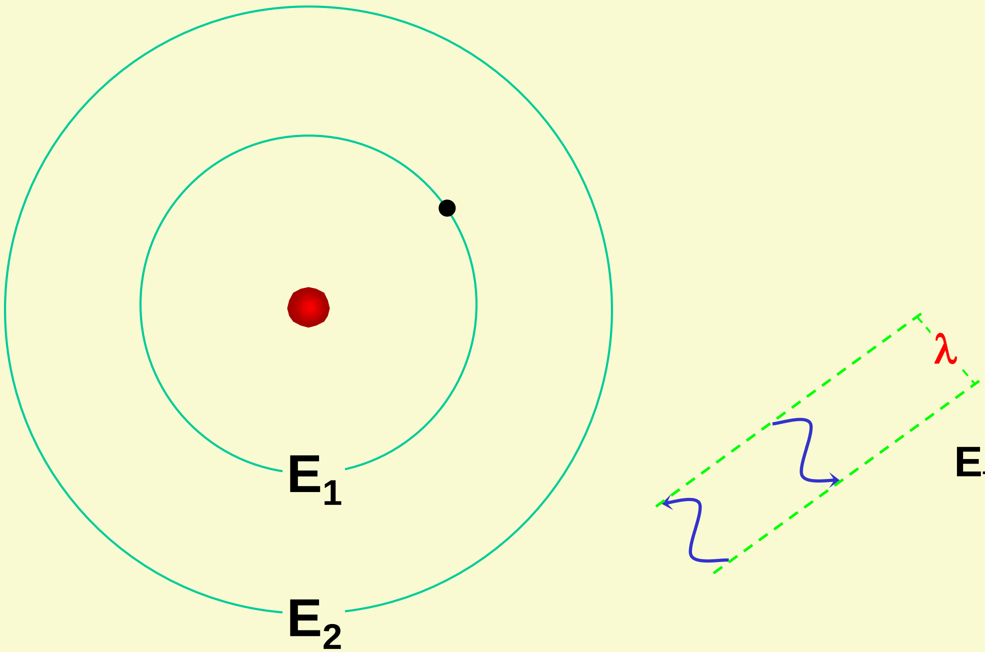
Postulados del Modelo de Bohr

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.



Postulados del Modelo de Bohr

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.

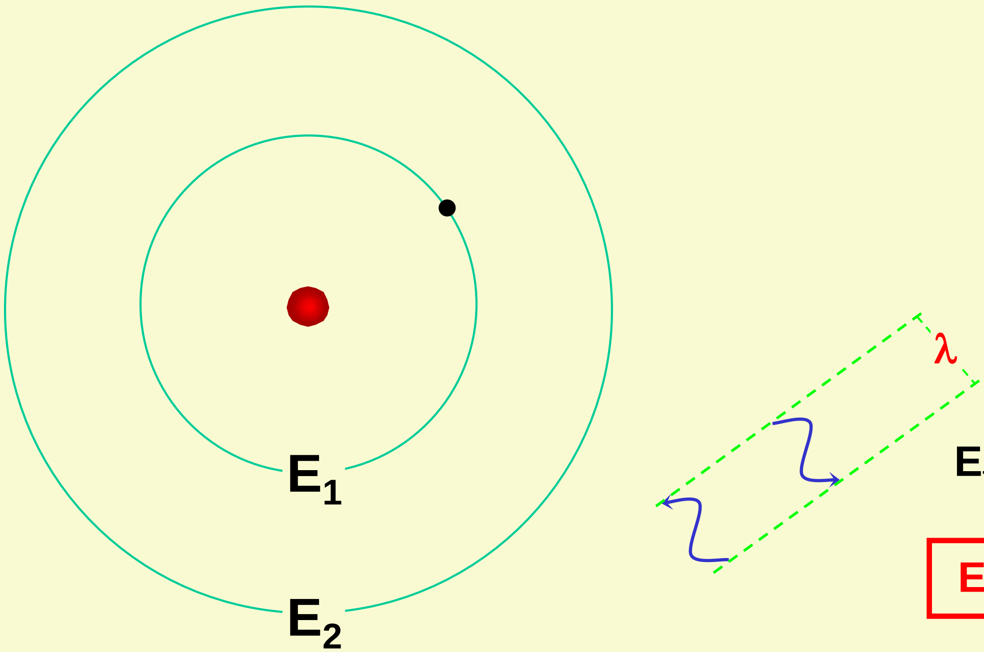


$$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

El fotón absorbido y el fotón emitido tienen la misma longitud de onda y por lo tanto la misma energía.

Postulados del Modelo de Bohr

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.



$$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$\boxed{E_f = \Delta E_{1,2}}$$

La energía del fotón emitido o absorbido es igual a la diferencia de energía entre las dos órbitas.

U N A M

Facultad de Ingeniería

Desarrollo Matemático de Bohr

Cuando un electrón gira alrededor del núcleo descr... órbita, se ejerce sobre él una fuerza eléctrica (... convención se considera negativa y que de acuerd... Coulomb se obtendría con la expresión siguiente:

$$F_e = -\frac{Q_1 \cdot Q_2 \cdot k}{d^2}$$

Si se consideran negativas las fuerzas que jalan al e... el núcleo, Q_1 sería la carga del electrón (**e**), Q_2 ... núcleo (**Ze**), **k** la constante de Coulomb y **d** la distan... cargas (**r**); por lo tanto, se obtendría la ecuación **1** sig...

$$\mathbf{1}\quad F_e = -\frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{r^2}$$

Dado que el electrón describe un movimiento circu... sobre él una fuerza centrípeta, la cual sería neg... ecuación **2** sería la siguiente:

$$\mathbf{2}\quad F_c = -\frac{m \cdot v^2}{r}$$

En este caso, como las fuerzas eléctrica y centrípe... jalar al electrón hacia el núcleo, se puede decir que s... misma fuerza; por lo tanto, las expresiones **1** y **2** ... igualar para obtener la ecuación **3**:

$$\mathbf{3}\quad \frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{r} = m \cdot v^2$$

Por otro lado, la energía total (E_T) que posee un electrón en una órbita, es la suma de las energías potencial (E_P) y c... como se muestra en la ecuación **4** siguiente:

$$\mathbf{4}\quad E_T = E_P + E_C$$

En este caso, la energía potencial (E_P), corresponde al trabajo necesario para llevar al electrón desde la órbita hasta el núcleo.

$$E_P = W = F \cdot d$$

El trabajo se define como el producto de la fu... distancia, pero en este caso la fuerza es la fuerza e... la distancia es el radio de la órbita (**r**); de tal fo... obtendría la ecuación **5** siguiente:

$$\mathbf{5}\quad E_P = -\frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{r}$$

Por otro lado, la energía cinética (E_C) que posee el electrón, se obtendría con la ecuación **6** siguiente:

$$\mathbf{6}\quad E_C = \frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{2 \cdot r}$$

Si se sustituyen las expresiones de la energía potencial (**5**) y de la energía cinética (**6**) en la expresión de la energía total (**4**), se obtiene la expresión (**7**) siguiente:

$$\mathbf{7}\quad E_T = -\frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{2 \cdot r}$$

De acuerdo al segundo postulado, el momento angular del electrón está cuantizado como se muestra en la expresión (**8**) siguiente:

$$\mathbf{8}\quad m \cdot v \cdot r = \frac{n \cdot h}{2 \cdot \pi}$$

De la expresión anterior se puede despejar la velocidad (**v**) y sustituir en la expresión (**3**). Posteriormente se simplifica y se despeja el radio (**r**) para obtener la expresión (**9**) siguiente:

$$\mathbf{9}\quad r = \frac{n^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z \cdot e^2 \cdot k}$$

En la expresión anterior se tienen muchas constantes las cuales se pueden agrupar en un solo término, obteniéndose la expresión (**10**) siguiente:

$$\mathbf{10}\quad r = R_B \cdot n^2 \cdot Z^{-1}$$

Donde R_B es una constante llamada radio de Bohr cuyo valor es 5.2917×10^{-11} [m] y equivale a:

$$R_B = \frac{h^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot e^2 \cdot k}$$

Si se sustituye la ecuación (**9**) en la ecuación (**7**), se obtendría la expresión (**11**) siguiente:

$$\mathbf{11}\quad E_T = -\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{n^2 \cdot h^2}$$

En un salto cuántico están involucradas dos órbitas, una de alta energía y una de baja energía, de tal forma que, las expresiones para determinar dichas energías son las siguientes:

$$E_A = -\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{n_A^2 \cdot h^2}$$

$$E_B = -\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{n_B^2 \cdot h^2}$$

De acuerdo al tercer postulado, la energía del fotón absorbido o emitido es igual a la diferencia de energía entre las dos órbitas.

$$E_F = \Delta E_{A,B} = E_A - E_B$$

Sustituyendo las expresiones de E_H y E_L en ésta ultima expresión se obtendría:

$$E_F = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{h^2}\left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2}\right)$$

De acuerdo a Planck, la energía de un fotón se puede calcular conociendo la longitud de la onda electromagnética.

$$E_F = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Sustituyendo esta última expresión en la anterior, se tendría:

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{h^2}\left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{h^3 c}\left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2}\right)$$

$$\mathbf{12}\quad \frac{1}{\lambda} = R_H \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2}\right)$$

$$R_H = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot e^4 \cdot k^2}{h^3 c}$$

Formulario de Bohr

$$F_e = -\frac{Q_1 \cdot Q_2 \cdot k}{d^2}$$

1 $$F_e = -\frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{r^2}$$

2 $$F_c = -\frac{m \cdot v^2}{r}$$

3 $$\frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{r} = m \cdot v^2$$

4 $$E_T = E_P + E_C$$

$$E_P = W = F \cdot d$$

5 $$E_P = -\frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{r}$$

6 $$E_C = \frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{2 \cdot r}$$

7 $$E_T = -\frac{Z \cdot e^2 \cdot k}{2 \cdot r}$$

8 $$m \cdot v \cdot r = \frac{n \cdot h}{2 \cdot \pi}$$

9 $$r = \frac{n^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z \cdot e^2 \cdot k}$$

10 $$r = R_B \cdot n^2 \cdot Z^{-1}$$

$$R_B = \frac{h^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot e^2 \cdot k}$$

11 $$E_T = -\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{n^2 \cdot h^2}$$

$$E_A = -\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{n_A^2 \cdot h^2}$$

$$E_B = -\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{n_B^2 \cdot h^2}$$

$$E_F = \Delta E_{A,B} = E_A - E_B$$

$$E_F = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{h^2}\left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2}\right)$$

$$E_F = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{h^2}\left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot k^2}{h^3 c}\left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2}\right)$$

12 $$\frac{1}{\lambda} = R_H \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2}\right)$$

$$R_H = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot e^4 \cdot k^2}{h^3 c}$$

Presentación revisada por:

Q. Adriana Ramírez González

Q. Antonia del Carmen Pérez León

Ing. Ayesha Sagrario Román García

M. A. Claudia Elisa Sánchez Navarro

Ing. Jacquelyn Martínez Alavez

Dr. Ramiro Maravilla Galván

Dr. Rogelio Soto Ayala

Profesores de la Facultad de Ingeniería, UNAM