



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Física Moderna

Modelos atómicos

Clase 1

Plan de trabajo

- Introducción historica
- Modelo de Thomson
- Modelo de Rutherford
- Modelo de Bohr
- Addendum: reglas de Cuantización de Wilson y Sommerfeld
- Comentarios finales

Introducción

- Siglo IV A.C. → Demócrito: materia compuesta por unidades indivisibles
→ **átomos**

Introducción

- Siglo IV A.C. → Demócrito: materia compuesta por unidades indivisibles
→ **átomos**
- 1803 → Dalton (químico) → Teoría atómica de los elementos

Introducción

- Siglo IV A.C. → Demócrito: materia compuesta por unidades indivisibles
→ **átomos**
- 1803 → Dalton (químico) → Teoría atómica de los elementos
 - ▶ C/ elemento compuesto por átomos idénticos
 - ▶ Átomos de distintos elementos difieren en masa, dimensiones, etc
 - ▶ Son indivisibles
 - ▶ Átomos de distintos elementos se combinan en proporciones que son cocientes de enteros para formar compuestos → Construye la primera tabla de pesos atómicos (6 elementos)

Introducción

- Siglo IV A.C. → Demócrito: materia compuesta por unidades indivisibles
→ **átomos**
- 1803 → Dalton (químico) → Teoría atómica de los elementos
 - ▶ C/ elemento compuesto por átomos idénticos
 - ▶ Átomos de distintos elementos difieren en masa, dimensiones, etc
 - ▶ Son indivisibles
 - ▶ Átomos de distintos elementos se combinan en proporciones que son cocientes de enteros para formar compuestos → Construye la primera tabla de pesos atómicos (6 elementos)
- 1887: J.J. Thomson descubre el electrón (Nobel en 1902) → **surge el problema de la determinación de la estructura interna del átomo** (electrón es 1000 veces más liviano!)

Introducción

- Siglo IV A.C. → Demócrito: materia compuesta por unidades indivisibles
→ **átomos**
- 1803 → Dalton (químico) → Teoría atómica de los elementos
 - ▶ C/ elemento compuesto por átomos idénticos
 - ▶ Átomos de distintos elementos difieren en masa, dimensiones, etc
 - ▶ Son indivisibles
 - ▶ Átomos de distintos elementos se combinan en proporciones que son cocientes de enteros para formar compuestos → Construye la primera tabla de pesos atómicos (6 elementos)
- 1887: J.J. Thomson descubre el electrón (Nobel en 1902) → **surge el problema de la determinación de la estructura interna del átomo** (electrón es 1000 veces más liviano!)
→ propone su propio modelo atómico....

Modelo de Thomson (1904)

- Modelo: electrones dispersos en una densidad uniforme de carga positiva
- Se ubican en posiciones de eq. electrostático



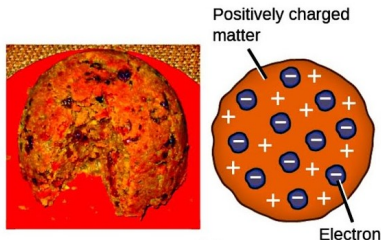
Figura: J. J. Thomson

Modelo de Thomson (1904)

- Modelo: electrones dispersos en una densidad uniforme de carga positiva
- Se ubican en posiciones de eq. electrostático



Figura: J. J. Thomson



Se lo denominó *modelo del budín de pasas...*

Modelo de Thomson (2)

- Exitos: escasos
 - ▶ neutralidad
 - ▶ estabilidad (eq. electrostático)

Modelo de Thomson (2)

- Exitos: escasos
 - ▶ neutralidad
 - ▶ estabilidad (eq. electrostático)
- Importancia:
 - ▶ Primero en conjeturar estructura interna
 - ▶ Motivó realización de experimentos muy relevantes (Geiger, Mardsen and Rutherford, 1908)

Modelo de Thomson (2)

- Exitos: escasos
 - ▶ neutralidad
 - ▶ estabilidad (eq. electrostático)
- Importancia:
 - ▶ Primero en conjeturar estructura interna
 - ▶ Motivó realización de experimentos muy relevantes (Geiger, Mardsen and Rutherford, 1908)
- Fracazos:
 - ▶ No explica el espectro de emisión de los átomos...

Espectros Atómicos

- Cada sustancia tiene su espectro de emisión característico

Espectros Atómicos

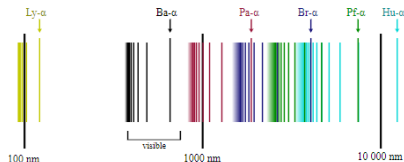
- Cada sustancia tiene su espectro de emisión característico
- Compuesto por emisiones en un **conjunto discreto de longitudes de onda**

Espectros Atómicos

- Cada sustancia tiene su espectro de emisión característico
- Compuesto por emisiones en un **conjunto discreto de longitudes de onda**
- Fundamental en astrofísica (composición de estrellas, movimiento de galaxias, etc.)

Espectros Atómicos

- Cada sustancia tiene su espectro de emisión característico
- Compuesto por emisiones en un **conjunto discreto de longitudes de onda**
- Fundamental en astrofísica (composición de estrellas, movimiento de galaxias, etc.)
- Ejemplo: Hidrógeno



Espectro de Hidrógeno

- 1885: Balmer identifica 4 líneas en el rango visible y conjetura:

$$\lambda = \frac{Bn^2}{n^2 - 4}, \quad n = 3, 4, \dots$$

donde $B \simeq 356\text{nm}$ (ajustada experimentalmente)

Espectro de Hidrógeno

- 1885: Balmer identifica 4 líneas en el rango visible y conjetura:

$$\lambda = \frac{Bn^2}{n^2 - 4}, \quad n = 3, 4, \dots$$

donde $B \simeq 356\text{nm}$ (ajustada experimentalmente)

- 1888: generalización (Rydberg):

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, \dots$$

cos $R_H \simeq 1.0973 \text{ m}^{-1}$ permite predecir la existencia de líneas en otras regiones del espectro:

Espectro de Hidrógeno

- 1885: Balmer identifica 4 líneas en el rango visible y conjetura:

$$\lambda = \frac{Bn^2}{n^2 - 4}, \quad n = 3, 4, \dots$$

donde $B \simeq 356\text{nm}$ (ajustada experimentalmente)

- 1888: generalización (Rydberg):

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, \dots$$

cos $R_H \simeq 1.0973 \text{ m}^{-1}$ permite predecir la existencia de líneas en otras regiones del espectro:

- ▶ Lyman (1906): $n = 1, m = 2, 3, \dots$

Espectro de Hidrógeno

- 1885: Balmer identifica 4 líneas en el rango visible y conjetura:

$$\lambda = \frac{Bn^2}{n^2 - 4}, \quad n = 3, 4, \dots$$

donde $B \simeq 356\text{nm}$ (ajustada experimentalmente)

- 1888: generalización (Rydberg):

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, \dots$$

cos $R_H \simeq 1.0973 \text{ m}^{-1}$ permite predecir la existencia de líneas en otras regiones del espectro:

- ▶ Lyman (1906): $n = 1, m = 2, 3, \dots$
- ▶ Paschen (1908): $n = 4, m = 5, 6, \dots$

Espectro de Hidrógeno

- 1885: Balmer identifica 4 líneas en el rango visible y conjetura:

$$\lambda = \frac{Bn^2}{n^2 - 4}, \quad n = 3, 4, \dots$$

donde $B \simeq 356\text{nm}$ (ajustada experimentalmente)

- 1888: generalización (Rydberg):

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, \dots$$

cos $R_H \simeq 1.0973 \text{ m}^{-1}$ permite predecir la existencia de líneas en otras regiones del espectro:

- ▶ Lyman (1906): $n = 1, m = 2, 3, \dots$
- ▶ Paschen (1908): $n = 4, m = 5, 6, \dots$
- ▶ Brackett (1922), Pfund (1924),...

Espectro de Hidrógeno

- 1885: Balmer identifica 4 líneas en el rango visible y conjetura:

$$\lambda = \frac{Bn^2}{n^2 - 4}, \quad n = 3, 4, \dots$$

donde $B \simeq 356\text{nm}$ (ajustada experimentalmente)

- 1888: generalización (Rydberg):

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, \dots$$

cos $R_H \simeq 1.0973 \text{ m}^{-1}$ permite predecir a existencia de líneas en otras regiones del espectro:

- ▶ Lyman (1906): $n = 1, m = 2, 3, \dots$
 - ▶ Paschen (1908): $n = 4, m = 5, 6, \dots$
 - ▶ Bracket (1922), Pfund (1924),...
- Un modelo atómico de hidrógeno **debe dar cuenta del espectro observado**

Espectro de Hidrógeno

- 1885: Balmer identifica 4 líneas en el rango visible y conjetura:

$$\lambda = \frac{Bn^2}{n^2 - 4}, \quad n = 3, 4, \dots$$

donde $B \simeq 356\text{nm}$ (ajustada experimentalmente)

- 1888: generalización (Rydberg):

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, \dots$$

cos $R_H \simeq 1.0973 \text{ m}^{-1}$ permite predecir a existencia de líneas en otras regiones del espectro:

- ▶ Lyman (1906): $n = 1, m = 2, 3, \dots$
 - ▶ Paschen (1908): $n = 4, m = 5, 6, \dots$
 - ▶ Bracket (1922), Pfund (1924),...
- Un modelo atómico de hidrógeno **debe dar cuenta del espectro observado** → **Thomson falla**

Modelo de Rutherford (1911)

- Discípulo de Thomson
- Nobel de química en 1908 por su trabajo en radiactividad
- Propone modelo para explicar el resultado negativo de experimentos realizados por Geiger, Marsden y Rutherford a partir de 1908



Figura: E. Rutherford

Modelo de Rutherford (1911)

- Discípulo de Thomson
- Nobel de química en 1908 por su trabajo en radiactividad
- Propone modelo para explicar el resultado negativo de experimentos realizados por Geiger, Marsden y Rutherford a partir de 1908

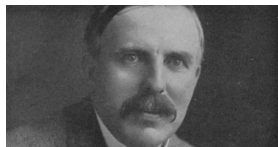


Figura: E. Rutherford

- Partículas α incidían sobre película muy delgada de oro
- Según Thomson deberían detectarse todas detrás da la lámina.
Sin embargo, algunas rebotaban

Modelo de Rutherford (1911)

- Discípulo de Thomson
- Nobel de química en 1908 por su trabajo en radiactividad
- Propone modelo para explicar el resultado negativo de experimentos realizados por Geiger, Marsden y Rutherford a partir de 1908

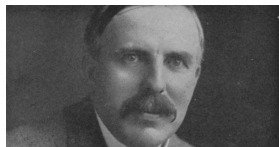


Figura: E. Rutherford

- Partículas α incidían sobre película muy delgada de oro
- Según Thomson deberían detectarse todas detrás de la lámina.
Sin embargo, algunas rebotaban
- Rutherford propone un modelo de tipo planetario:
 - ▶ Núcleo muy pequeño, muy masivo, positivo

Modelo de Rutherford (1911)

- Discípulo de Thomson
- Nobel de química en 1908 por su trabajo en radiactividad
- Propone modelo para explicar el resultado negativo de experimentos realizados por Geiger, Marsden y Rutherford a partir de 1908



Figura: E. Rutherford

- Partículas α incidían sobre película muy delgada de oro
- Según Thomson deberían detectarse todas detrás de la lámina.
Sin embargo, algunas rebotaban
- Rutherford propone un modelo de tipo planetario:
 - ▶ Núcleo muy pequeño, muy masivo, positivo
 - ▶ electrones orbitan bajo atracción Coulombiana



Model de Rutherford (II)

- El modelo representó un avance pero falló en varios aspectos esenciales:
 - ▶ No lograba predecir las órbitas

Model de Rutherford (II)

- El modelo representó un avance pero falló en varios aspectos esenciales:
 - ▶ No lograba predecir las órbitas
 - ▶ No explicaba el espectro de emisión

Model de Rutherford (II)

- El modelo representó un avance pero falló en varios aspectos esenciales:
 - ▶ No lograba predecir las órbitas
 - ▶ No explicaba el espectro de emisión
 - ▶ Estabilidad del átomo: si está acelerando, irradia, por lo que pierde energía y debería colapsar al núcleo

Model de Rutherford (II)

- El modelo representó un avance pero falló en varios aspectos esenciales:
 - ▶ No lograba predecir las órbitas
 - ▶ No explicaba el espectro de emisión
 - ▶ Estabilidad del átomo: si está acelerado, irradia, por lo que pierde energía y debería colapsar al núcleo
- Comenzó a primar la idea de que la explicación de la estructura atómica requeriría emplear las novedosas ideas de la cuantización → **Modelo de Bohr**

Modelo de Bohr (1913)

- Discípulo de Thomson (fallido) y de Rutherford
- Nobel en 1922 por esta y otras contribuciones
- propone modelo basado en 3 postulados:



Figura: Niels Bohr

(P1) Electrón se mueve en ciertas órbitas bajo la atracción Coulombiana **sin irradiar energía**

Modelo de Bohr (1913)

- Discípulo de Thomson (fallido) y de Rutherford
- Nobel en 1922 por esta y otras contribuciones
- propone modelo basado en 3 postulados:



Figura: Niels Bohr

- (P1) Electrón se mueve en ciertas órbitas bajo la atracción Coulombiana **sin irradiar energía**
- (P2) Órbitas permitidas son aquellas tales que $|\vec{L}| = n\hbar$, donde \vec{L} es el momento angular, $n=1,2,\dots$, y $\hbar = h/2\pi$, siendo h es la constante de Planck

Modelo de Bohr (1913)

- Discípulo de Thomson (fallido) y de Rutherford
- Nobel en 1922 por esta y otras contribuciones
- propone modelo basado en 3 postulados:



Figura: Niels Bohr

- (P1) Electrón se mueve en ciertas órbitas bajo la atracción Coulombiana **sin irradiar energía**
- (P2) Órbitas permitidas son aquellas tales que $|\vec{L}| = n\hbar$, donde \vec{L} es el momento angular, $n=1,2,\dots$, y $\hbar = h/2\pi$, siendo h es la constante de Planck
- (P3) Electrón puede realizar transiciones entre órbitas permitidas emitiendo o absorbiendo un fotón de energía $h\nu = |E_f - E_i|$

Comentarios finales

- Extremadamente exitoso!

Comentarios finales

- Extremadamente exitoso!
 - ▶ Explica la estabilidad
 - ▶ Explica el espectro de emisión
 - ▶ Resuelve el misterio de la serie de Pickering

Comentarios finales

- Extremadamente exitoso!
 - ▶ Explica la estabilidad
 - ▶ Explica el espectro de emisión
 - ▶ Resuelve el misterio de la serie de Pickering
- Generalización: teoría de cuantización de Wilson-Sommerfeld:

En todo sistema descrito por una coordenada q periódica, su variable de acción $J = \oint pdq$ solo puede tomar valores tales que $J = nh$,
 $n=1,2,\dots$

donde p es el momento asociado a q , y h es la constante de Planck

Comentarios finales

- Extremadamente exitoso!
 - ▶ Explica la estabilidad
 - ▶ Explica el espectro de emisión
 - ▶ Resuelve el misterio de la serie de Pickering
- Generalización: teoría de cuantización de Wilson-Sommerfeld:

En todo sistema descrito por una coordenada q periódica, su variable de acción $J = \oint pdq$ solo puede tomar valores tales que $J = nh$,
 $n=1,2,\dots$

donde p es el momento asociado a q , y h es la constante de Planck

- Sin embargo, sus fundamentos son oscuros \rightarrow es necesario desarrollar una teoría cuántica formal convincente...

Comentarios finales

- Extremadamente exitoso!
 - ▶ Explica la estabilidad
 - ▶ Explica el espectro de emisión
 - ▶ Resuelve el misterio de la serie de Pickering
- Generalización: teoría de cuantización de Wilson-Sommerfeld:

En todo sistema descrito por una coordenada q periódica, su variable de acción $J = \oint pdq$ solo puede tomar valores tales que $J = nh$,
 $n=1,2,\dots$

donde p es el momento asociado a q , y h es la constante de Planck

- Sin embargo, sus fundamentos son oscuros \rightarrow es necesario desarrollar una teoría cuántica formal convincente... esto ocurrirá en la década del 20.