¡

´[1]

ó

a

í

ó

a

á

ó

á

á

$_c uerda.png-$

$puedesusarmarcadoresdeposiciónoimágenesreales)enlamismacarpetaquetuarchivo.texoespecificarlarutacorrecta.Heusadoexample$

ó

á

ó

ó

¡

í

ñ

á

ú

La Función de Onda y la Ecuación de Schrödinger

Una introducción a la descripción cuántica de la materia

Curso: Física Moderna
[Tu Nombre]

June 19, 2025

El Enigma Cuántico

Figure: Imagen de una mosca de murciélago obtenida con un haz de electrones (p. 1349).

Pregunta Inicial

Esta imagen se tomó con un **haz de electrones**, no de luz. ¿Qué propiedad de los electrones permite obtener imágenes con un nivel de detalle que la luz visible no puede alcanzar?

Nota para el presentador: Hipótesis de De Broglie (p. 1350) y longitud de onda.

La Necesidad de una Nueva Física

Más allá del modelo de Bohr

- El modelo de Bohr fue un gran avance, pero era inconsistente: mezclaba ideas clásicas y cuánticas.
- No podía explicar átomos más complejos que el hidrógeno.
- Como dice el texto: *"Se necesitaban desviaciones más drásticas respecto de los conceptos clásicos."* (p. 1349)

La Necesidad de una Nueva Física

Más allá del modelo de Bohr

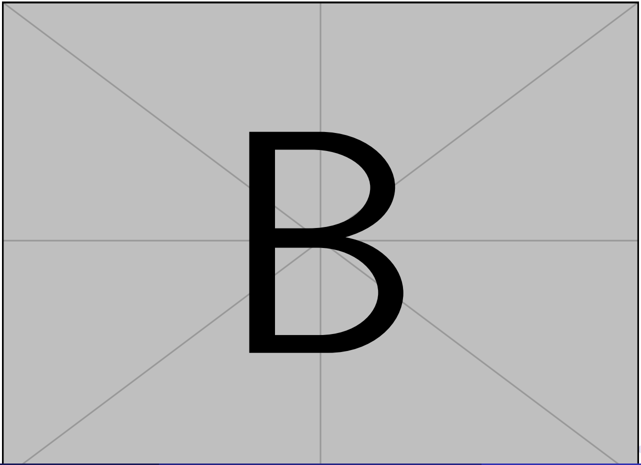
- El modelo de Bohr fue un gran avance, pero era inconsistente: mezclaba ideas clásicas y cuánticas.
- No podía explicar átomos más complejos que el hidrógeno.
- Como dice el texto: *"Se necesitaban desviaciones más drásticas respecto de los conceptos clásicos."* (p. 1349)

La solución es la **Mecánica Cuántica**, una teoría que describe la materia no como partículas puntuales, sino como **ondas**.

Recordando las Ondas Clásicas (Parte 1)

Antes de lo cuántico, recordemos lo clásico

Pensemos en una onda simple que todos conocemos: **una onda en una cuerda de guitarra.**



Recordando las Ondas Clásicas (Parte 2)

La Función de Onda Clásica

Usamos una **función de onda clásica** para describir el desplazamiento y de cada punto x de la cuerda en cualquier instante t:

$$y(x, t)$$

¿Qué información contiene $y(x, t)$?

- La **forma** de la onda en el espacio.
- La **amplitud** (relacionada con la energía de la onda).
- La **velocidad** de cualquier punto de la cuerda.
- ¡Contiene **TODA la información** sobre el estado de la cuerda!

Esta idea de una función que describe completamente un sistema es clave.

Analogía Visual: De lo Clásico a lo Cuántico

Construyendo un Puente Conceptual

Mundo Clásico (Cuerda)	Mundo Cuántico (Electrón)
Objeto: Partícula (ej. electrón)	**Objeto:** Cuerda vibrante
Descripción: Desplazamiento y	**Descripción:** ???
Función: $y(x, t)$	**Función:** $\Psi(x, y, z, t)$
Propósito: Describe la forma y movimiento de la cuerda.	**Propósito:** Describe el **estado cuántico** de la partícula.

Vamos a usar la misma idea de una "función de onda" para describir el electrón, pero su significado será diferente y más profundo.

¿Qué es la Función de Onda (Ψ)?

El lenguaje de las ondas cuánticas

Así como una onda en una cuerda se describe por $y(x, t)$, una partícula en mecánica cuántica se describe por su **Función de Onda**:

$$\Psi(x, y, z, t)$$

- Es una función matemática que **contiene toda la información posible** sobre la partícula.
- **¡CUIDADO!** No es una onda física en un medio material. Es una **onda de probabilidad** (p. 1362).

Un Caso Especial: Estados Estacionarios

Simplificando el problema

Un **estado estacionario** es un estado donde la partícula tiene una **energía definida y constante (E)**. En este caso, la función de onda se puede

separar:

$$\Psi(x, y, z, t) = \psi(x, y, z) \cdot e^{-iEt/\hbar}$$

(Ecuación 39.14, p. 1363)

- $\psi(x, y, z)$: Parte espacial (independiente del tiempo).
- $e^{-iEt/\hbar}$: Parte temporal (oscilatoria).

Nos enfocaremos en la parte espacial, $\psi(x)$, que describe la "forma" de la onda.

La Gran Pregunta...

Si Ψ es un número complejo, ¿qué significa físicamente?

- No podemos medir Ψ directamente.
- ¿Cómo conectamos esta función matemática abstracta con los experimentos y el mundo real?

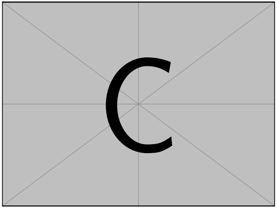


Figure: Max Born (p. 1362).

La respuesta la dio Max Born en 1926.

La Interpretación de Born: Probabilidad

El significado físico no está en Ψ, sino en el **cuadrado de su valor absoluto**:

$$|\Psi|^2$$

- $|\Psi|^2$ se conoce como la **densidad de probabilidad**.
- $|\Psi|^2 dV$ es la **probabilidad** de encontrar la partícula en un pequeño volumen dV.

En resumen: Donde $|\Psi|^2$ es grande, es muy probable encontrar la partícula.

Sugerencia: Dibujar en pizarra $\psi(x)$ vs $|\psi(x)|^2$.

Normalización

La partícula tiene que estar en algún lugar

Si $|\Psi|^2$ representa una probabilidad, la probabilidad total de encontrar la partícula en *todo el universo* debe ser del 100% (o 1). Esto impone una condición matemática fundamental:

$$\int_{\text{todo el espacio}} |\Psi|^2 dV = 1$$

Cualquier función de onda físicamente válida debe estar **normalizada**.

La Ley Fundamental del Mundo Cuántico

Mecánica Clásica

Conociendo las fuerzas, $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ nos dice cómo se moverá un objeto.

Mecánica Cuántica

Conociendo el entorno (la energía potencial $U(x)$), necesitamos una ley que nos diga cómo será la función de onda $\psi(x)$.

Esa ley es la **Ecuación de Schrödinger**.

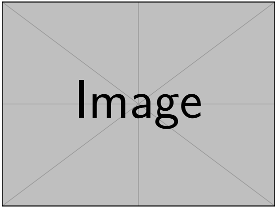


Figure: Erwin Schrödinger (p. 1364).

(Independiente del tiempo, 1D)

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi(x)}{dx^2}+U(x)\psi(x)=E\psi(x$$

(Ecuación 39.18, p. 1364)

Anatomía de la Ecuación

Desglosando sus partes:

$$\underbrace{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2}}_{\text{Término de Energía Cinética}} + \underbrace{U(x)\psi(x)}_{\text{Término de Energía Potencial}} = \underbrace{E\psi(x)}_{\text{Energía Total del estado}}$$

La ecuación dice: **(Energía Cinética + Energía Potencial)**ψ **=** **(Energía Total)**ψ

La Magia de la Ecuación de Schrödinger

¿Por qué es tan importante?

Resolver la ecuación para un potencial $U(x)$ dado nos da dos cosas:

1. Las **funciones de onda permitidas,** $\psi(x)$, que describen el estado de la partícula.
2. Los **niveles de energía permitidos,** E, para cada estado.

La Magia de la Ecuación de Schrödinger

¿Por qué es tan importante?

Resolver la ecuación para un potencial $U(x)$ dado nos da dos cosas:

1. Las **funciones de onda permitidas,** $\psi(x)$, que describen el estado de la partícula.
2. Los **niveles de energía permitidos,** E, para cada estado.

La cuantización de la energía no se postula, ¡sino que surge como una consecuencia natural de la naturaleza ondulatoria de la materia!

Resumen de la Clase

1. Las partículas se describen por una **función de onda (Ψ)**, que contiene toda su información.
2. El significado físico es la **densidad de probabilidad,** $|\Psi|^2$, que nos dice dónde es más probable encontrar la partícula.
3. La **Ecuación de Schrödinger** es la ley fundamental que nos permite encontrar la función de onda y la energía de un sistema.
4. Resolverla demuestra que la **energía está cuantizada** de forma natural.

Próximos Pasos

¿Qué sigue?

En la próxima clase, aplicaremos la Ecuación de Schrödinger al sistema cuántico más simple: **La partícula en una caja.** Veremos cómo

resolver la ecuación paso a paso y cómo aparecen los niveles de energía y las funciones de onda cuantizadas.