Estados Cuánticos

Luis Daniel Benavides Navarro Ph.D.

21-09-2020

Dualidad onda partícula

- Entre 1925 y 1927 se descubre la teoría cuántica desde dos puntos de vista:
  - **Heisenberg.** Valores de variables que describen partículas son matrices. Relacionados probabilísticamente con las observaciones de esas variables. (ahora sabemos que describen proporción en multiverso)
  - Ecuación de **Schrödinger** en un partícula describe una onda, pero en dos o más partículas describe onda en un espacio de mayor dimensión. (Hoy sabemos que describe proporción de instancias en el espacio y la información de entrelazamiento)
- Las dos teorías eran consistentes si se aplicaba una **regla empírica**: **Cuando una observación se hace, todas las historias, excepto una cesan de existir**.

Dualidad onda partícula II

- **Desastre.** Los físicos deciden no mejorar las explicaciones y se refugian en instrumentalismo.
- **Niels Bohr, interpretación de Copenhagen**: Las historias colapsan y no se puede preguntar la razón, no se puede usar lenguaje clásico para describir física cuántica, solo para las salidas de experimentos.
- **Equivocación:** la partícula se comporta a veces como onda y a veces como partícula. Depende de cómo la mire el observador (Irracional).

El multiverso

- Hugh Everet (1957). Las historias no colapsan, todas existen en el multiverso. Los estados son probabilísticos en un universo, pero determinísticos en el multiverso.

- Las partículas son partículas y se comportan como partículas con interferencia entre las diferentes historias.

- Fenómeno de la doble rendija.

Controversia pocos físicos aún soportan la explicación de Everett

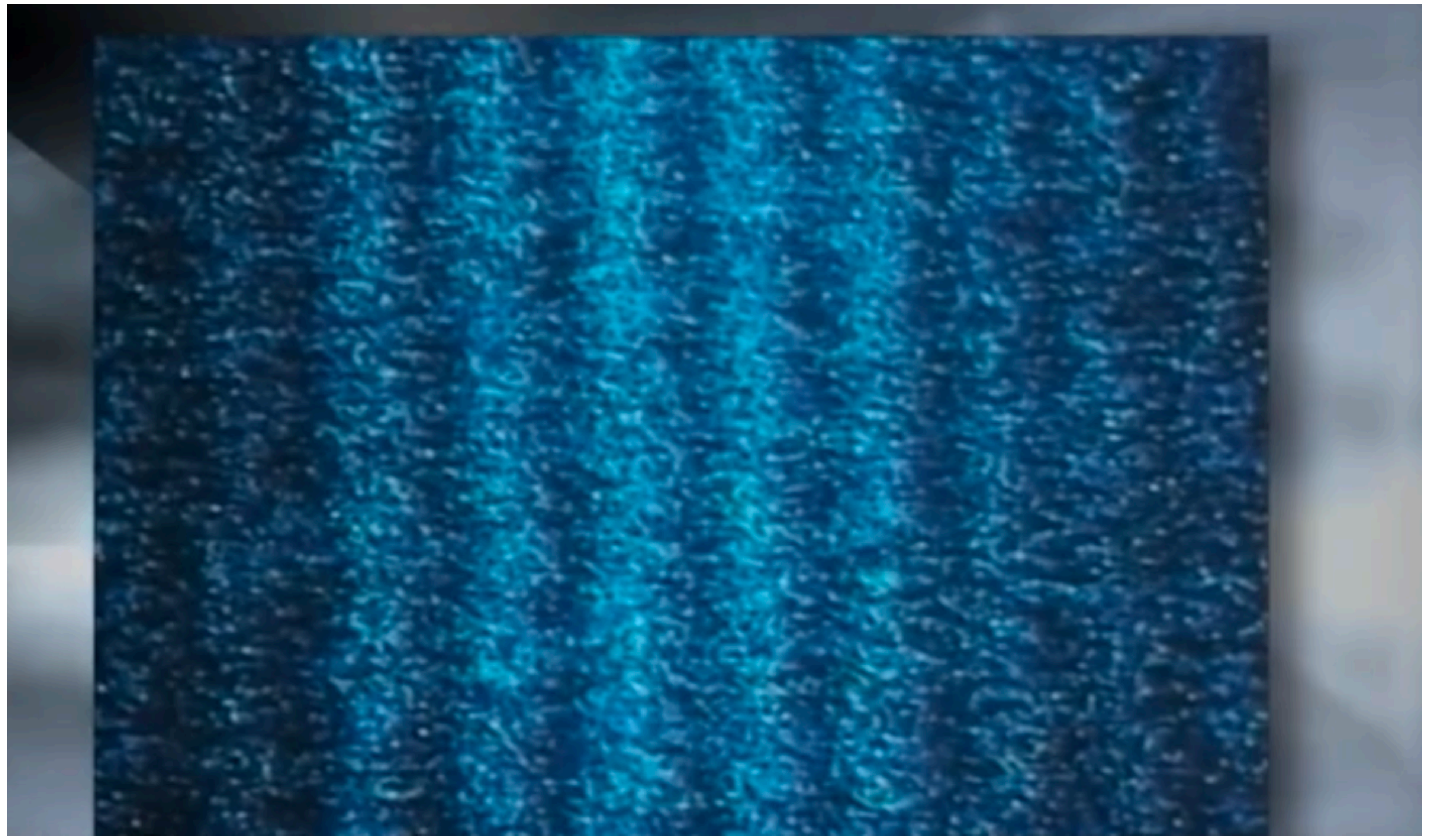
Buenas explicaciones:

Deutsch, David. Chapter 2: Shadows. The Fabric of Reality (p. 32). Penguin Publishing Group. Edición de Kindle. Chapter 2.

Deutsch, David. Chapter 12: A Physicist’s History of Bad Philosophy . The Beginning of Infinity: Explanations That Transform the World . Penguin Publishing Group. Edición de Kindle.

Buen video pero con explicaciones equivocadas y vagas.

https://www.youtube.com/watch?v=mypzz99_MrM



Estados cuánticos sistema partícula en una línea

Estados cuánticos

$$|\psi\rangle = c_0|0\rangle + c_1|1\rangle$$

con $c_0, c_1 \in \mathbb{C}$

Es decir, $c_0 = a_0 + b_0 i$ y $c_1 = a_1 + b_1 i$, dónde $a_0, a_1, b_0, b_1 \in \mathbb{R}$

Sistema 1: partícula en una línea

$$\begin{array}{cccccc} x_0 & x_1 & x_2 & x_3 & \cdots & x_{n-1} \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \cdots & \bullet \end{array}$$

$$|\psi\rangle = c_0|x_0\rangle + c_1|x_1\rangle + c_2|x_2\rangle + \ldots + c_{n-1}|x_{n-1}\rangle$$

$$|x_0\rangle = [1,0,0,0,...,0]^T$$

$$|x_1\rangle = [0,1,0,0,...,0]^T$$

$$|x_2\rangle = [0,0,1,0,...,0]^T$$

$$\ldots$$

$$|x_{n-1}\rangle = [0,0,0,0,...,1]^T$$

Amplitudes complejas

$$|\psi\rangle = c_0|x_0\rangle + c_1|x_1\rangle + c_2|x_2\rangle + \ldots + c_{n-1}|x_{n-1}\rangle$$

$$|\psi\rangle = [c_0, c_1, c_2, \ldots, c_{n-1}]^T$$

Superposición de los estados básicos

Probabilidad de observación

$$p(x_j) = \frac{|c_j|^2}{||\psi\rangle|^2} = \frac{|c_j|^2}{\sum_{k=0}^{n-1} |c_j|^2}$$

$$0 \leq p(x_j) \leq 1$$

Si el vector de estado está normalizado

$$p(x_j) = |c_j|^2$$

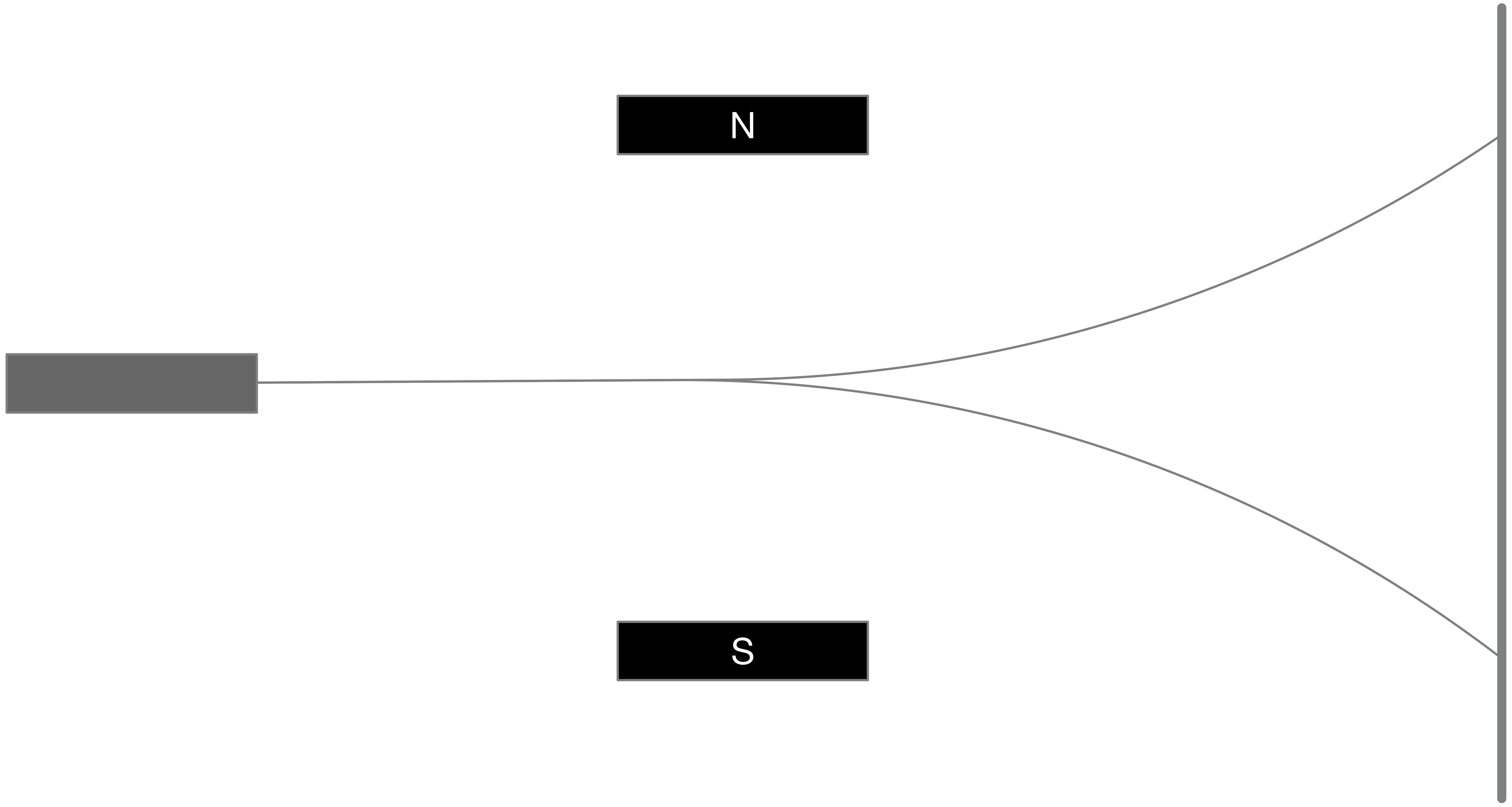
Estados y rayos

Recuerde: Los vectores que están en el mismo rayo representan el mismo estado del sistema

Si $|\phi\rangle = c \times |\psi\rangle$, con $c \in \mathbb{C}$, entonces $|\phi\rangle$ y $|\psi\rangle$ representan el mismo estado

Sistema cuántico el spin de una partícula

Spin- Experimento de Stern-Gerlach



- Electrones parecen no tener estructura interna, simplemente son un punto de carga.
- Los electrones solo se encuentran en uno de los dos puntos de la pantalla
- No importa en que dirección mida el campo magnético los electrones muestran solo dos posibles estados al medirlos.
- A ese estado se le denomina spin

Estados cuánticos

$$|\psi\rangle = c_0|\uparrow\rangle + c_1|\downarrow\rangle$$

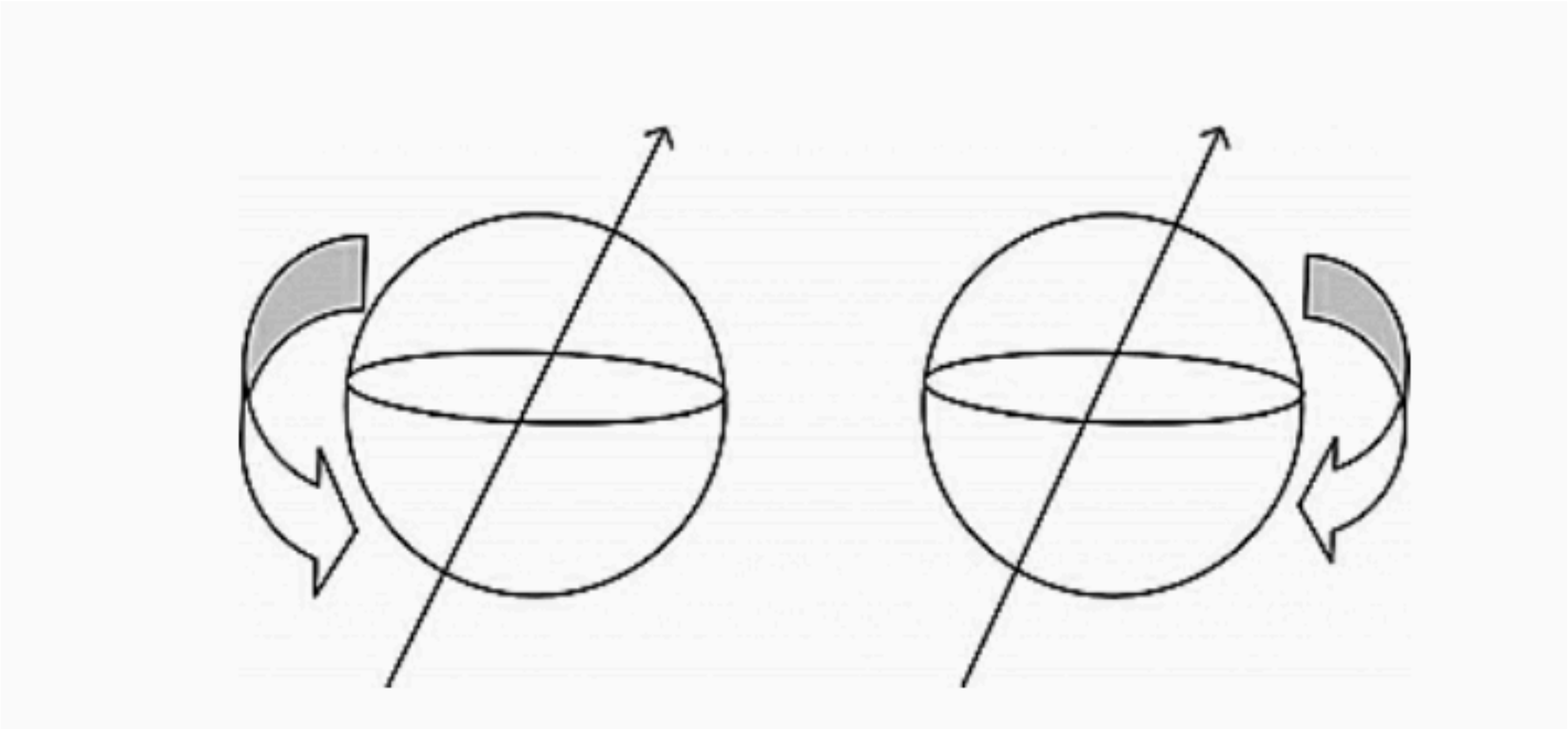
con $c_0, c_1 \in \mathbb{C}$

Es decir, $c_0 = a_0 + b_0 i$ y $c_1 = a_1 + b_1 i$, dónde $a_0, a_1, b_0, b_1 \in \mathbb{R}$

Espacio vectorial

$$| \uparrow \rangle = [1,0]^T$$

$$| \downarrow \rangle = [0,1]^T$$



Amplitud de transición

$$|\psi\rangle = [c_0, c_1, c_2, \ldots, c_{n-1}]^T \qquad |\psi'\rangle = [c'_0, c'_1, c'_2, \ldots, c'_{n-1}]^T$$

Normalizados

$$|\psi\rangle = [c_0, c_1, c_2, \ldots, c_{n-1}]^T \qquad |\psi'\rangle = [c'_0, c'_1, c'_2, \ldots, c'_{n-1}]^T$$

Normalizados

$$|\psi\rangle = [c_0, c_1, c_2, \ldots, c_{n-1}]^T \qquad |\psi'\rangle = [c'_0, c'_1, c'_2, \ldots, c'_{n-1}]^T$$

$$|\psi\rangle \xrightarrow{\langle \psi' | \psi \rangle} |\psi'\rangle$$

Normalizados

$$|\psi\rangle = [c_0, c_1, c_2, \ldots, c_{n-1}]^T \qquad |\psi'\rangle = [c'_0, c'_1, c'_2, \ldots, c'_{n-1}]^T$$

$$|\psi\rangle \xrightarrow{\langle\psi'|\psi\rangle} |\psi'\rangle$$

Normalizados

$$|\psi\rangle = [c_0, c_1, c_2, \ldots, c_{n-1}]^T \qquad |\psi'\rangle = [c'_0, c'_1, c'_2, \ldots, c'_{n-1}]^T$$

$$|\psi\rangle \xrightarrow{\langle\psi'|\psi\rangle} |\psi'\rangle$$

Bra $\longrightarrow$ $\langle\psi'| = |\psi'\rangle^\dagger = [\overline{c'_0}, \overline{c'_1}, \overline{c'_2}, \ldots, \overline{c'_{n-1}}]$

Normalizados

$$|\psi\rangle = [c_0, c_1, c_2, \ldots, c_{n-1}]^T \qquad |\psi'\rangle = [c'_0, c'_1, c'_2, \ldots, c'_{n-1}]^T$$

$$|\psi\rangle \xrightarrow{\langle\psi'|\psi\rangle} |\psi'\rangle$$

Bra $\longrightarrow$ $\langle\psi'| = |\psi'\rangle^\dagger = [\overline{c'_0}, \overline{c'_1}, \overline{c'_2}, \ldots, \overline{c'_{n-1}}]$

$$\langle\psi'|\psi\rangle = [\overline{c'_0}, \overline{c'_1}, \overline{c'_2}, \ldots, \overline{c'_{n-1}}] \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{n-1} \end{bmatrix}$$

$$|\psi\rangle = c_0|b_0\rangle + c_1|b_1\rangle + c_2|b_2\rangle + \ldots + c_{n-1}|b_{n-1}\rangle$$

$$c_j = \langle b_j|\psi\rangle$$

$$p(b_j) = |\langle b_j|\psi\rangle|^2$$

Ejercicios

Exercise 4.1.5 (a) Verify that the two state vectors $[\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}]^T$ and $[\frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{\sqrt{2}}{2}]^T$ are each of length 1 in $\mathbb{C}^2$. (b) Find the vector on the unit ball of $\mathbb{C}^2$ representing the superposition (addition) of these two states.

$$|\psi\rangle = [\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}]^T$$

$$||\psi\rangle| = \sqrt{2/4 + 2/4} = \sqrt{1} = 1$$

$$|\phi\rangle = [\frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{\sqrt{2}}{2}]^T$$

$$||\phi\rangle| = \sqrt{2/4 + 2/4} = \sqrt{1} = 1$$

$$|\psi\rangle + |\phi\rangle = [\sqrt{2},0]^T$$

$$[-1,0]^T$$

Exercise 4.1.8 Check that the set $\{|x_0\rangle, |x_1\rangle \ldots, |x_{n-1}\rangle\}$ is an orthonormal basis for the state space of the particle on the line. Similarly, verify that $\{|\uparrow\rangle, |\downarrow\rangle\}$ is an orthonormal basis of the one-particle spin system.

$$|x_0\rangle = [1,0,0,0,...,0]^T$$

$$|x_1\rangle = [0,1,0,0,...,0]^T$$

$$|x_2\rangle = [0,0,1,0,...,0]^T$$

$$\ldots$$

$$|x_{n-1}\rangle = [0,0,0,0,...,1]^T$$

Esto es lo que tiene que verificar

$$\langle b_i | b_j \rangle = 0$$

Fin