

Fenómenos no locales: Entrelazamiento en sistemas espacialmente separados

Marco del Rey Zapatero

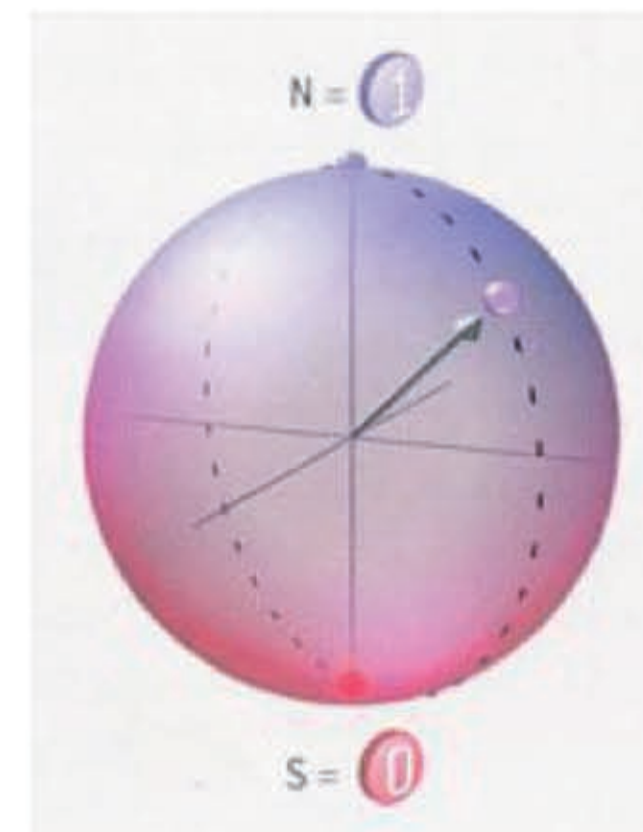
Computación clásica VS cuántica

- ▶ La tendencia a la miniaturización en los ordenadores clásicos presenta un límite teórico: los fenómenos cuánticos presentes a escalas de pocos nanómetros impiden llevar a cabo una computación efectiva.
- ▶ El **ordenador cuántico**, teorizado originalmente por Deutsch y Beinhoff, es un cambio de paradigma. Una nueva arquitectura que se apoya precisamente en estos fenómenos (en concreto en la **superposición** y el **entrelazamiento**), aprovechándolos como herramientas fundamentales de cálculo sobre un nuevo elemento básico de información: el **qubit**

Superposición y entrelazamiento

En mecánica cuántica una partícula puede estar en superposición de dos estados (Recordemos el gato de Schrödinger). Por ejemplo, el espín de un átomo puede estar orientado al mismo tiempo en la dirección positiva del eje z $|\uparrow\rangle$ y en la negativa, $|\downarrow\rangle$:

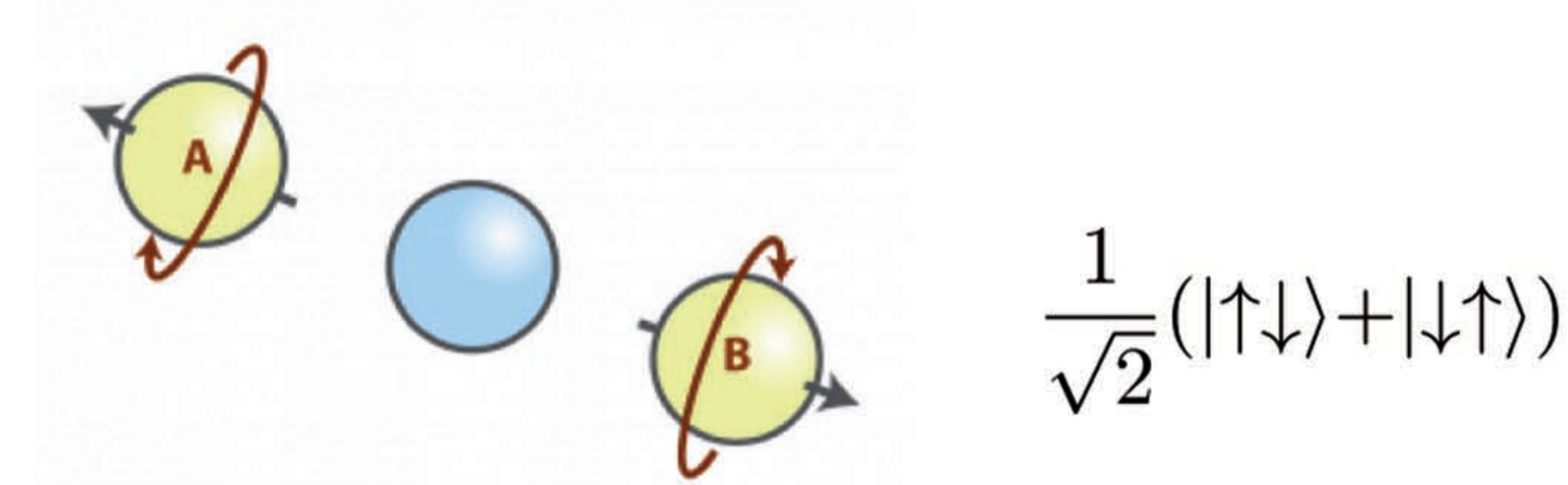
$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle)$$



De ese modo un registro de 3 qubits puede almacenar 8 valores a la vez, frente a uno de 3 bits, que sólo tomará un valor de los 8 posibles.

Un comportamiento especial surge cuando varios qubits se entrelazan.

En un estado entrelazado los qubits pierden su individualidad, y sólo el conjunto de qubits tiene un estado definido. Esta propiedad no-local a la que Einstein se opuso en su famoso artículo EPR, es clave en los potentes algoritmos cuánticos que reducen problemas no polinómicos a tiempos polinómicos.

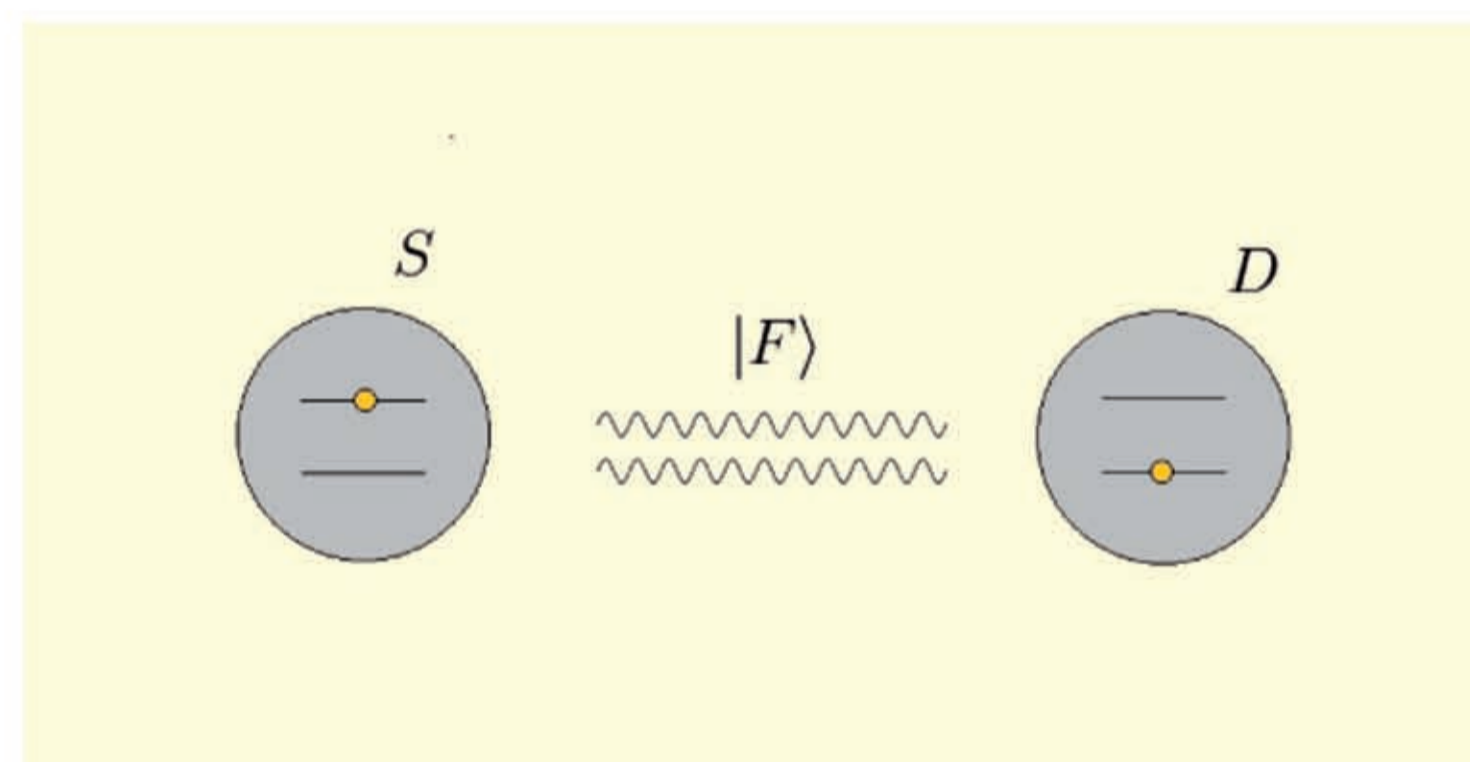


Fenómenos no locales

- ▶ El entrelazamiento da lugar a fenómenos de aspecto superlumínico, pero donde la información no se propaga de forma instantánea.
- ▶ Nada impide que las correlaciones surjan instantáneamente.
- ▶ Entender los fenómenos no locales, cómo controlarlos, cómo usarlos a nuestro favor y ver en qué medida afectan a nuestros sistemas, es fundamental para poder construir sistemas de computación cuántica y conocer sus límites.

La detección como entrelazamiento

Imaginemos el problema de la detección en su forma más simple: dos átomos de dos niveles, S y D, con S originalmente excitado y D desexcitado, y el campo originalmente en vacío $|SDF\rangle = |eg0\rangle$



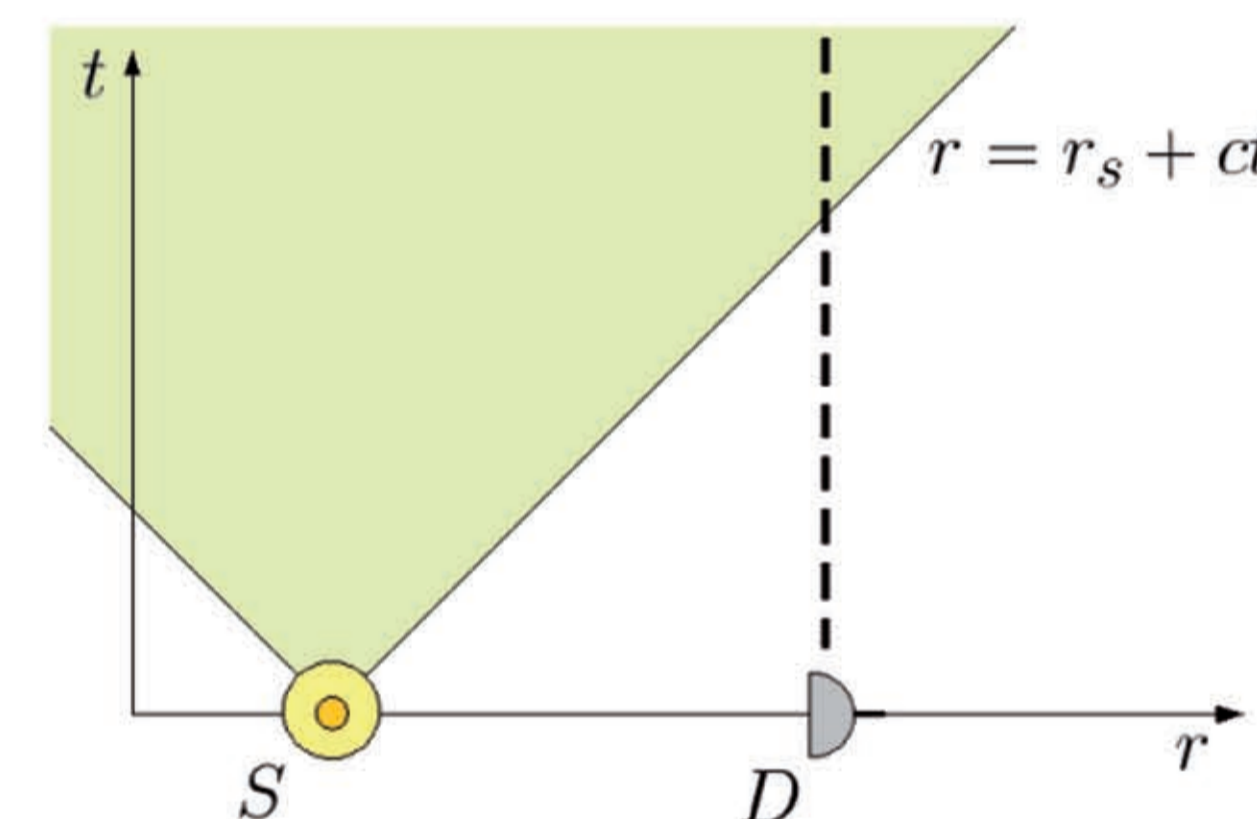
La evolución natural del sistema parece que debería resultar en un estado entrelazado:

$$A_0(t)|eg0\rangle + B_0(t)|ge0\rangle + B_1(t)|gg1\rangle$$

Y en principio $B_0 = 0$ para $t < R/c$

La realidad es no obstante distinta. La mecánica cuántica permite autoexcitaciones. A tiempos cortos es posible "robar energía" al vacío y un átomo puede excitarse emitiendo un fotón. El estado final resulta ser realmente:

$$A_0(t)|eg0\rangle + B_0(t)|ge0\rangle + A_1(t)|ee1\rangle + B_1(t)|gg1\rangle + A_2(t)|eg2\rangle + B_2(t)|ge2\rangle + \dots$$



Fiabilidad de detectores

- ▶ Mientras los coeficientes A_1, A_2, B_2, \dots son pequeños, no surgen problemas.
- ▶ Pero en un reciente estudio hemos descubierto que esta perturbación al entrelazamiento esperado es significativa en los regímenes que comienzan a ser estudiados en el marco de la computación cuántica, con acoplos fuertes y tiempos cortos.
- ▶ Puede suceder que midamos D excitado sin haberse producido la desexcitación de S. Hemos debido imponer límites a los tiempos en que podemos confiar en nuestros detectores.
- ▶ Seguimos trabajando para estudiar estos efectos y la posibilidad de observar directamente este tipo de fenómenos (beyond RWA) en implementaciones reales.

