

# Sistemas cuánticos individuales

Jorge A. Campos\*

## ABSTRACT (Individual Quantum Systems)

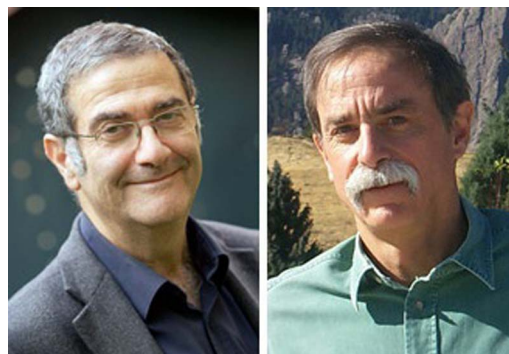
The Nobel Prize in Physics for 2012 was awarded to Serge Haroche and David J. Wineland “for ground-breaking experimental methods that enable measuring and manipulation of individual quantum systems”. The former deals with photons and measures them with atoms and the latter deals with ions and manipulates them with photons. The potential and actual applications of handling quantum systems are on their way to revolutionize not only technology but the way we understand the microscopic world.

**KEYWORDS:** Nobel Prize 2012, photons, single atoms, entanglement

Desde el advenimiento de la mecánica cuántica y a lo largo de la historia de su desarrollo se ha tenido que lidiar con fenómenos y propiedades que nos son ajenos por la escala a la que interactuamos cotidianamente (Tegmark & Wheeler, 2001). La *dualidad onda-corpúsculo* y el *principio de indeterminación* son conceptos pilares que nos ayudan a entender la estructura atómica y molecular en términos de orbitales. No obstante, los más recientes avances y experimentos nos hablan de una gran lista de cualidades que podríamos calificar, cuando menos, como desconcertantes. Los “misterios” cuánticos han inspirado publicaciones como *El mensaje del cuanto* (Zeilinger, *The message of the quantum*, 2005) donde pueden leerse las provocativas frases: “...para el evento individual en física cuántica, no sólo se desconoce la causa, *no hay causa*” y “la suposición de que la partícula posee tanto posición como momento, antes de la medición, es errada.”

Dentro de dicha lista se encuentra la *superposición de estados*. Por ejemplo la proyección para el espín de un electrón puede ser positiva (apuntar “hacia arriba”), negativa (apuntar “hacia abajo”) o una superposición de ambos. En el último caso esto implica que al medir se puede obtener cualquiera de ambos resultados, cada uno con cierta probabilidad. Lo último suele interpretarse como que el espín electrónico se encuentra en ambos estados *simultáneamente* mientras no sea medido, pues en la medición se selecciona sólo una de las contribuciones a la superposición (Peña, 2003).

Tomemos ahora una molécula de  $H_2$  en estado electrónico singlete, es decir que los espines de ambos electrones se encuentran en orientaciones opuestas. Si dicha molécula se disocia en el vacío se obtendrán dos átomos de hidrógeno con la peculiaridad de que el espín del electrón en uno de ellos será opuesto al del electrón en el otro átomo; en otras palabras, si al determinar la proyección del espín en el átomo  $A$  ésta sale negativa, entonces se puede asegurar que la correspondiente



**Figura 1.** Premiadados con el Nobel de Física 2012: Serge Haroche (izquierda) y David J. Wineland (derecha).

en el átomo  $B$  será positiva. Sin embargo, para satisfacer el requerimiento de antisimetría que da lugar al principio de exclusión de Pauli, el estado singlete en la molécula original corresponde a una superposición de las dos combinaciones de espín posibles:  $(\uparrow, \downarrow)$  y  $(\downarrow, \uparrow)$ . Esto significa que al medir la componente de espín sobre el átomo  $A$ , los estados sobre los cuales se hará la selección son moleculares, ¡a pesar de que ya no existe enlace covalente!, y no sólo eso sino que el átomo  $B$  “se enterará” del estado seleccionado sin que se haya interactuado directamente con él. En este ejemplo se han ilustrado el *entrelazamiento* y la *no localidad* (Peña, 2003).

Se dice que los átomos se encuentran en un estado entrelazado porque la medición sobre el átomo  $A$  implicó la definición de la propiedad en el átomo  $B$  sin tener que hacer ninguna medida sobre éste; es decir, que a pesar de lidiar con sistemas separados éstos se comportan como uno solo y toda la descripción se hace para el sistema diatómico y nunca para cada átomo por separado. Y se habla de no localidad ya que la acción sobre el átomo  $A$  tuvo una consecuencia sobre el átomo  $B$  sin importar que éstos ya no tuvieran una comunicación o contacto directo, en este caso, sin importar que ya no existiera enlace químico.

Éstas y otras peculiaridades no sobreviven hasta la escala macroscópica ya que la mera interacción de dos sistemas diferentes implica que éstos “se miden” mutuamente; si hablamos

\* Departamento de Física y Química Teórica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

**Correo electrónico:** jorge.campos@nucleares.unam.mx

de moles de sistemas entonces el número de mediciones efectuadas terminará colapsando las superposiciones y separando entrelazamientos. Este proceso se llama *decoherencia* y dadas las condiciones usuales de un sistema clásico bajo régimen térmico, es casi omnipresente y su acción sumamente rápida (Tegmark & Wheeler, 2001). Incluso Erwin Schrödinger llegó a afirmar: “Nunca experimentamos con sólo un electrón o átomo o molécula (pequeña). A veces suponemos que lo hacemos en experimentos pensados, esto invariablemente conlleva a consecuencias ridículas” (Schrödinger, 1952). 77 años después, los galardonados al premio Nobel de Física en 2012 lograron desarrollar métodos experimentales que permiten acceder a las propiedades cuánticas a pesar de la diferencia de escalas y de la decoherencia (Nobel Foundation, 2012). Veamos cómo lo hicieron.

### Fotones en cavidades

Una realización de sistema cuántico es un fotón, y la óptica cuántica se encarga de su estudio (Vicent, *et al.*, 2008). A grandes rasgos, las técnicas experimentales de esta disciplina se basan en el uso de espejos semitransparentes (reflejan y dejan pasar porciones iguales de la luz incidente) y retardadores de onda (cristales que alteran la propagación de la luz en una fracción controlada del ciclo de onda) para determinar la interferencia entre fotones individuales, es decir que no pertenecen a un haz. Los resultados experimentales logrados hasta la fecha han tenido enorme relevancia tanto para la indagación y comprobación de aspectos fundamentales en la teoría cuántica como para el desarrollo de nuevas y prometedoras tecnologías tales como encriptación cuántica (diseño de códigos secretos) y teleportación (traslado instantáneo de información) (Zeilinger, 2000), incluso se han logrado aprovechar para realizar cálculos de estructura electrónica (Lanyon, *et al.*, 2012). Sin embargo, en todos esos experimentos aunque los fotones puedan ser manipulados durante la trayectoria, están condenados a desaparecer al momento de la medición.

El gran logro de Serge Haroche y sus colaboradores Jean-Michel Raimond y Michel Brune en la *École Normale Supérieure* de París ha sido encontrar formas de medir estados de fotones individuales sin destruirlos en el proceso (Nogues, *et al.*, 1999).

Con este objetivo, el primer paso consiste en lograr fotones de “vida larga”, para lo cual se recurre a una cavidad esférica cuyo interior se encuentra forrado de Nb pulido a espejo. De esta forma, efectuando los experimentos a temperaturas cercanas al cero absoluto se puede garantizar: primero, que la contribución por radiación térmica al interior de la cavidad es despreciable, y segundo, que el forro será superconductor estabilizando el campo eléctrico. Como consecuencia, los fotones que rebotan en la cavidad tienen una vida media de más de 10 órdenes de magnitud mayor que en cualesquiera otras condiciones.

Los fotones confinados adquieren una longitud de onda del tamaño de la cavidad, es decir en las microondas. Un átomo dentro de la cavidad sería, en principio, insensible a este

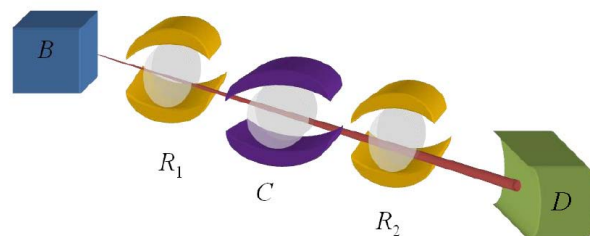


Figura 2. Esquema del dispositivo para la medición no destructiva de fotones.

tipo de radiación, por lo cual los átomos se preparan en estados de Rydberg. En éstos, el átomo de valencia de un átomo alcalino (el grupo de Haroche emplea Rb) se encuentra en un estado excitado de tan alta energía que el conjunto de electrones internos y el núcleo quedan tan lejanos que el sistema se asemeja a un átomo hidrogenoide, lo que facilita su descripción (Kleppner, Littman, & Zimmerman, 1981); además, los número cuánticos elegidos para este caso particular:  $n = 50$  y  $l = |m_l| = 49$ , son idóneos para que el átomo interactúe con la radiación en la cavidad mediante la transición al estado excitado con  $n = 51$ . Sin embargo, el dispositivo está diseñado para que la frecuencia de los fotones en la cavidad no coincida exactamente con la diferencia en energía de los niveles atómicos en cuestión. De esta manera, el átomo no absorbe la radiación permitiendo la subsistencia de los fotones, y es su interacción con el campo eléctrico lo que modifica los niveles energéticos (efecto Stark) y, por ende, su función de onda, dejándolo en un estado cuya medición revelará los detalles de la interacción con los fotones.

Un diagrama del dispositivo empleado por el grupo de Haroche se muestra en la figura 2. En la caja B se crea el estado de Rydberg para un haz de átomos de Rb mediante un láser pulsado. En la cavidad auxiliar  $R_1$  se tiene una población conocida y controlada de fotones de tal forma que se modifica la función de onda del átomo construyendo una superposición entre los estados con  $n = 50$  y  $51$ . En la cavidad C ocurre la interacción con la radiación de interés de forma que se genera una fase (desproporción) en la superposición. La cavidad auxiliar  $R_2$  tiene las mismas características que  $R_1$  pero al lidiar con un estado de entrada diferente arrojará una superposición distinta. Y por último el detector D permite identificar las componentes de la superposición.

Al no absorberse el fotón, éste puede hacerse interactuar con un tren de átomos, lo que permite caracterizar el estado final con mayor certidumbre. Recientemente esta metodología se ha empleado para observar el proceso de decoherencia: en C se produce radiación controlada en estados cuánticos conocidos y se efectúa la medición con el proceso descrito mientras el sistema evoluciona de una superposición de estados a una mezcla clásica (Deléglise, *et al.*, 2008).

### Iones atrapados

La sección anterior nos sugiere que los átomos e iones individuales también son sistemas a los que vale la pena mirar

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1183845>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1183845>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)