

Física Cuántica: Avanzada (y pesadilla) del conocimiento científico actual

(Quantum Physics: Advances (and nightmares) of current
scientific knowledge)

Sánchez, José Luis
Univ. Autónoma de Madrid
Dpto. de Física Teórica
Cantoblanco, s/n
28049 Madrid

BIBLID [1137-4411 (1999), 5; 259-261]

Se analiza la evolución de la teoría cuántica desde el punto de vista conceptual, haciendo énfasis en los problemas de interpretación de la misma, particularmente en lo referente a la idea de realidad física, que en la teoría cuántica presenta algunas facetas radicalmente distintas de las de la física "clásica".

Palabras Clave: Mecánica Cuántica. Realidad Física. No-separabilidad.

Lan honetan teoria kuantikoa aztertzen da ikuspegi kontzeptualetik, beraren interpretazio-arazoetan enfasi berezia jartzen delarik, batez ere errealitate fisikoaren ideari dagokionean, zeren eta horrek teoria kuantikoan fisika "klasi-koaren" erabat desberdinak diren zenbait alderdi aurkezten baitu.

Giltz-Hitzak: Mekanika Kuantikoa. Errealitate Fisikoa. Ez-banagarritasuna.

On analyse l'évolution de la théorie quantique d'un point de vue conceptuel, en insistant sur les problèmes d'interprétation de celle-ci, particulièrement en ce qui concerne l'idée de relativité physique, qui, dans la théorie quantique, présente certaines facettes radicalement différentes de celles de la physique "classique".

Mots Clés: Mécanique Quantique. Réalité Physique. Non-séparabilité.

1. INTRODUCCIÓN

Las dos teorías que fundamentan la física actual son la teoría de la relatividad (especial y general) y la mecánica cuántica. La primera es una teoría sobre el espacio y el tiempo y, aunque pueda contener de alguna manera ciertos elementos extraños a la intuición humana, es una teoría "clásica", en la que los aspectos básicos de la causalidad y el determinismo siguen en principio vigentes. Esto no sucede, en general, en los procesos cuánticos, donde los conceptos de causalidad y, sobre todo, de determinismo pierden el sentido claro que tenían en la teoría clásica (tanto en la mecánica newtoniana como en el electromagnetismo de Maxwell-Lorentz), debido a que, en estricta pureza, el espacio y el tiempo dejan de ser conceptos básicos en la teoría cuántica, donde la única entidad "absoluta" resulta ser el espacio (de Hilbert) de los estados cuánticos.

En esta conferencia, se mostrarán las principales características de la mecánica cuántica desde un punto de vista básico y limitándose a los aspectos fundamentales de la misma, después de exponer brevemente las razones físicas que motivaron, de modo ineludible, la creación de una teoría en principio tan extraña. Se discutirán, consiguientemente, las dos propiedades ciertamente diferenciales de la mecánica cuántica: indeterminismo, causado por el fenómeno que se conoce como "colapso de la función de ondas" o, también, "salto cuántico", y no-separabilidad, que surge, de hecho, de la correlación en el espacio de estados entre los subestados (no propiamente estados) de una partícula que componen el estado real de dos partículas que previamente han interactuado.

2. BREVE RECAPITULACIÓN DE ASPECTOS EXPERIMENTALES DECISIVOS

2.1. (1900) Max Planck explica la radiación del cuerpo negro, que no podía entenderse completamente según la mecánica estadística clásica, mediante la hipótesis de los "cuanta", cantidades discretas de energía absorbidas por el cuerpo negro en cuestión.

2.2. (1905) Albert Einstein da un paso más al frente y, para lograr una explicación del efecto fotoeléctrico, postula la existencia real de los cuantos de la radiación, que Planck consideraba hipotéticos tan sólo. El mismo Einstein explica dos años más tarde (1907) los calores específicos de los sólidos a bajas temperaturas mediante la hipótesis cuántica.

2.3. (1913) Niels Bohr introduce el concepto de cuantización de las órbitas del electrón (cuantización del momento angular) para explicar la espectroscopía del tomo de hidrógeno. Aparece así por primera vez la cuantización espacial. La existencia de niveles atómicos discretos fue confirmada por el experimento de Franck-Hertz (1914).

2.4. (1923). El físico norteamericano Arthur H. Compton descubre el efecto que lleva su nombre corroborando así la naturaleza corpuscular de la radiación electromagnética, postulada por Einstein en 1905.

2.5. (1926) Se lleva a cabo el experimento de Davisson y Germer, que establece la naturaleza ondulatoria del electrón.

Con respecto a los dos últimos experimentos, conviene recordar la situación en la primera década del siglo actual. Se suponía que había dos tipos de entidades físicas: partículas y ondas, que seguían leyes diferentes (mecánica y electromagnetismo, respectivamente). Después de los experimentos mencionados, no cabe duda de que tal cosa no podía ya mantenerse; L. de Broglie (1924) postuló la dualidad onda-corpúsculo, a la que siguió la formulación de la mecánica ondulatoria por parte de Schrödinger (1926). Un año antes (1925),

Heisenberg había inventado la mecánica matricial, que incorporaba el principio de indeterminación y suponía una ruptura radical con los conceptos clásicos de momento (es decir, velocidad) y posición. En 1927, Dirac, por medio de su "teoría de la transformación", construyó un formalismo general que comprendía a los dos citados como casos particulares. Finalmente, von Neumann en 1932 presentó la formulación matemática rigurosa de la teoría cuántica en el espacio de Hilbert, completando así los aspectos fundamentales de dicha teoría.

3. LA CUESTIÓN DE LA INTERPRETACIÓN

Los problemas de interpretación surgieron pronto. La necesidad de introducir un postulado adicional, el llamado postulado de reducción, fue ya vista claramente por Bohr y es el elemento clave en la llamada interpretación de Copenhague (también conocida por "ortodoxa"). Son conocidas las dificultades que aparecen al aplicar esta interpretación al mundo macroscópico (gato de Schrödinger, amigo de Wigner, etc.) y las quizás no tan conocidas (éstas insalvables) que aparecerían si se quisiera construir una cosmología cuántica según esas líneas.

Tenemos así el primer aspecto de pesadilla de la teoría cuántica: nos proporciona una descripción prácticamente perfecta de los átomos, moléculas, etc., es decir, del mundo microscópico, a la vez que parece comportar características bastante paradójicas de la realidad a escala macroscópica (al fin y al cabo, la escala humana). No hay todavía una solución completa a este problema, si bien la reciente formulación de la teoría cuántica mediante las llamadas historias decoherentes parece prometedora a tales efectos. (Hay que decir que dicha formulación está finalmente basada en la llamada "interpretación de muchos universos", que de este modo adquiere cierta vigencia.)

La segunda cuestión es la de la no-separabilidad, en relación con la llamada paradoja EPR (Einstein, Podolsky y Rosen) y su formulación cuantitativa mediante las desigualdades de Bell. Como es bien sabido, una amplia colección de experimentos han confirmado, casi sin lugar a dudas, esa extraña característica cuántica: las correlaciones surgidas entre dos subsistemas de un cierto sistema no se atenúan cuando dichos subsistemas se separan entre sí (la distancia, por sí misma, no juega ningún papel; de nuevo la cuestión del espacio en la teoría cuántica). Más aún, esas correlaciones violan unas desigualdades (encontradas por John Bell en 1964) que debe satisfacer cualquier teoría de variables ocultas locales. La realidad física parece ser, por consiguiente, no-local. Esta característica de las correlaciones cuánticas en estados, eso sí, muy concretos ha sido explotada para crear la base de un nuevo tipo de "criptografía cuántica", mediante la cual será posible enviar, en un previsible futuro, mensajes cifrados con absoluta seguridad. Así mismo, técnicas similares se están estudiando intensamente con el fin de llegar en un futuro al diseño de ordenadores cuánticos capaces, en principio, de resolver problemas computacionales muy fuera del alcance de los ordenadores "clásicos" convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

Citaremos sólo dos obras donde puede ampliarse lo expuesto en la conferencia:

- ALISTAIR RAE, "Física cuántica, ilusión o realidad?", Alianza Edit. (Madrid, 1989). Es un excelente libro de divulgación a un buen nivel.
- G. J. MILBURN, "Schrödinger's Machines", Freeman (Nueva York, 1997). Da una buena introducción a las futuras aplicaciones cuánticas y, en particular, a la criptografía y computación cuánticas.