

LA NATURALEZA CUÁNTICA

Enrique Fernández Borja

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de este artículo nos vamos a plantear los principios de la teoría cuántica y cómo afrontamos el problema de diseñar teorías cuánticas. Este es un tema de gran interés en la investigación actual ya que se intenta encontrar como se comporta la naturaleza en niveles muy básicos de su constitución. El tener un esquema solvente del por qué y el cómo la naturaleza está cuantizada nos aseguraría un enfrentamiento directo con problemáticas muy peliagudas en teorías tan actuales como las supercuerdas o la descripción cuántica de la gravedad en otras construcciones teóricas.

El objetivo principal de este artículo es el de plantear en un lenguaje sencillo, pero sin pérdida de formalidad, las bases conceptuales de lo que entendemos por cuantización. No hablaremos de los distintos tipos de cuantizaciones que se han definido ni la aplicabilidad de cada uno, ya que se saldría del objetivo y el nivel de esta exposición elemental.

LO CLÁSICO Y LO CUÁNTICO

En ciencia, lo fundamental es establecer y delimitar el campo de estudio; en física esto se ha de llevar al extremo debido a que así lo impone el propio lenguaje en el que expresamos nuestras disquisiciones acerca de la naturaleza, la matemática. Es evidente que este no es lugar apropiado para hacer una discusión profunda de la estructura matemática que conlleva la física, pero sí que asumiremos la forma de trabajar de la matemática dotándonos de un conjunto inicial de definiciones que nos centraran en el campo que queremos estudiar.

Los primeros conceptos que vamos a definir son los concernientes a qué entendemos por sistemas clásicos y por sistemas cuánticos.

Sistema clásico:

Diremos que un sistema es clásico cuando su comportamiento venga totalmente determinado por las leyes de la física clásica.

Sistema cuántico:

Diremos que un sistema es cuántico cuando su comportamiento venga totalmente determinado por las leyes de la física cuántica.

A primera vista, estas dos definiciones son vacías; lo son, pero vamos a intentar extraer a partir de ellas algunas conclusiones especificando qué entendemos por física o comportamiento clásico en contraposición a física o comportamiento cuántico.

En primer lugar hemos de asumir que las leyes de la cuántica son las fundamentales de la naturaleza y que contienen a las leyes de la clásica como un cierto límite, por tanto, todos los sistemas clásicos son cuánticos en la descripción más básica de su comportamiento pero no al contrario.

Física clásica:

Clásicamente asumimos que los sistemas físicos tienen una existencia real independientemente de si los estamos observando o no. A los sistemas clásicos les asociamos un estado, entendiendo por estado clásico el conjunto de valores de todas las magnitudes físicas que posee el sistema. Es importante apreciar que clásicamente el sistema posee un conjunto bien definido de valores de todas las magnitudes físicas que podemos extraer mediante las medidas que ejecutemos sobre éste. El estado del sistema clásico es indistinguible del conjunto de valores que podemos extraer de las medidas de las distintas magnitudes físicas de interés en él.

Toda esta discusión precedente nos hace entender por qué la descripción matemática que hacemos de las magnitudes físicas a un nivel clásico se hace sobre la base de las funciones continuas y las ecuaciones diferenciales. Una magnitud física se representa por una función cuya ley de evolución es una ecuación diferencial, la solución genérica a las ecuaciones diferenciales en general no dan una respuesta única sino toda una familia de funciones, es decir, desde un punto de vista físico tendríamos indeterminada la evolución de la magnitud de la que estamos intentando encontrar su comportamiento. Sin embargo, esto no es problema, la matemática nos dice que si conocemos una condición inicial de nuestra magnitud de estudio regida por la ecuación diferencial inmediatamente se nos da una única función solución que verifica dicha condición inicial. Toda estas ideas matemáticas desembocan en la posibilidad de que conocido un estado, —y siempre lo podemos conocer ya que los sistemas clásicos poseen estados perfectamente definidos—, conocemos toda la evolución pasada y futura del comportamiento de nuestro objeto de estudio. Si nos centramos en el campo de la mecánica esto nos permite determinar trayectorias, conocida la posición y velocidad en un instante de su evolución.

MECÁNICA CUÁNTICA

Asumiremos aquí que cuánticamente los sistemas también tienen existencia propia independientemente de nuestras observaciones, es decir, los sistemas cuánticos tienen un estado pero no podemos decir nada sobre él a menos que efectuemos una medida. Hemos introducido una diferencia sustancial entre la descripción clásica y la cuántica; en la primera el estado de un sistema era indistinguible del conjunto de valores de todas las medidas que podemos efectuar sobre él, sin embargo, en la cuántica nos vemos obligados a aceptar que el estado de un sistema es distinto de los resultados de las medidas que podemos realizar sobre el mismo.

También conocemos que, en general, cuánticamente una magnitud observable de un sistema no puede tener cualquier valor en cualquier situación sino que aparecen magnitudes que presentan un espectro discreto de resultados posibles de las medidas y es más, conocemos que únicamente podemos precisar la probabilidad de que al efectuar una medida real obtengamos uno u otro valor de dicho espectro.

Otra característica del formalismo cuántico es que no podemos definir cualquier conjunto de magnitudes observables sobre un sistema de manera arbitraria ya que estas no son siempre compatibles entre sí (Principio de Indeterminación).

Es por todas estas características que la mecánica cuántica se formula en un espacio, denominado de Hilbert, donde los estados cuánticos son vectores o más concretamente direcciones del mismo y existen unos objetos denominados operadores que al actuar sobre los estados dan lugar a todas las propiedades anteriormente enumeradas.

Resaltaremos que en mecánica cuántica la evolución temporal es perfectamente determinista y esta regida por una ecuación diferencial pero este determinismo se rompe en el momento que efectuamos una medida sobre el sistema bajo estudio.

LA CUANTIZACIÓN.

Llegados a este punto no será difícil argumentar que lo que busca un procedimiento de cuantización no es otra cosa que:

- i) Describir los observables físicos mediante operadores que actúan sobre el estado de los sistemas físicos. Es decir, las magnitudes observables no estarán implementadas por funciones sino por los mencionados operadores.
- ii) Definir un espacio de estados donde hacer actuar estos operadores y donde localizar las configuraciones posibles de nuestros sistemas.
- iii) Obtener una ley de evolución temporal que nos permita determinar, conocido un estado, cual será el espectro de probabilidad en cada instante.

AGRADECIMIENTOS:

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mis compañeros y amigos Iván Agulló y Jacobo Díaz por las largas discusiones mantenidas sobre este y otros temas que tanto contribuyen a aligerar el peso de mi ignorancia.

BIBLIOGRAFÍA:

- BEREZIN, F. A. (1966): *The Method of Second Quantisation*, Academic Press.
- FEYNMAN, R. P., LEIGHTON R. B. y SANDS, M. (1964): *The Feynman Lectures on Physics*, Addison-Wesley.
- RYDER, L. H. (1996): *Quantum Field Theory*, Cambridge University Press (2ª ed.).