

Principios básicos

Motivaciones y definición

Limitaciones en la mecánica cuántica

La ecuación de Schrödinger, una de las más importantes de la mecánica cuántica, describe la evolución de un sistema cuántico en el tiempo.¹³ La forma convencional de esta ecuación es:¹²

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\mathbf{r}) \right] \Psi(\mathbf{r}, t) = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}(\mathbf{r}, t)$$

donde $\Psi(\mathbf{r}) = \Psi(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_n)$ es la función de onda de n partículas, cuya posición viene dada por el vector \mathbf{r}_n ; m es la masa de las partículas, V su energía potencial y ∇^2 es el operador diferencial Nabla. Sin embargo, en esta forma básica, la ecuación de Schrödinger no es capaz de describir algunos aspectos de ciertos sistemas físicos:

Creación y destrucción

Durante la evolución de este sistema, el número de partículas se mantiene finito e *invariable* —a saber, n —. Sin embargo, en experimentos de altas energías es corriente que el número de partículas varíe —por ejemplo en la desintegración de un neutrón, o la aniquilación de un electrón y un positrón en fotones—, como consecuencia de la famosa relación masa-energía de la relatividad. Además, en el contexto de física del estado sólido, las excitaciones de un colectivo de átomos se reinterpretan como cuasipartículas, como el fonón,¹⁴ cuyo número es también variable. La ecuación de Schrödinger (1) no es apropiada para describir estos sistemas en el que el número de cuerpos no es fijo.¹³

Invariencia relativista

Esta ecuación no refleja las propiedades de la cinemática relativista. Su límite clásico describe el movimiento de una partícula bajo las leyes de la mecánica galileana, en lugar de

la mecánica relativista: el primer término de la izquierda en (1) se corresponde con la energía cinética no relativista $p^2/2m$,¹⁴ en lugar de la expresión relativista $(p^2 c^2 + m^2 c^4)^{1/2}$, donde p es el momento de la partícula.¹⁵

Campo clásico

Las interacciones entre las n partículas del sistema tienen lugar mediante fuerzas a distancia, dadas por el potencial V . Sin embargo, en la física clásica existen sistemas más generales, que no pueden entenderse mediante este esquema. Es por ejemplo el caso de un conjunto de cargas eléctricas en movimiento: para describir su evolución es necesario tener en cuenta de forma independiente a las propias partículas cargadas, así como también al campo electromagnético que generan.¹⁴ En general, la ecuación (1) no es válida para sistemas de campos continuos.

Es posible modificar la ecuación de Schrödinger para hacerla consistente con los principios de la relatividad especial, dando por resultado la ecuación de Klein-Gordon o la ecuación de Dirac. Sin embargo, estas tienen muchas propiedades insatisfactorias: por ejemplo, predicen la existencia de partículas con energía negativa, de modo que el sistema resulta ser inestable.¹⁶ Estos defectos son debidos a que dichas ecuaciones tampoco contemplan la posibilidad de que las partículas puedan crearse o destruirse y, como se menciona en el primer epígrafe, es inconsistente suponer una teoría *relativista* con un número *constante* de partículas en *interacción*.^{1 13}