



## SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



### A Interpretação da Função de Onda de Schrödinger.

Em verbetes desta série, vimos que o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961; PNF, 1933), em vários artigos escritos em 1926 (*Annales de Physique Leipzig* **79**, p. 361; 489; 734; 747; **80**, p. 437; e **81**, p. 136), desenvolveu a hoje conhecida **Mecânica Quântica Ondulatória**, traduzida pela **Equação de Schrödinger** (ES):

$$\left[(-\hbar^2/2m)\Delta + V(\vec{r}, t)\right]\psi(\vec{r}, t) = i\hbar \partial\psi(\vec{r}, t)/\partial t \Leftrightarrow \hat{H}\psi(\vec{r}, t) = i\hbar \partial\psi(\vec{r}, t)/\partial t$$

onde  $\psi(\vec{r}, t)$  é a *função de onda de Schrödinger* ou *campo escalar*,  $\Delta$  é o *operador laplaciano*,  $\hat{H}$  é o *operador Hamiltoniano*,  $V(\vec{r}, t)$  é um dado potencial e  $\hbar = h/2\pi$ , sendo  $h$  a *constante de Planck*.

Depois da proposta dessa equação, procurou-se saber o significado de  $\psi(\vec{r}, t)$ , pois, sendo a ES uma equação de onda, surgiu a seguinte questão. Ora, toda onda tem um suporte no qual ela se propaga: a onda sonora, é o ar; a onda elástica, é o meio material; e a onda eletromagnética, é o vácuo. Por outro lado, a sua solução geral envolve uma função complexa, ou seja:  $\psi(\vec{r}, t) = \varphi(\vec{r}) \times \exp[-(i/\hbar)Et]$ , solução essa chamada de *estacionária*, porque a energia ( $E$ ) é bem definida.

A primeira tentativa de dar uma interpretação para a  $\psi(\vec{r}, t)$  foi apresentada pelo próprio Schrödinger, ao interpretar os elétrons como *pacotes de onda* deslocando-se no espaço como se fossem partículas clássicas. Essa tentativa malogrou, pois logo ficou demonstrado que o “pacote” abria no decorrer do tempo [ver qualquer texto sobre Mecânica Quântica, como, por exemplo: A. S. Davydov, *Quantum Mechanics* (Pergamon Press, 1965)]. De outra feita, ainda Schrödinger propôs que seu *campo escalar* poderia medir a espessura da camada formada pelo elétron “espraiado” ou “derramado”, sem, no entanto, obter êxito. A interpretação que hoje é aceita foi a formulada pelo físico alemão Max Born (1882-1970; PNF, 1954), também em 1926 (*Zeitschrift für Physik* **37**; **38**, p. 863; 803), que a considerou como uma amplitude de probabilidade. Vejamos como ele chegou a essa interpretação.

Nessa época, Born discutiu sua ideia com um jovem físico norte-americano Julius Robert Oppenheimer (1904-1967), explicando-lhe que baseou sua hipótese nos fenômenos físicos de dispersão, pois, ao estudar a dispersão de elétrons (representado por uma onda de Broglieana) por um átomo, verificou que o número de elétrons difundidos poderia ser calculado por intermédio de uma certa expressão quadrática, construída a partir da amplitude da onda esférica secundária, onda essa gerada pelo átomo espalhador do feixe eletrônico incidente. Hoje, essa expressão quadrática -  $\bar{\psi}(\vec{r}, t)\psi(\vec{r}, t) = |\varphi(\vec{r})|^2$  - é denominada de probabilidade de encontrar o elétron em uma posição ( $\vec{r}$ ) estacionária. É oportuno destacar que Born e Oppenheimer, em 1927 (*Annalen der Physik* **84**, p. 457), desenvolveram o célebre *Método de Born-Oppenheimer* para

estudar, quanticamente, os espectros eletrônico, vibracional e rotacional das moléculas.

A essa interpretação de Born sobrepôs-se uma outra relevante questão. Será sempre possível observar uma grandeza física? A resposta a essa pergunta foi dada pelo físico alemão Werner Karl Heisenberg (1901-1976; PNF, 1932), ao apresentar, em 1927 (*Zeitschrift für Physik* 43, p. 172), o seu famoso Princípio da Incerteza: *É impossível obter exatamente os valores simultâneos de duas variáveis, a não ser dentro de um limite mínimo de exatidão*. Para o caso em que essas duas variáveis sejam ( $p_x$ ) (componente do momento linear na direção  $x$ ) e essa posição ( $x$ ), aquele princípio apresenta a seguinte forma:  $\langle x^2 \rangle \langle p_x^2 \rangle = (1/4) \hbar^2$ , com  $\langle \rangle$  significando o valor médio.

É interessante ressaltar que a interpretação probabilística de Born e o **Princípio da Incerteza** de Heisenberg, levaram à interpretação da Mecânica Quântica pela *Escola de Copenhague*, sob a liderança do físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922). Tal interpretação – a famosa **Interpretação de Copenhague** – ainda hoje é polêmica no mundo científico, por ser considerada uma *interpretação idealista* (Davydov, op. cit.). Mais detalhes sobre essa polêmica, ver: Gennaro Auletta, **Foundations and Interpretation of Quantum Mechanics: In the Light of a Critical-Historical Analysis of the Problems and of a Synthesis of the Results** (World Scientific, 2001).



**ANTERIOR**

**SEGUINTE**