Die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation

In der Quantenmechanik sind messbare Größen ("Observable") wie z.B. Ort, Impuls, Energie mathematisch durch (hermitesche) Operatoren repräsentiert, die auf „Zustände" eines Systems wirken. Die Messung einer physikalischen Observablen beeinflusst den Zustand des beobachteten Systems; sie entspricht ebenfalls der Anwendung eines Operators.
Im Allgemeinen kann man in einem physikalischen Zustand nur die Wahrscheinlichkeit für jeden möglichen Messwert einer Observablen A in diesem Zustand angeben, charakterisiert durch den Mittelwert $\langle A \rangle$ und die Streuung $(\Delta A)^2 = \langle (A - \langle A \rangle)^2 \rangle$ der Messwerte.
Insbesondere kann das Ergebnis zweier verschiedener Messungen von ihrer Reihenfolge abhängen, wenn die beiden Observablen nicht miteinander vertauschen, also
$[A,B] = A \cdot B - B \cdot A \neq 0$ ist. Das ist z.B. für den Ort x und den Impuls p eines Teilchens der Fall:

$$[x, p] = i\hbar \qquad \left(i = \sqrt{-1} \quad ; \quad \hbar = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\, Js \right)$$

Diese Beschreibung führt zu der in der klassischen Physik völlig unbekannten Situation, dass zwei nicht vertauschbare physikalische Observablen A und B nicht gleichzeitig beliebig genau gemessen werden können – ausgedrückt durch die berühmte Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation:

$$\Delta A \cdot \Delta B \geq \frac{1}{2} \left| \langle [A, B] \rangle \right|$$

Daraus ergibt sich z.B. für die Observablen Ort und Impuls eines quantenmechanischen Teilchens die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation in ihrer bekanntesten Form,

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

die besagt, dass Ort und Impuls eines quantenmechanischen Teilchens nicht gleichzeitig beliebig genau gemessen werden können. Je genauer eine Ortsmessung ist, desto weniger genau kann der Impuls des Teilchens bestimmt werden – und umgekehrt.

WERNER-HEISENBERG-GYMNASIUM
Werner-Heisenberg-Straße 1
51381 Leverkusen
Ruf: 0 21 71 – 70 67 0
Fax: 0 21 71 – 70 67 41
E-Mail: mail@whg-lev.de
Homepage: www.whg-lev.de