
5.1.7 Heisenbergsche Unschärferelation

Grundsätzliches zu Messvorgängen

Bei jedem Messvorgang findet eine Wechselwirkung zwischen Messobjekt und Messinstrument statt. Als Beispiel möge die Messung der Temperatur einer Flüssigkeitsmenge dienen: Die Temperatur des Messobjekts wird von der Temperatur des Thermometers mehr oder weniger stark beeinflusst. Wenn auch in einem solchen Beispiel der Einfluss des Messinstruments auf das Messobjekt vernachlässigt werden kann, so ist doch grundsätzlich mit jeder physikalischen Messung eine Rückwirkung des Messinstruments auf den untersuchten Gegenstand verbunden.

Im Bereich der Atome kann diese Wechselwirkung nicht mehr vernachlässigt werden, denn bei der Untersuchung einzelner atomarer Gebilde können die Messinstrumente, die ja auch aus Atomen bestehen, nicht mehr kleiner und feiner gemacht werden als die zu messenden Objekte. Genauso wenig kann die Beeinflussung des Gegenstandes durch das Messinstrument kontrolliert und durch entsprechende rechnerische Korrekturen ausgeglichen werden. Daher werden grundsätzlich alle Messungen im atomaren Bereich durch diese Wechselwirkungen gestört.

Die sich aus obigen Überlegungen ergebenden Schwierigkeiten bei Messvorgängen können durch ein von Werner Heisenberg (1901 - 1976, NP 1932) angegebenes Gedankenexperiment auch quantitativ gelöst werden.

Die Heisenbergsche Unschärferelation

Im folgenden Gedankenexperiment soll überprüft werden, ob bei einem Teilchen gleichzeitig Ort und Impuls scharf bestimmt werden können:

Gedankenversuch: Ein Teilchenstrahl (Photonen, Elektronen o. ä.) einheitlichen Impulses p_y bewege sich auf einen Spalt der Breite Δx zu.

Ergebnis: Bei geeigneter Dimensionierung entsteht auf einem dahinter liegenden Schirm ein Beugungsbild, das zunächst qualitativ mit einer Wechselwirkung zwischen Teilchen und Spalt erklärt werden kann.

Skizze:

3. Die Heisenbergsche Unschärfe hat nichts mit einer Messungengenauigkeit zu tun. Sie ist vielmehr bestimmt durch die unvermeidliche Störung des Messobjekts durch die Messanordnung!
4. Im Bereich der Mikrophysik ist der Bahnbegriff sinnlos, da er die gleichzeitige Messbarkeit von Ort und Impuls voraussetzt. Damit ist die Bestimmung des Anfangszustandes eines Systems unmöglich. Aussagen über den Fortgang eines Zustandes (Determinismus) sind damit ebenfalls unmöglich.
5. Das in der Unschärferelation auftretende Produkt $\Delta x \cdot \Delta p_x$ hat die Dimension einer Wirkung (Einheit: 1 Js). Ohne Beweis: Die Unschärferelation gilt auch für andere Größenpaare, deren Produkt die Dimension einer Wirkung hat. Derartige Größen heißen komplementär. Beispiele für komplementäre Größen sind zum Beispiel Ort und Impuls bzw. Energie und Zeit.
6. Bei makroskopischen Körpern spielt die Unschärferelation praktisch keine Rolle.

Zusammenfassung: Ort und Impuls von Quantenobjekten können nicht gleichzeitig scharf bestimmt werden. Für die Unschärfe gilt die Abschätzung $\Delta x \cdot \Delta p_x \approx h$.