

### 1.3.2 Die Heisenbergsche Unschärferelation

Bei makroskopischen Objekten kann man zu jeder Zeit den Ort und die Geschwindigkeit bzw. den Impuls „genau“ angeben. In der Praxis ist hier die Genauigkeit durch die Messgenauigkeit begrenzt. (klassische Theorie: Ort u. Impuls ständig beliebig genau bestimmbar!)

Beispiel: Flugbahn einer Kugel beim waagrechten Wurf

Bei mikroskopischen Objekten gelingt es auch, die Bahn relativ genau zu beschreiben, solange die räumlichen Abmessungen der Versuchsanordnung groß genug sind.

Beispiel: Elektronenstrahl im Röntgenstrahlrohr

Dagegen ist es bei mikroskopischen Objekten in sehr kleinen Raumabmessungen grundsätzlich unmöglich, zu einem bestimmten Zeitpunkt Ort und Impuls gleichzeitig beliebig genau anzugeben.

Beispiele:

- Quantenobjekte beim Doppelspaltexperiment
- Elektronen in Orbitalen eines Atoms

Beachte: In beiden Fällen ist es unmöglich, eine „exakte“ Flugbahn des Quantenobjekts anzugeben:  
Quantenobjekte durchlaufen keine <sup>(exakte)</sup> Bahnkurve!

Werner HEISENBERG (GER, 1901-1976, NF 1932) erkannte:

Je genauer der Ort eines (Quanten)Objekts gemessen wird, desto ungenauer bleibt zu diesem Zeitpunkt die Kenntnis des zugehörigen Impulses und umgekehrt:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Heisenbergsche Unschärferelation

wobei  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum ist.

Dabei wird  $\Delta x$  als Ortsunschärfe und  $\Delta p_x$  als Impulsunschärfe (jeweils in x-Richtung) bezeichnet.