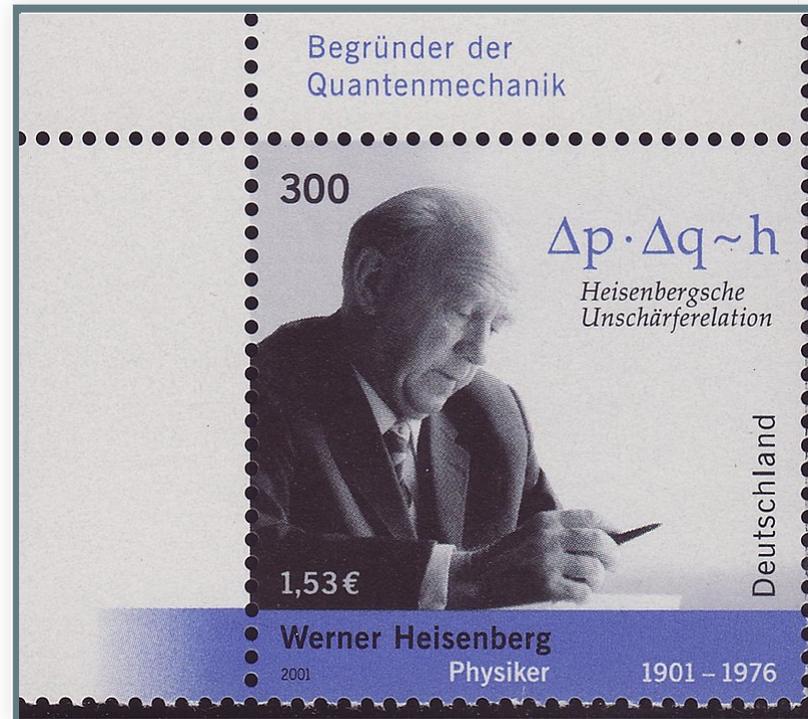


HEISENBERGSCHES UNSCHÄRFERELATION



- Physik Q3
- sp, 2017-12-10

AUSGANGSPUNKT: DEBROGLIE

Elektronen haben sowohl

- **Welleneigenschaften**

als auch

- **Teilcheneigenschaften**



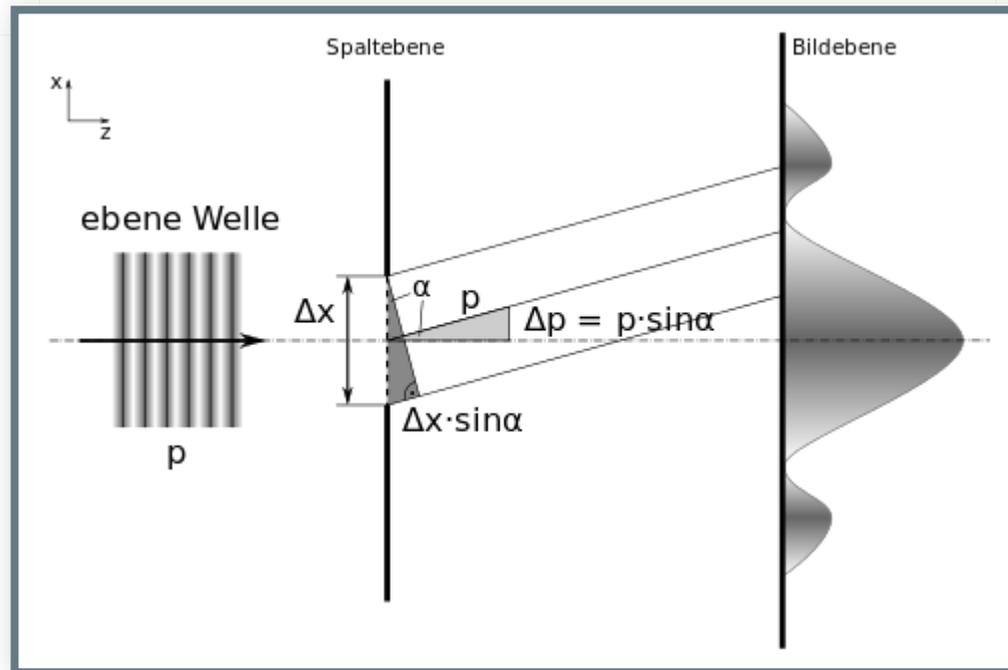
GEDANKENEXPERIMENT I

- Erzeuge experimentell Elektronen mit einer genau bekannten Bahn.
- Wie? Braunsche Röhre → Beschleunigung zur Anode mit einer Blende mit Durchmesser d
- Ergebnis 1: feiner Elektronenstrahl mit bekannter Richtung
- Ergebnis 2: Ort desto genauer, je kleiner d



GEDANKENEXPERIMENT II

- Versuchsaufbau



GEDANKENEXPERIMENT III

→ Heisenbergs Frage: Wie klein kann ich $d = \Delta x$ machen?

- Ausblenden des Strahls funktioniert gut, solange $\Delta x \gg \lambda$
- $\Delta x \approx \lambda \rightarrow$ **Beugung!**
- Folge: Die Welle läuft auseinander!
- Dann ist aber die Richtung nicht mehr eindeutig bestimmt!



FOLGERUNGEN I

- Je kleiner Δx ("Ort genau"), desto ungenauer die Richtung wg. Beugung \rightarrow Impuls Δp_x wird groß!
- Je größer Δx ("Ort ungenau"), desto genauer die Richtung ("Strahl ist fein") \rightarrow Impuls Δp_x genau!

FOLGERUNGEN II

- Bei Elektronen ist der klassische Bahnbegriff nicht anwendbar!
- Start in der Elektronenkanone und Auftreffen auf dem Schirm: als **Teilchen!**
- **Verteilung** der Elektronen auf dem Schirm → Ausbreitung als **Welle!**
- "Elektronenbahn" \approx einige de-Broglie-Wellenlängen

HEISENBERGSCHES UNSCHÄRFERELATION I

- Das Produkt aus der Ortsunschärfe Δx und der Impulsunschärfe Δp_x kann nicht beliebig klein werden!
- Es gilt: $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$



HEISENBERGSCHES UNSCHÄRFERELATION II

- Eine ähnliche Ungleichung gilt für die Dauer Δt und die Energieunschärfe ΔE : $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$
- Anwendung: **Nullpunktenergie** eines "Teilchens" in einem Potentialkasten der Länge a



FAZIT

- Photonen, Elektronen, Neutronen, Protonen sind weder Teilchen noch Welle, sondern sog. **Mikroobjekte**.
- Die Quantenobjekte zeigen in bestimmten Experimenten Teilcheneigenschaften, in anderen Experimenten Welleneigenschaften.
- Die Heisenbergsche Unschärferelation gibt eine untere Grenze an, mit der wir Ortskoordinate und Impuls gleichzeitig messen können.

FEYNMAN

- "Das Unbestimmtheitsprinzip „schützt“ die Quantenmechanik."
- Heisenberg: die Quantenmechanik bricht zusammen, falls wir Impuls und Ort **gleichzeitig** beliebig genau messen können!
- Viele Leute haben versucht Ort & Impuls genau zu bestimmen. **Keiner** hat es geschafft!
- Feynman: "Die Quantenmechanik behält ihre riskante aber doch korrekte Existenz."



QUELLEN

- Bilder aus Wikipedia: [Heisenbergsche Unschärferelation](#)
- Knopf, Helga u. a.: Kursthemen Physik: Spezielle Relativitätstheorie - Atomphysik, 1995, S. 64 - 66
- Feynman: Vorlesungen über Physik, Bd. 1, S. 534. (→ [Online](#))



ENDE

- Präsentation erstellt mit [Reveal.js](#)
- Beispiele? → Aufgabenblatt!

