

Die Welt der Quanten

Hans J. Pirner

7. Juni

Inhalt:

- (A) Das Zwei Spalt Experiment:
Mit Geschosskugeln, mit Elektronen
- (B) Prinzipien der Quantenmechanik
 - I)Wahrscheinlichkeit und Wellenfunktion
 - II)Unschärferelation
 - III) Die Quantenwelt ist die „Summe“ der möglichen Welten
- (C) Indeterminismus und Interpretationen

(A) Zwei Spalt Experiment

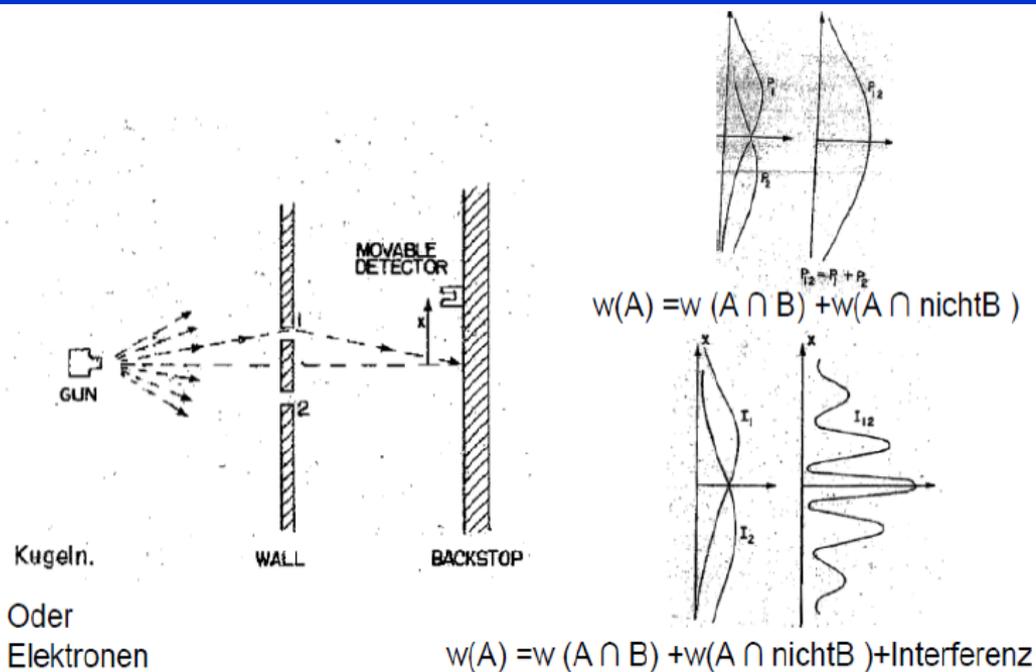


Abb. 4: Das Doppelspaltexperiment: Kugeln oder Elektronen aus einer Kanone passieren zwei Spaltöffnungen und treffen auf einen Schirm. Das entstehende Muster für Geschosse ergibt sich aus der Addition der Muster, wenn jeweils ein Spalt geöffnet ist. Für Elektronen treten Interferenzen auf, die auf der Wellennatur der Materie beruhen.

(B) Prinzipien

(I) Wahrscheinlichkeit und Wellenfunktion

- Experiment misst eine Wahrscheinlichkeit
 $P = |\Psi|^2$
- Theorie bestimmt eine Wellenfunktion = Wahrscheinlichkeits-amplitude ψ
- $\Psi = a |1\rangle + b |2\rangle$
- Zwei Wege ergeben zwei Basiszustände
- a und b sind komplexe Zahlen
- $a = \text{Betrag} * \text{Uhrzeigerfunktion}$
- $= |a| * \exp[i \varphi]$ mit $\sqrt{-1} = i$

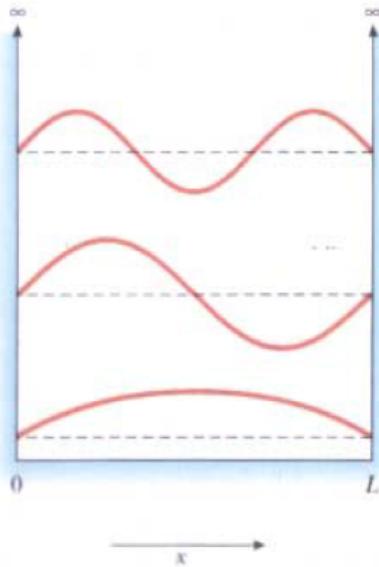
Wegen der Uhrzeigerfunktion können sich Amplituden auslöschen (12 Uhr und 6 Uhr) oder addieren (12 Uhr und 12 Uhr)

Teilchen-Wellen Dualität

- Für Elektronen ergibt sich ein Muster auf dem Schirm welches dem Interferenzmuster bei Wellen entspricht
- **Beachte:** Wenn man den Druck des Gases erhöht, verschwindet das Interferenzmuster und es erscheint eine klassische Überlagerung auf dem Schirm wie bei Gewehrkugeln
- Für Quantenmechanik kein Beobachter notwendig

(II) Unschärferelation

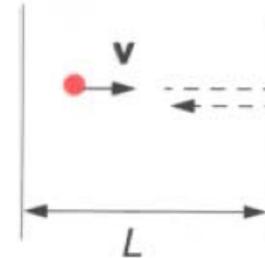
Kastenpotential („Teilchen in einer Box“)



Klassisches Teilchen mit

Geschwindigkeit v im (unendlich hohen) Potentialtopf:

- Impuls und Energie bleibt erhalten
- Impuls und Energie können beliebige Werte annehmen



Quantenmechanik (zeitunabh. Schrödinger-Gl.):

Aufgrund des unendlich hohen Potentialtopfes ist die Aufenthaltswahrscheinlichkeit nur im Topf ungleich Null

Randbedingungen bestimmen die Lösungen für Ψ

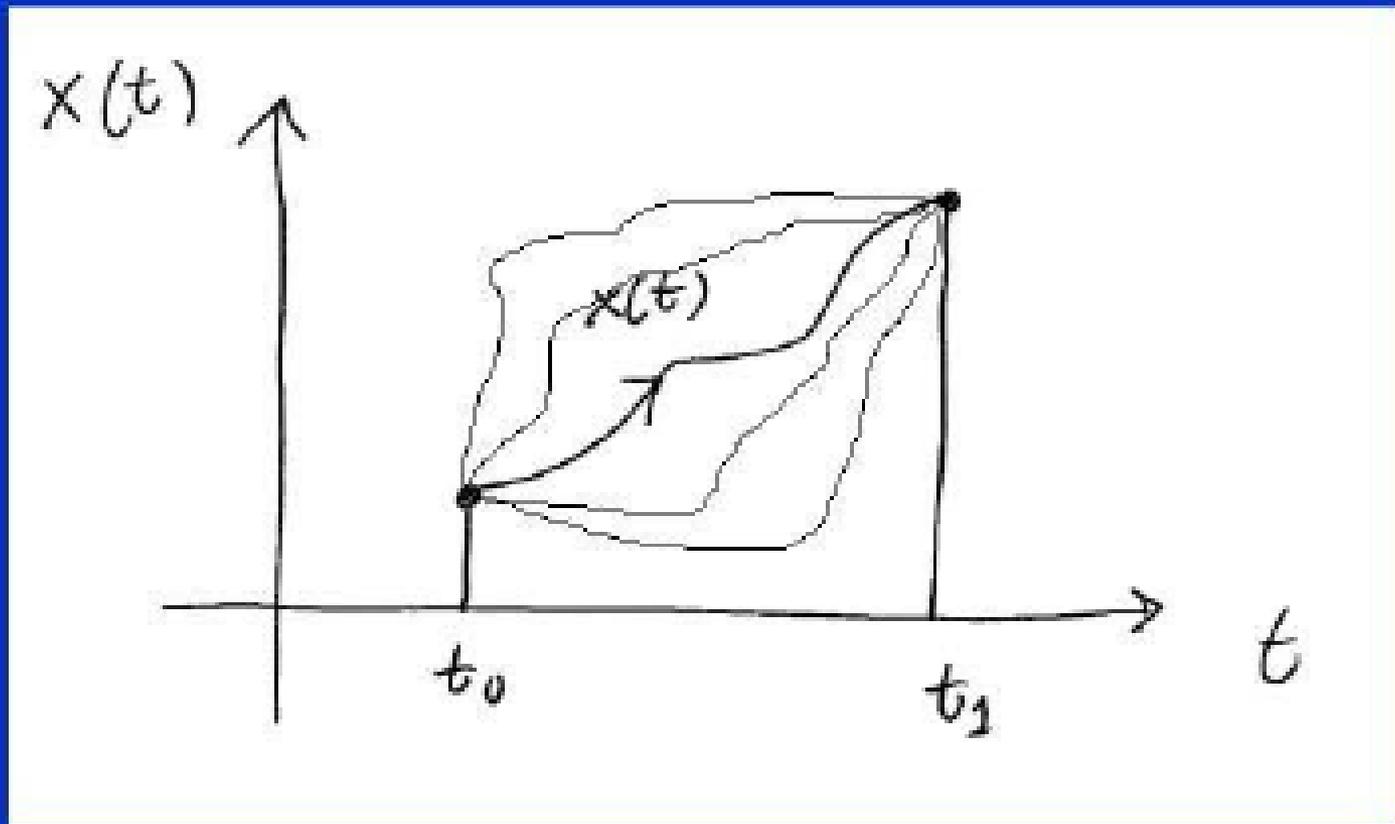
$$\Psi(x) = A \sin(kx) + B \cos(kx)$$

$$\Psi(x) = 0 \text{ für } x \leq 0 \text{ und } x \geq L \rightarrow \text{nur } A \sin(kx) \text{ möglich}$$

$$\Psi(L) = 0 \rightarrow k_n = n \frac{\pi}{L} \text{ mit } n = 1, 2, 3, \dots \text{ nur Energiewerte } E_n = \frac{\hbar^2 k_n^2}{2m} \text{ möglich}$$

**Ort* Impuls > Wirkungsquantum / (4 π) , das heisst : $\Delta x * \Delta p > h / (4\pi)$
 $L/2 * h k / 2\pi > h / (4\pi)$ unabhängig von der Messapparatur**

(III) Über alle möglichen Wege wird summiert



Verallgemeinerung des zwei Spalt Experiments

Welt in der Quantenmechanik

- Nicht mehr wie bei Wittgenstein:
- „Die Welt ist alles, was der Fall ist“

- Sondern Quantenmechanik:
- Quantenmechanische Zustand beschreibt alles, was der Fall sein kann,
- „alle möglichen Welten“

Zusammenfassung:

- Quantenmechanik behandelt Elemente eines abstrakten Raums $|1\rangle$, $|2\rangle$, die entweder durch ihre Impulse $\langle p|1\rangle$ – oder Orte $\langle x|1\rangle$ dargestellt werden können
- Ort und Impuls genügen einer Unschärferelation
- Die Quantenmechanik summiert (komplexe) mögliche Wege
- Die Quantenmechanik ist indeterministisch und beschreibt alle „möglichen Welten“