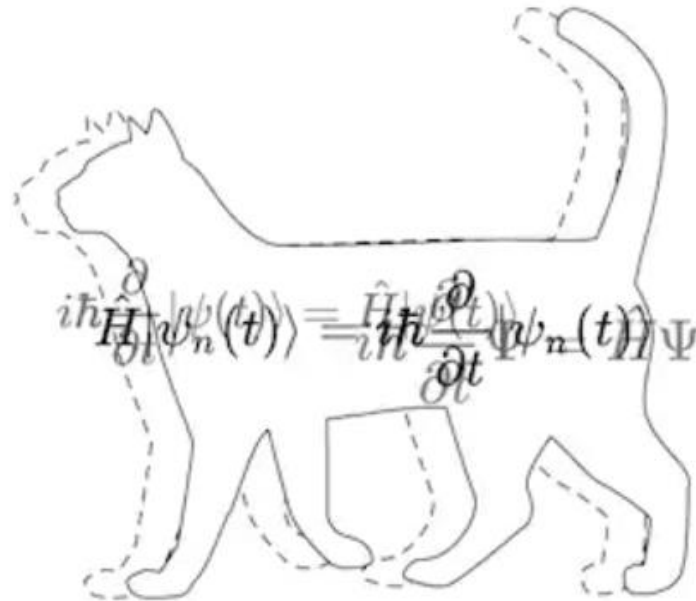


Ist Materie fundamental?

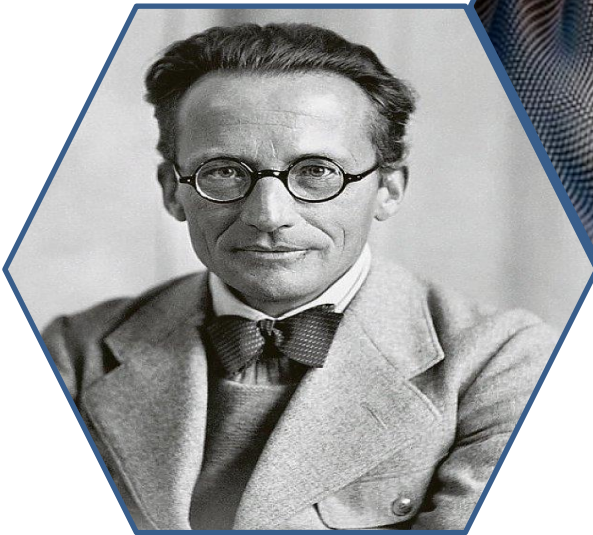


Michael Windau – Big Questions Seminar
28.01.21

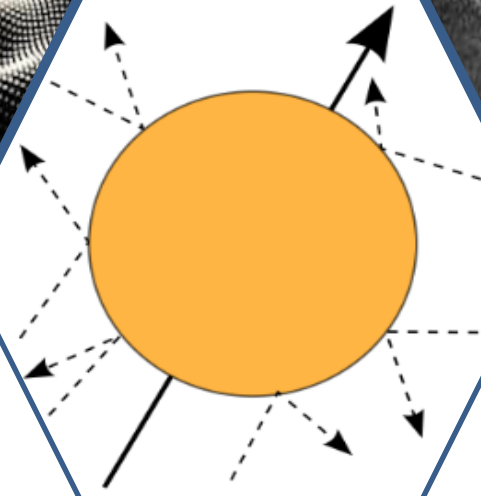
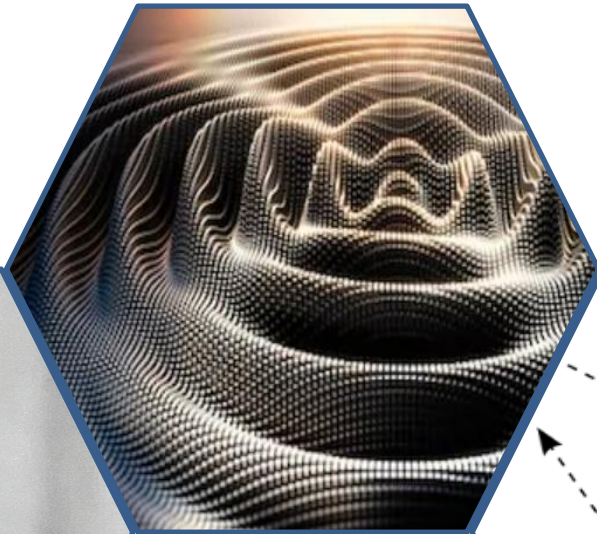
Inhalt

Universelle Wellenfunktion

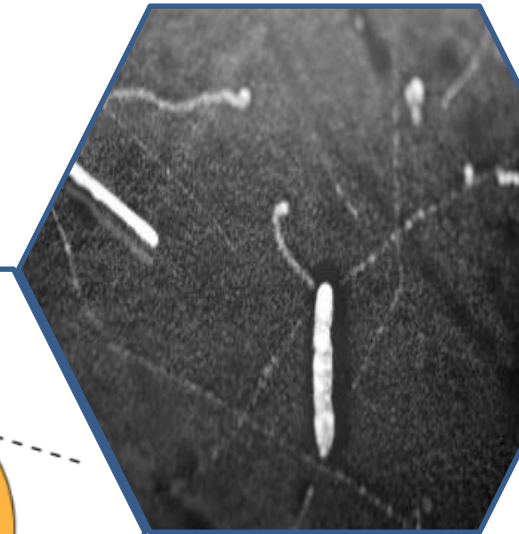
Konsequenz



Historie



Dekohärenz



Historischer Kontext

- 1926 Schrödinger: Elektronen werden durch Wellenfunktionen beschrieben
 - Diskrete Quantenzahlen ergeben sich durch Knoten der Wellenfunktion
 - Spezialfall Harmonischer Oszillator: Bewegende Teilchen lassen sich als Wellenpakete darstellen



Historischer Kontext

- Heisenberg: Es sind Teilchen
- Erklärung über Matrixmechanik
- Ergänzt mit der Unschärferelation
(In der Wellenmechanik eine Folge
der Fouriertransformation)

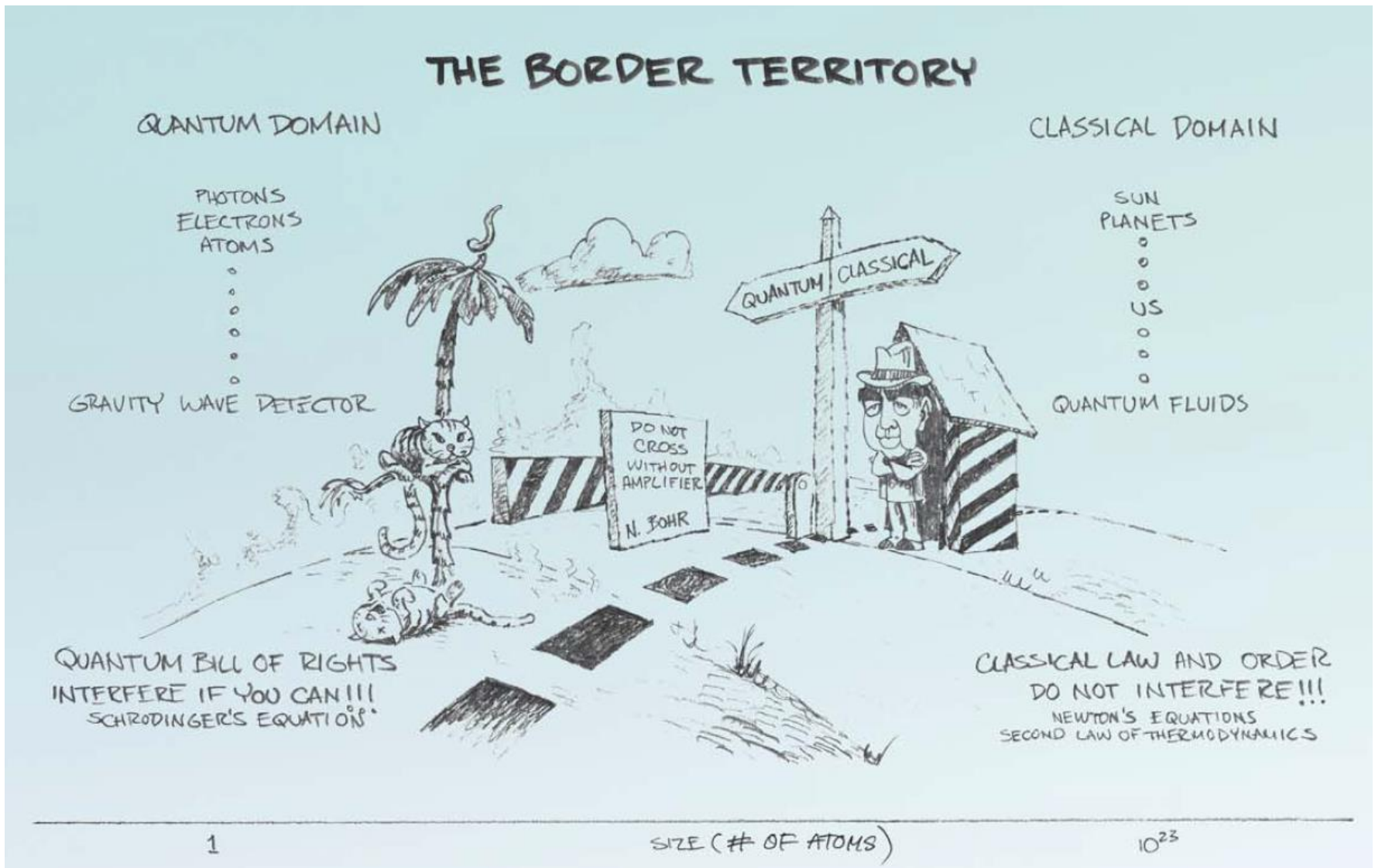
$$\Delta\chi\Delta\rho \geq \frac{\hbar}{2}$$



Interpretation

- Wellenfunktionen sind ein Maß für die Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer Teilcheneigenschaft wie Ort oder Impuls
- Wellenfunktionen „kollabieren“ zu teilchenartigen Wellenpaketen während einer Messung
- Teilchen-Wellen-Dualismus
- Heisenberg-Cut: Grenze zwischen Quanten- und klassischer Mechanik
- Eugene Wigner: „Balkanization of Physics“

The strange (hi)story of particles and waves – H.D. Zeh



Wellenfunktion im Konfigurationsraum

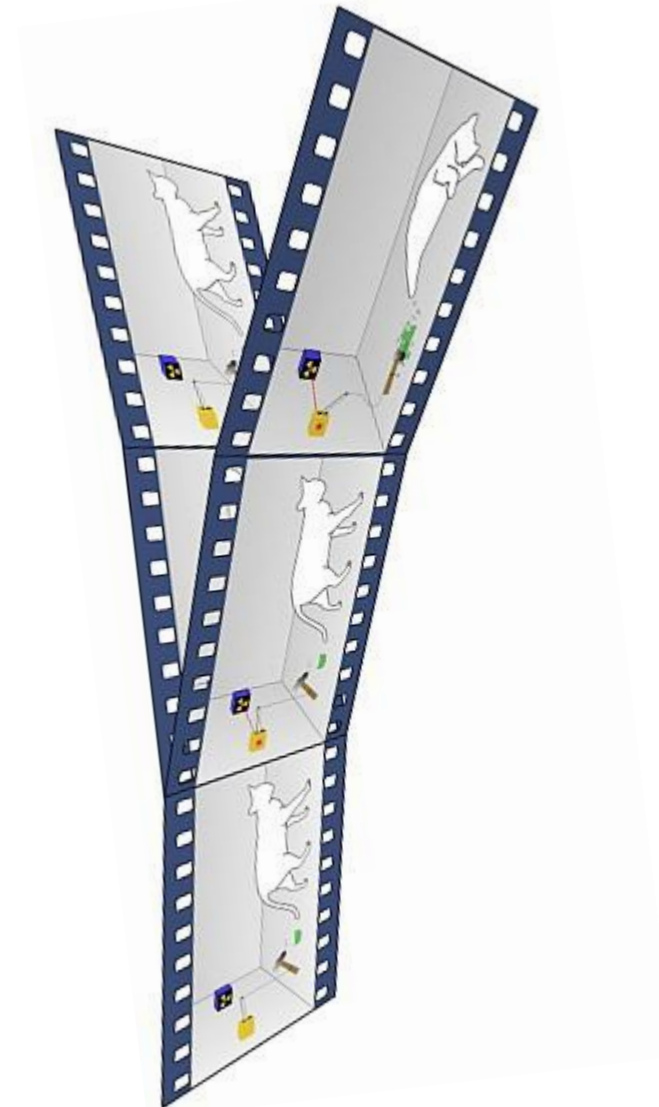
- Problem: Wellenfunktionen beschreiben örtliche Wellen
- Schrödinger: Hamiltons Gleichungen sind Approximationen für kurze Wellenlängen einer fundamentalen Wellentheorie
 - Lokale Teile bewegen sich unabhängig voneinander
 - Kohärenz: Sie existieren als eine Realität (Eine Wellenfunktion)
- Diese Wellen existieren im Konfigurationsraum aller möglichen klassischen Zustände
 - Können nicht-klassische Eigenschaften besitzen

Universelle Wellenfunktionen

- Superpositionsprinzip ist universell
→ Heisenberg & Bohr: Wellenfunktion verliert ihre Bedeutung nach der Messung. Sie „kollabiert“ in einen Wert!
- Wann endet Messung? (Heisenberg-Cut)
- Universelle Wellenfunktion:
→ Messapparatur und mikroskopisches System einer Superposition mehrerer Variablen erzeugt ein verschränktes System

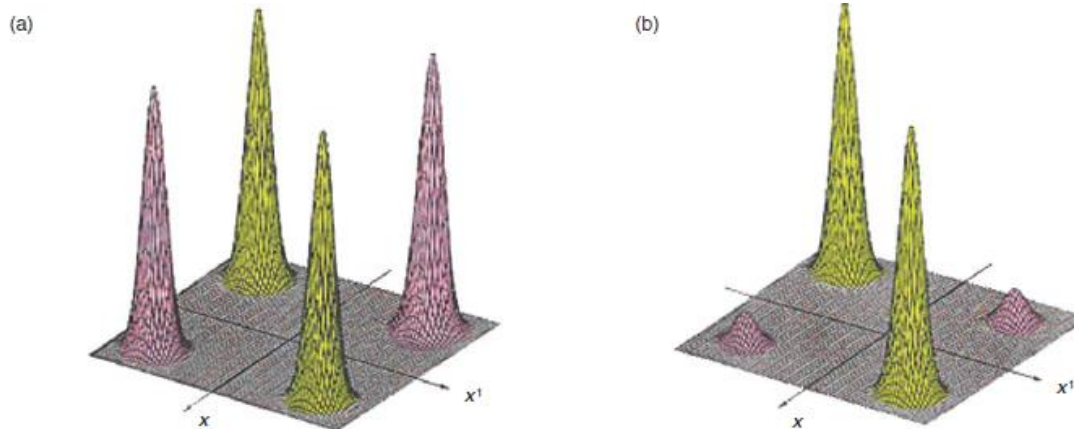
$$(\sum_n c_n \psi_n) \Phi_0 \rightarrow \sum_n c_n \psi_n \Phi_n$$

→ Viele Welten Interpretation



Dekohärenz

- Systeme wechselwirken mit ihrer Umgebung über Zeit
→ Lokale Phasenkohärenz verschwindet
- Es ergibt sich eine reduzierte Dichtematrix
- Dies führt zu einer bevorzugten Detektorbasis
→ “*pointer basis*”



Dekohärenz

- In der realen Welt führt Dekohärenz zum irreversiblen Verlust von Kohärenz durch Korrelation mit der Umgebung
→ Wechselwirkungen mit Photonen führen zu irreversiblen Verschränkungen
- Makroskopische Systeme werden permanent „gemessen“ durch wechselwirkungen mit Photonen
→ Dekohärenzzeit Staubteilchen ca. $10^{-18}s$
- Erklärung für Grenze zwischen klassischer Welt und Mikroskopischer Welt

Konsequenz für die universelle Wellenfunktion

- Es entstehen keine Teilchen durch plötzlich kollabierende Wellenfunktionen
- Die Universelle Wellenfunktion dekoriert lokal in detektierbare klassische Variablen, welche durch die Umgebung bestimmt werden
- Beispiel:
 - 1) Dekohärenz zerstört Interferenz zwischen örtlich getrennten Anteile der Wellenfunktion → Dichtematrix ergibt Ensemble an schmalen Wellenpaketen welche als Teilchenorte interpretiert werden können.
 - 2) Dekohärenz mit dem örtlichen elektromagnetischen Feld führt zu der möglichen Detektierung von Ladungseigenzuständen

Lokale Dekohärenz

- Das Universum als Ganzes kann nicht dekorieren
- Konsequenz: Alle Interferenzterme der universellen Wellenfunktion bleiben bestehen
 - Lösung durch Korrelierung des Beobachters mit dem Messgerät
 - Viele Welten
 - Es wird nur eine Komponente „beobachtet“ aber alle „existieren“

Konsequenz: Quantenfeldtheorie und Gibbsches Paradoxon

- Gibbsches Paradoxon: Mischung zweier gleicher Stoffe lässt im Experiment die Entropie unverändert
- In QFT würde die Formulierung „Ein Teilchen befindet sich in einem Quantenzustand beschrieben durch die räumliche Wellenfunktion φ_1 und ein anderes Teilchen mit φ_2 “ zu „Zwei Feldmoden φ_1 und φ_2 sind in ihrem ersten angeregten Quantenzustand (Teilchenzahl von 1)“
→ Permutation der beiden Moden verändert die Aussage nicht

Konsequenz: Spuren von Teilchen in Nebelkammern

- Spuren von Alpha-Teilchen in Nebelkammern durch die Interaktionen mit den Elektronen im Gas
- Es entsteht ein Kontinuum aus schmalen Wellenpaketen, die mit den ionisierten Molekülen korreliert sind
 - Die Systeme dekorieren und werden durch gestreutes Licht aufgezeichnet
 - Es werden Spuren für den Beobachter sichtbar



Quantum discreteness is an illusion – H.D. Zeh

Zusammenfassung

- Der Welle-Teilchen-Dualismus ist eine unnötige Folgerung aus der Quantenmechanik
- Diskrete Ereignisse wie der Kollaps einer Wellenfunktion lassen sich durch kontinuierliche Prozesse der Dekohärenz erklären
- Die Wellenfunktion eines Systems kann physikalische Eigenschaften tragen und ist nicht nur ein Maß für eine Wahrscheinlichkeitsdichte
→ Eine universelle Wellenfunktion könnte existieren
- Grenze zwischen Quanten- und Klassischer Welt lässt sich besser erklären

*“Denn eben wo Begriffe fehlen,
da stellt ein Wort zur rechten Zeit
sich ein.”* – Faust, J.W von Goethe

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Gibt es Fragen?