

Schrödingers Katze
-oder-
Wo ist der Übergang?

Themen

- Vergleich Quantenmechanik – klassische Mechanik
- Das Gedankenexperiment
- Interpretationen des Messprozesses (Kopenhagener Deutung, Viele-Welten-Theorie, Dekohärenz)
- „Vereinfachte“ Schrödingers Katze
- Verallgemeinerung auf „reale“ Objekte
- Schlussbemerkungen

Vergleich Quantenmechanik – klassische Mechanik

- Kein Determinismus, nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich
- Es existieren keine Raum-Zeit-Bahnen für Teilchen
- Dynamik der Quantensysteme durch Schrödinger-Gleichung beschrieben

$$i\hbar\dot{\psi} = H\psi$$

- Superposition mehrerer Zustände möglich

- Klassisch deterministische Theorie
- Raum-Zeit-Bahn mit Kenntnis von Masse, Ladung, Geschwindigkeit für alle Zeiten festgelegt
- Dynamik beschrieben durch Hamilton-Gleichung

$$\dot{q} = [q, H]$$

$$\dot{p} = [p, H]$$

- Es existiert nur genau eine Raum-Zeit-Bahn

Gibt es ein Kriterium dafür, wann ein System sich wie ein quantenmechanisches verhält und wann rein klassisch?

Das Gedankenexperiment: Man nehme...

- Eine mittelgroße Katze
- Einen undurchsichtigen Kasten (keine WW mit Umgebung außerhalb des Kastens)
- Ein Geiger-Müller-Zählrohr
- Eine Blausäure Kapsel
- Radioaktives Material



Ablauf des Experiments

- Radioaktives Material: nach einer Zeit t_0 Chance von 50%, dass ein Kern zerfallen ist
- Geiger-Müller-Zählrohr spricht an
- Blausäure Kapsel wird zertrümmert
- Katze stirbt
- Andernfalls geschieht nichts



Was geschieht mit der Katze?

- Quantensystem befindet sich nach Ablauf der Zeit im Zustand $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\psi_{tot}\rangle + |\psi_{lebt}\rangle)$
- Quantenzustand müsste sich auf Zählrohr, Blausäure Kapsel und damit Katze übertragen, solange niemand misst
- → Katze muss tot und lebendig sein!
- Für klassisches Objekt nicht „möglich“
- Wie manifestiert sich klassisches Verhalten „tot“ oder „lebendig“?

Interpretation des Messprozesses – Kopenhagener Deutung

- System - solange unbeobachtet - in Superposition
- Katze tot und lebendig solange niemand hinsieht
- Messung durch „bewussten Beobachter“ → Kollaps der Wellenfunktion in diskreten Zustand
- Heißt: $A \square \sim \square_{tot}$
- oder $A \square \sim \square_{lebt}$
- → System kollabiert aus Superposition in Eigenzustand des Operators, Überlagerung der Zustände zerstört
- Notwendig: *Bewusster* Beobachter, der Messung durchführt

Schlussfolgerung

- System solange in Superposition, wie keine bewusste Messung durchgeführt
- Messung allein lässt Zustand kollabieren
- Neues System Kasten-Operator erneut in Superposition aus beiden Zuständen, solange keine weitere Messung

Interpretation des Messprozesses - Viele-Welten-Theorie

- Messung löst Superposition nicht auf
- Alle Möglichkeiten werden bei jeder Messung real
- Universum spaltet sich auf
- Universum was bis dahin in bestimmter Weise abgelaufen spaltet in zwei (oder mehr) entkoppelte Universen die parallel existieren, je nach Wahrscheinlichkeiten für Messergebnisse
- Ansatz für viel Spekulation über *Paralleluniversen*
- Nicht verifizierbar

Interpretation des Messprozesses - Dekohärenz-Ansatz

- 2 Freiheitsgrade für Gesamtsystem zu wenig
- Wechselwirkung der Messapparatur mit Umgebung im und außerhalb des Kastens
- Ständige Störung des Quantenzustandes
- Möglichkeit für Interferenz geht verloren
- → (makroskopischer) Zustand kollabiert „von selbst“ in einen der möglichen diskreten Zustände

Schlussfolgerungen

- Makroskopische Systeme nicht so idealisiert beschreibbar
- System kollabiert „von selbst“ in diskreten Zustand
- → kein „künstlicher“ Kollaps nötig
- Prozess bei makroskopischen Objekten schneller
- WW so beschaffen, dass Information aus System mitgetragen → Kollaps der Interferenz

Vereinfachte Schrödingers Katze

- Ein *Teilchen* befinde sich in Superposition zweier Zustände
- Umgebung repräsentiert durch einzelnes Photon

- Wie lässt sich der Zustand des System vor und nach der Wechselwirkung mit dem Photon beschreiben?

Eigenschaften der Umgebung

- WW so beschaffen, dass sich Teilchenzustand nicht ändert
- Umgebung bildet orthonormierte Basis $\langle \square \square \square \square \rangle = 0$
- \rightarrow Zustand der Umgebung mit einer einzigen Messung bestimmbar (starke Vereinfachung!)

Wer misst welches Ergebnis?

- Für Beobachter interessant: *Nur* Zustand des Teilchens ohne Umgebung
- Bestimmbar über Dichtematrizen
- Dichtematrix des Teilsystems \leftrightarrow Spur des unbeobachteten anderen Teilsystems
- Besonders einfach da nur 2-dimensionaler Hilbertraum für Umgebung!

Interpretation der Dichtematrizen

- Vor WW Zustand der (makroskopischen) Superposition (Interferenzterme)
- Messung würde zeigen, dass sich System nicht nur in Zustand $|R\rangle$ oder $|L\rangle$ befindet, sondern es treten Mischterme auf
- Nach WW reiner Zustand; Superposition und damit Interferenzfähigkeit des Systems verschwunden
- Messungen, die Umgebung nicht einbeziehen würden zeigen, dass das System *entweder* im Zustand $|R\rangle$ *oder* $|L\rangle$ ist; rein klassisches Verhalten des Teilsystems!

Physikalische Interpretation

- Obwohl WW Teilsystem nicht stört, trägt *Umgebung* Information aus dem System
- Teilsystem verliert durch WW Fähigkeit zur Superposition
- → nicht Stärke der WW entscheidend, sondern Tatsache, dass Information mitgetragen wird
- Messung der Umgebung würde Schluss auf System zulassen
- → Bei Kenntnis des Zustandes der Umgebung ($|\uparrow\rangle$ oder $|\downarrow\rangle$) könnte Beobachter auf Zustand des Teilchens schließen → Teilsystem großer Körper nicht mehr in Superposition!

Verallgemeinerung auf reale Objekte

- Reale makroskopische Objekte weit höhere Anzahl Freiheitsgrade
- Orthogonalität der Zustände der Umgebung nicht immer gegeben; Annahme, Umgebung trägt hinreichend Information um Superposition kollabieren zu lassen
- Je massiver Objekt, je kürzer Kohärenzzeit, da zu viele WW
- → bei mikroskopischen Objekten ggf. sehr lang; stabile quantenmechanische Zustände (Superpositionen)
- → bei Makroskopischen Objekten viel zu kurz als dass Superpositionen messbar wären

Schlussbemerkungen

- Dekohärenz tritt deshalb auf, weil WW auf makroskopischen Skalen nicht zu unterdrücken
- →in keinem Experiment bisher tote und lebendige Katzen als Interferenzterm beobachtet!
- Gedankenexperiment Schrödingers Katze geht von zu starken Vereinfachungen aus
- *Klassisches* Verhalten derWelt tritt dann auf, wenn WW der Quantensysteme so häufig, dass Kohärenzzeit praktisch null
- Relevant in Praxis: WW bewirkt Korrelation mit Umgebung, Problematik des Quantencomputers