

Messproblem und Dekohärenz

Annabelle Uenver

Institut für Theoretische Physik

20. Juni 2014

Outline

1 Einstieg: Superpositionsprinzip

2 Von Neumann Messung

- Präparation
- Messung
- Messproblem

3 Dekohärenz

- Kohärenz
- Dekohärenz
- Reduzierte Dichtematrix

4 Quellen

Superpositionsprinzip

- Wichtiges Element in der QM ist das Superpositionsprinzip.
- Dieses besagt, dass wenn $|1\rangle, |2\rangle$ zwei Zustände beschreiben, die Linearkombination $\alpha|1\rangle + \beta|2\rangle$ ebenfalls einen möglichen Zustand darstellt.
- Diese Eigenschaft lässt sich für *mikroskopische* Größen nachweisen, nicht jedoch für *makroskopische*.

Von Neumann Messung

Präparation

- Darstellung messbarer Größen eines Systems durch Eigenwerte von hermiteschen Operatoren.
- Spezifizierung des Zustands vor der Messung im Hilbertraum
- \hat{Q} hermitescher Operator, q_n mögliche Eigenwerte, $\{|\phi_n\rangle\}$ Eigenvektoren, bzw. Basisvektoren des Hilbertraum \mathcal{H}_Q
- Darstellung beliebiger Zustände $|\psi\rangle = c_n |\phi_n\rangle$ mit Komponenten des Zustandsvektors $c_n = \langle \phi_n | \psi \rangle$

Messung

- Darstellung Messapparats durch Basisvektoren $\{|M_n\rangle\}$ in Hilbertraum \mathcal{H}_M
- Anzeigen des Zustands des Systems nach Wechselwirkung durch Messgerät
- Mögliche "Zeigerstellungen" durch N Zustände $|M_n\rangle$
- Anfangs Messgerät in Zustand $|M_0\rangle$
- Nach Schrödingers Zeitentwicklung ergibt sich

$$\sum_n c_n |\phi_n\rangle |M_0\rangle \xrightarrow{t} \sum_n c_n |\phi_n\rangle |M_n\rangle$$

Messproblem

- Betrachtung zweier Zustandsmessungen 1 und 2

$$|\phi_1\rangle |M_0\rangle \xrightarrow{t} |\phi_1\rangle |M_1\rangle$$

$$|\phi_2\rangle |M_0\rangle \xrightarrow{t} |\phi_2\rangle |M_2\rangle$$

- Anfangszustand nun kein Eigenzustand sondern Superposition aus 1 und 2
$$(c_1 |\phi_1\rangle + c_2 |\phi_2\rangle) |M_0\rangle \xrightarrow{t} c_1 |\phi_1\rangle |M_1\rangle + c_2 |\phi_2\rangle |M_2\rangle$$
- Endzustand nun ebenfalls Superposition, keine eindeutige Zeigerstellung mehr möglich
- Erst nach Registrierung Kollaps der Wellenfunktion

$$c_1 |\phi_1\rangle |M_1\rangle + c_2 |\phi_2\rangle |M_2\rangle \xrightarrow{\text{Reduktion}} |\phi_n\rangle |M_n\rangle \quad (1)$$

Kohärenz

Wortbedeutung

Vom lateinischen Wort *cohaerere* “zusammenhängen” bezeichnet es wie lange ein System vorhersagbares Verhalten aufweist. Kohärenzzeit, -länge spielen v.a. für Interferenzexperimente in der Quantenoptik eine entscheidende Rolle (Phasenbeziehung).

Dekohärenz

- Basiert auf Effekten von der Wechselwirkung zwischen physikalischen Systemen und ihrer Umgebung.
- I.d.R. Betrachtung der Umgebung als Störfaktor, negative Auswirkung auf Messung objektiver Eigenschaften
- Idealisierung zu isolierten Systemen, um "wahre" Eigenschaften eines Systems zu erkennen
- Korrelation zwischen zwei Systemen von wichtiger Bedeutung, wie quantenmechanische Verschränkung zeigt (Kryptographie, etc.).
- Qm. Verschränkung kein Paradoxon, sondern vielmehr fundamentale Eigenschaft der Natur.

Dekohärenz

- Dekohärenz basiert auf Tatsache, dass jedes System mit der Umwelt wechselwirkt
- "[...]interaction with the environment is so dominant as to preclude the observation of the "pure" quantum world, imposing effective superselection rules onto the space of observable states that lead to states corresponding to the "classical" properties of our experience"

Reine und gemischte Zustände

- Ein System kann in einem reinen Zustand sein, d.h., dass es die maximale Anzahl an miteinander vertauschenden Operatoren besitzt.
- Die Dichtematrix ist definiert als

$$\hat{\rho} \equiv \sum_n p_n |\psi_n\rangle \langle \psi_n|. \quad (2)$$

- Mit der Dichtematrix lassen sich statistische Mittelwerte von Mehrteilchensystemen berechnen.

Reduzierte Dichtematrix

Quellen

- *Decoherence, the measurement problem, and interpretations of quantum mechanics* by Maximilian Schlosshauer
- Skript *Theoretische Physik V: Statistische Mechanik*, Prof. Rischke
- <http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Quantentheorie/Dekohaerenz/>
- Wikipedia