



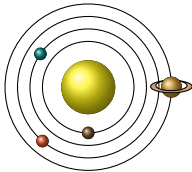
VOM QUANTENZEITPFEIL ZUR SUCHE NACH DER VERLORENEN ZEIT



Zeit und Zeitvorstellungen in Physik und
Philosophie

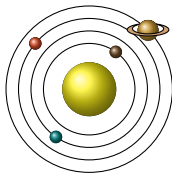
Was ist klassische Mechanik?

Bewegungsgleichungen, z.B. $m \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} = F \longrightarrow$ Bahnkurve $\vec{r}(t)$



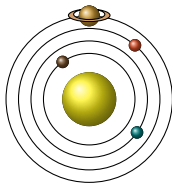
Was ist klassische Mechanik?

Bewegungsgleichungen, z.B. $m \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} = F \longrightarrow$ Bahnkurve $\vec{r}(t)$



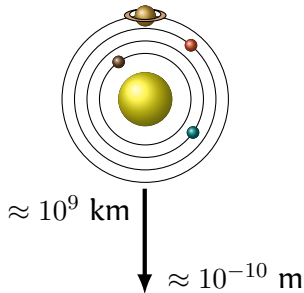
Was ist klassische Mechanik?

Bewegungsgleichungen, z.B. $m \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} = F \longrightarrow$ Bahnkurve $\vec{r}(t)$



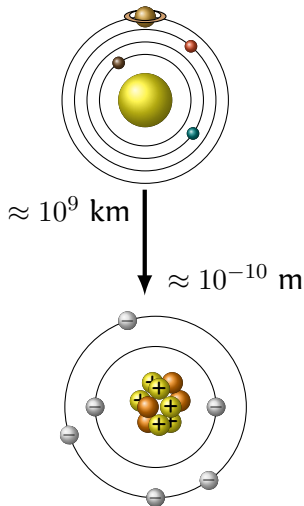
Was ist klassische Mechanik?

Bewegungsgleichungen, z.B. $m \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} = F \longrightarrow$ Bahnkurve $\vec{r}(t)$



Was ist klassische Mechanik?

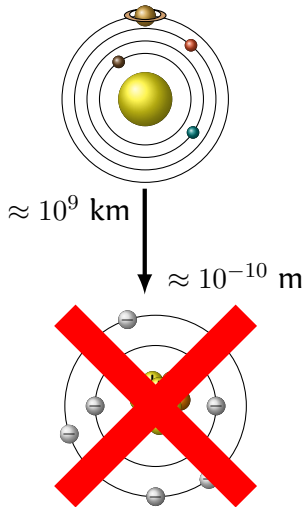
Bewegungsgleichungen, z.B. $m \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} = F \longrightarrow$ Bahnkurve $\vec{r}(t)$



- ▶ Atome sind nicht stabil
- ▶ Unsere Welt existiert aber
- ▶ Irgendwas ist falsch
- ▶ Lösung: **Quantenmechanik**

Was ist klassische Mechanik?

Bewegungsgleichungen, z.B. $m \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} = F \longrightarrow$ Bahnkurve $\vec{r}(t)$



- ▶ Atome sind nicht stabil
- ▶ Unsere Welt existiert aber
- ▶ Irgendwas ist falsch
- ▶ Lösung: **Quantenmechanik**

Was ist Quantenmechanik?

Das Wichtigste (und Schwierigste):

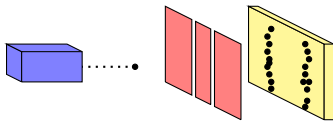
Klassische Vorstellungen vergessen!

- ▶ Es gibt keine Bahnkurven mehr!
- ▶ **Unwissenheit:** Wir wissen nicht, wo ein Objekt ist.
- ▶ Nur Wahrscheinlichkeitsaussagen sind möglich.



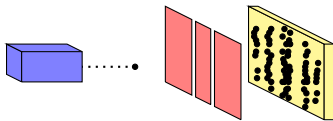
Das Herz der QM und ihr großes Rätsel

- Der schönste Versuch aller Zeiten: Der Doppelspalt



Das Herz der QM und ihr großes Rätsel

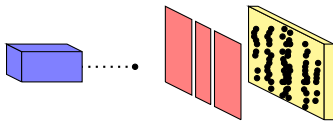
- Der schönste Versuch aller Zeiten: Der Doppelspalt



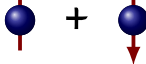
- Superpositionsprinzip

Das Herz der QM und ihr großes Rätsel

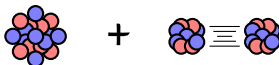
- ▶ Der schönste Versuch aller Zeiten: Der Doppelspalt



- ▶ Superpositionsprinzip

- ▶ Einfaches Beispiel mit Spins: 

- ▶ etwas exotischer:

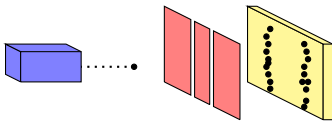


- ▶ total exotisch:


zunehmende Komplexität

Das Herz der QM und ihr großes Rätsel

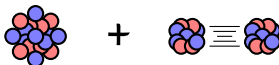
- Der schönste Versuch aller Zeiten: Der Doppelspalt



- Superpositionsprinzip

- Einfaches Beispiel mit Spins: 

- ▶ etwas exotischer:



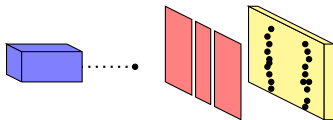
- ▶ total exotisch:

zunehmende Komplexität


Warum beobachtet man kein Elektron an zwei Orten gleichzeitig? **Messproblem**

Das Herz der QM und ihr großes Rätsel

- ▶ Der schönste Versuch aller Zeiten: Der Doppelspalt

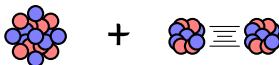


- ▶ Superpositionsprinzip

- ▶ Einfaches Beispiel mit Spins: 



- ▶ etwas exotischer:



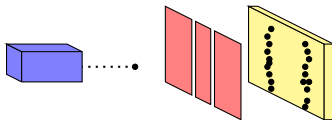
- ▶ total exotisch:

zunehmende Komplexität


Warum beobachtet man kein Elektron an zwei Orten gleichzeitig? **Messproblem**

Das Herz der QM und ihr großes Rätsel

- ▶ Der schönste Versuch aller Zeiten: Der Doppelspalt



- ▶ Superpositionsprinzip

- ▶ Einfaches Beispiel mit Spins: 



- ▶ etwas exotischer:

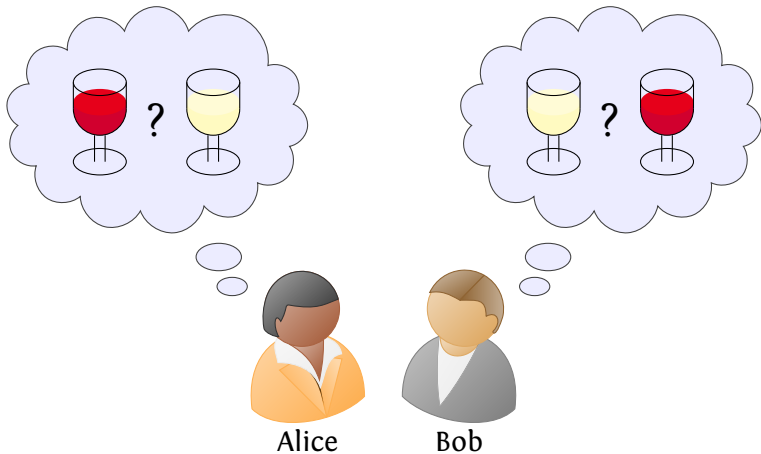


- ▶ total exotisch:

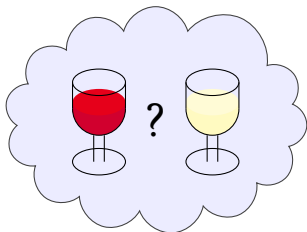
zunehmende Komplexität

Warum beobachtet man kein Elektron an zwei Orten gleichzeitig? **Messproblem**

Verschränkung



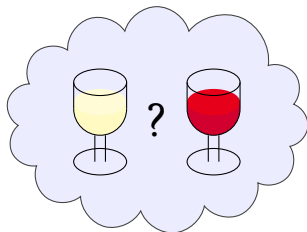
Verschränkung



Kellner 1

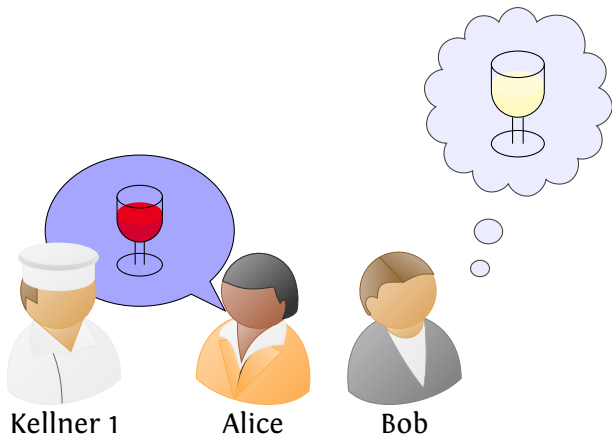


Alice

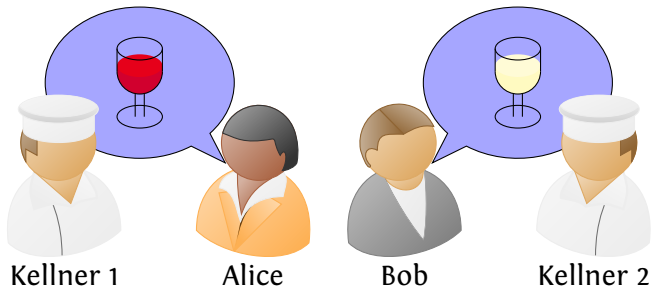


Bob

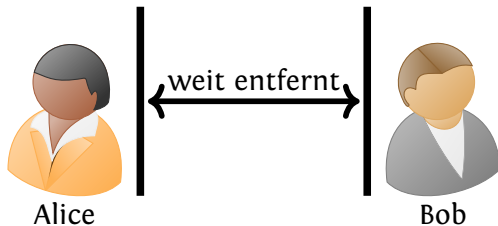
Verschränkung



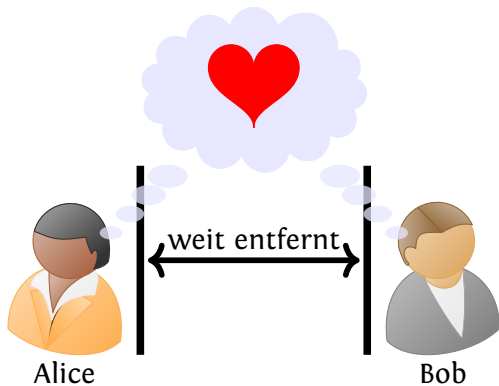
Verschränkung



Verschränkung



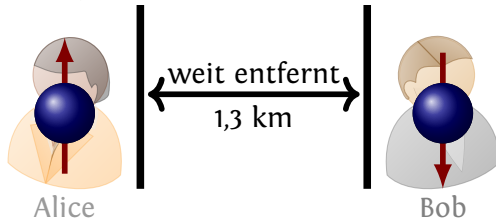
Verschränkung



Verschränkung

Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres

B. Hensen^{1,2}, H. Bernien^{1,2†}, A. E. Dréau^{1,2}, A. Reiserer^{1,2}, N. Kalb^{1,2}, M. S. Blok^{1,2}, J. Ruitenberg^{1,2}, R. F. L. Vermeulen^{1,2}, R. N. Schouten^{1,2}, C. Abellán¹, W. Amaya³, V. Pruneri^{1,4}, M. W. Mitchell^{1,4}, M. Markham⁵, D. J. Twitchen⁵, D. Elkouss⁶, S. Wehner⁷, T. H. Taminiau^{1,2} & R. Hanson^{1,2}



Verschränkung

Zeit
Ein Quäntchen heimlicher
Wettlauf um sichere Kommunikation: Die Geheimdienste arbeiten am ultimativen Codeknacker, Wissenschaftler an

Rekord

Forscher teleportieren Licht über 143 Kilometer

Das Quanten-Internet rückt näher: Forscher haben Informationen über eine Strecke

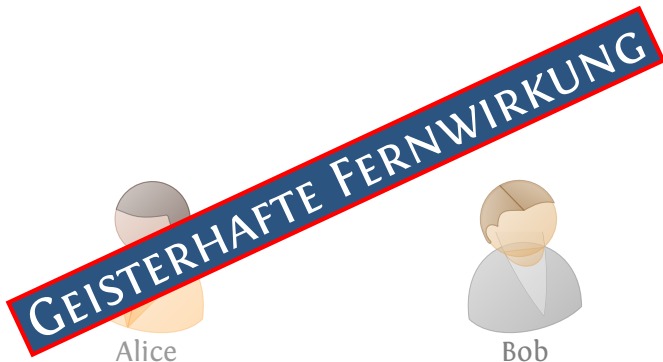
Alice

FAZ
Quantenteleportation
Hyperfein und verschränkt

Spiegel

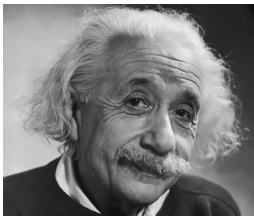
Bob

Verschränkung



Verschränkung

New York Times, 4. Mai 1935



GEISTER

Alice

EINSTEIN ATTACKS QUANTUM THEORY

Scientist and Two Colleagues
Find It Is Not 'Complete'
Even Though 'Correct.'

SEE FULLER ONE POSSIBLE

Believe a Whole Description of
'the Physical Reality' Can Be
Provided Eventually.

NG

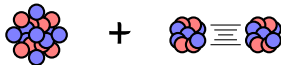


Bob

Dekohärenz...

...oder wie aus einem „und“ ein „oder“ wird.

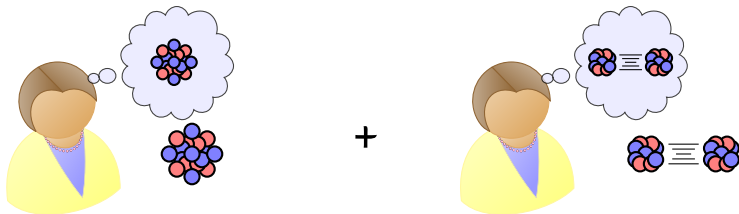
- ▶ Warum sollte es eine Grenze zwischen QM und KM geben?



Dekohärenz...

...oder wie aus einem „und“ ein „oder“ wird.

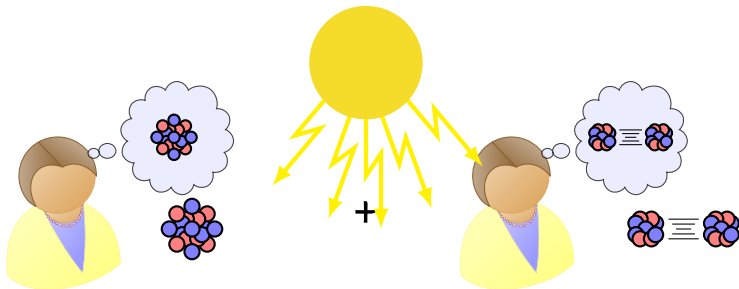
- ▶ Warum sollte es eine Grenze zwischen QM und KM geben?



Dekohärenz...

...oder wie aus einem „und“ ein „oder“ wird.

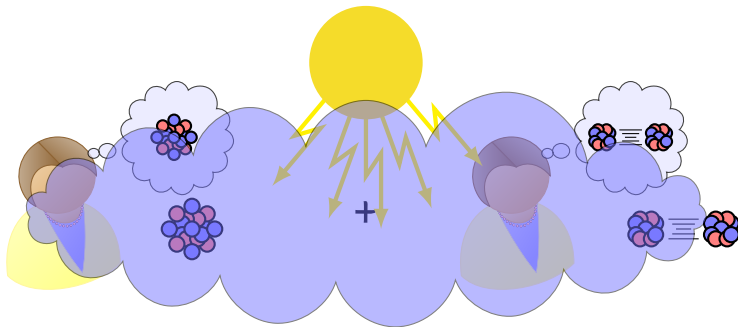
- Warum sollte es eine Grenze zwischen QM und KM geben?



Dekohärenz...

...oder wie aus einem „und“ ein „oder“ wird.

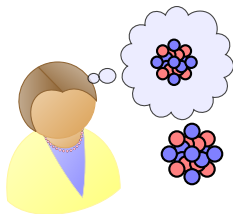
- Warum sollte es eine Grenze zwischen QM und KM geben?



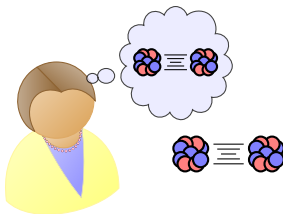
Dekohärenz...

...oder wie aus einem „und“ ein „oder“ wird.

- Warum sollte es eine Grenze zwischen QM und KM geben?



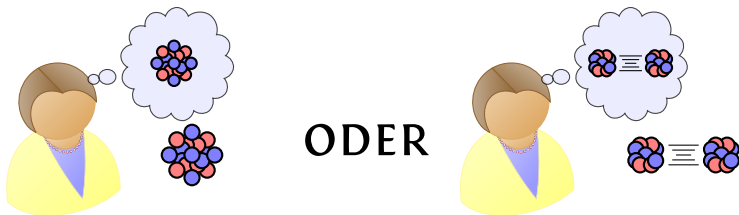
ODER



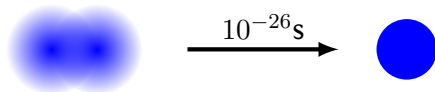
Dekohärenz...

...oder wie aus einem „und“ ein „oder“ wird.

- ▶ Warum sollte es eine Grenze zwischen QM und KM geben?



- ▶ Extrem schnell und effektiv: z.B. Bowlingkugel



Dekohärenz und Verschränkung...

- ▶ ...erklären warum die Alltagswelt so klassisch *erscheint*
- ▶ ...sind nicht umkehrbar und definieren deshalb eine Richtung, in die die Zeit fließt: **Quantenzeitpfeil**
- ▶ ...erklären nicht, warum das Universum so unverschränkt entstanden ist

Ausblick: Auf der Suche nach der verlorenen Zeit

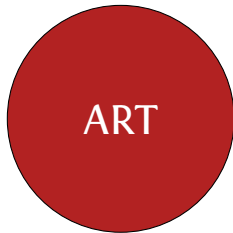
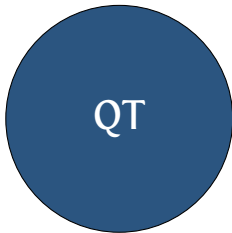
"Die Lösung war eine Untersuchung des Zeitkonzepts."
– Albert Einstein

Ausblick: Auf der Suche nach der verlorenen Zeit

"Die Lösung war eine Untersuchung des Zeitkonzepts."

– Albert Einstein

- ▶ neue fundamentale Gleichung = neue Vorstellung von Zeit



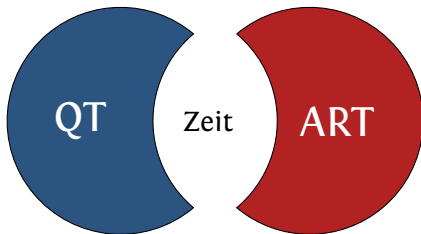
- ▶ viele Kandidaten: Quantengeometrodynamik, Gravitation mit Schleifen, Strings...

Ausblick: Auf der Suche nach der verlorenen Zeit

"Die Lösung war eine Untersuchung des Zeitkonzepts."

– Albert Einstein

- ▶ neue fundamentale Gleichung = neue Vorstellung von Zeit



- ▶ viele Kandidaten: Quantengeometrodynamik, Gravitation mit Schleifen, Strings...

Auf der Suche nach der verlorenen Zeit, 2. Teil

Das Universum
↓
→ $\mathcal{H} |\psi\rangle = 0$
↑
Etwas Kompliziertes

- ▶ Im Universum passiert nichts
- ▶ Unsere alltägliche Erfahrung sagt etwas Anderes

Auf der Suche nach der verlorenen Zeit, 2. Teil



- ▶ Im Universum passiert nichts
- ▶ Unsere alltägliche Erfahrung sagt etwas Anderes

Auf der Suche nach der verlorenen Zeit, 2. Teil



- ▶ Im Universum passiert nichts
- ▶ Unsere alltägliche Erfahrung sagt etwas Anderes

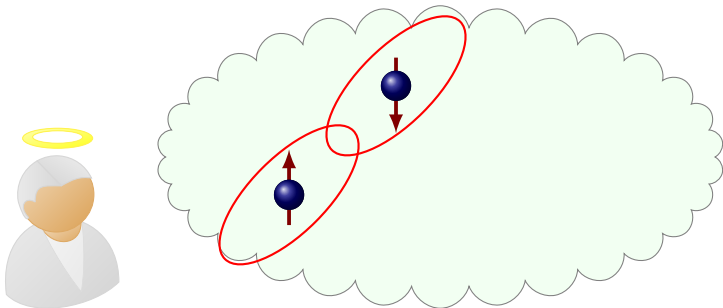


Universum

Auf der Suche nach der verlorenen Zeit, 2. Teil



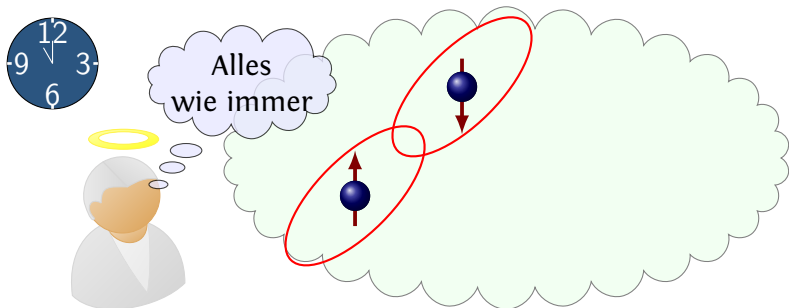
- ▶ Im Universum passiert nichts
- ▶ Unsere alltägliche Erfahrung sagt etwas Anderes



Auf der Suche nach der verlorenen Zeit, 2. Teil



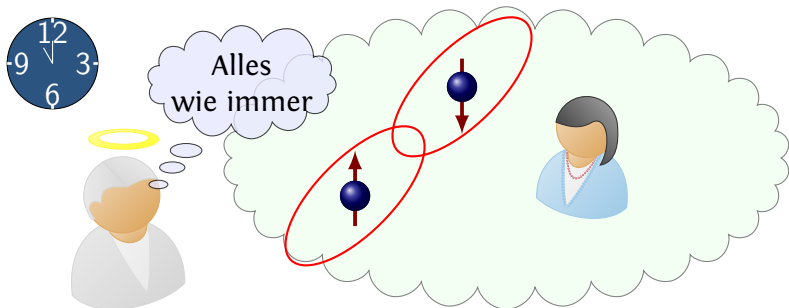
- ▶ Im Universum passiert nichts
- ▶ Unsere alltägliche Erfahrung sagt etwas Anderes



Auf der Suche nach der verlorenen Zeit, 2. Teil



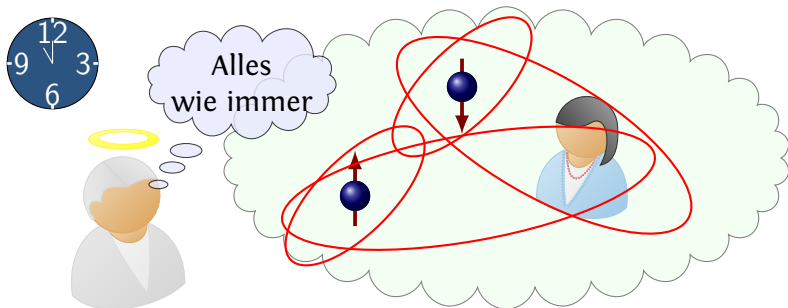
- ▶ Im Universum passiert nichts
- ▶ Unsere alltägliche Erfahrung sagt etwas Anderes



Auf der Suche nach der verlorenen Zeit, 2. Teil



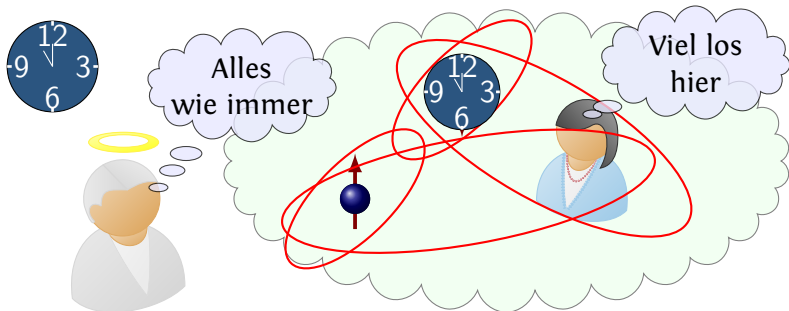
- ▶ Im Universum passiert nichts
- ▶ Unsere alltägliche Erfahrung sagt etwas Anderes



Auf der Suche nach der verlorenen Zeit, 2. Teil



- ▶ Im Universum passiert nichts
- ▶ Unsere alltägliche Erfahrung sagt etwas Anderes



Ende