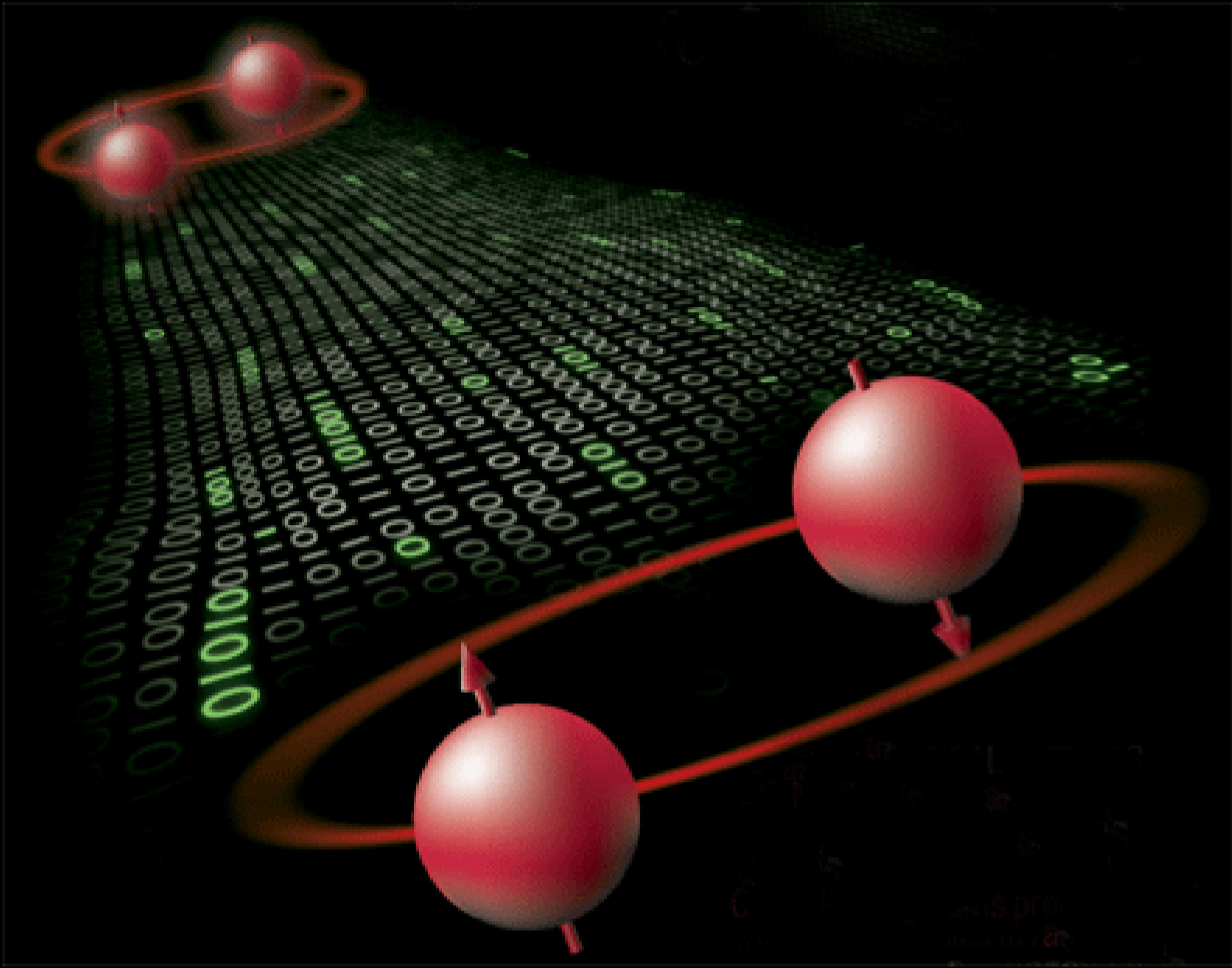


Nichtlokalität – das Rätsel der Verschränkung



Spezielle Relativitätstheorie (A. Einstein, 1905)

Wirkungen / Informationen können zwischen zwei Orten maximal mit der Vakuumlichtgeschwindigkeit (~ 300000 km/s) ausgetauscht werden.

- führt zu einer Änderung der klassischen Raum-Zeit-Konzeption (Minkowski-Welt)
- Nur unter der Bedingung einer maximalen Informationsgeschwindigkeit bleibt das fundamentale Kausalitätsprinzip (Ursache immer vor Wirkung) allgemeingültig

„Lokalität“ bedeutet, daß physikalische Vorgänge nur Auswirkungen auf ihre unmittelbare räumliche Umgebung haben.

Beispiel: Sonne verschwindet plötzlich in nichts (David Copperfield)

Newtonsche Physik: Erde bewegt sich instantan nicht mehr auf einer Ellipse, sondern gradlinig gleichförmig auf einer Tangentialbahn...

Relativitätstheorie: Die Erde bemerkt erst 8 Minuten und 20 Sekunden später, daß die Sonne weg ist

Die „Klassische“ Mechanik erlaubt Fernwirkungen (nichtlokal) und die „Relativistische“ Mechanik nicht (lokal)...

Quintessenz:

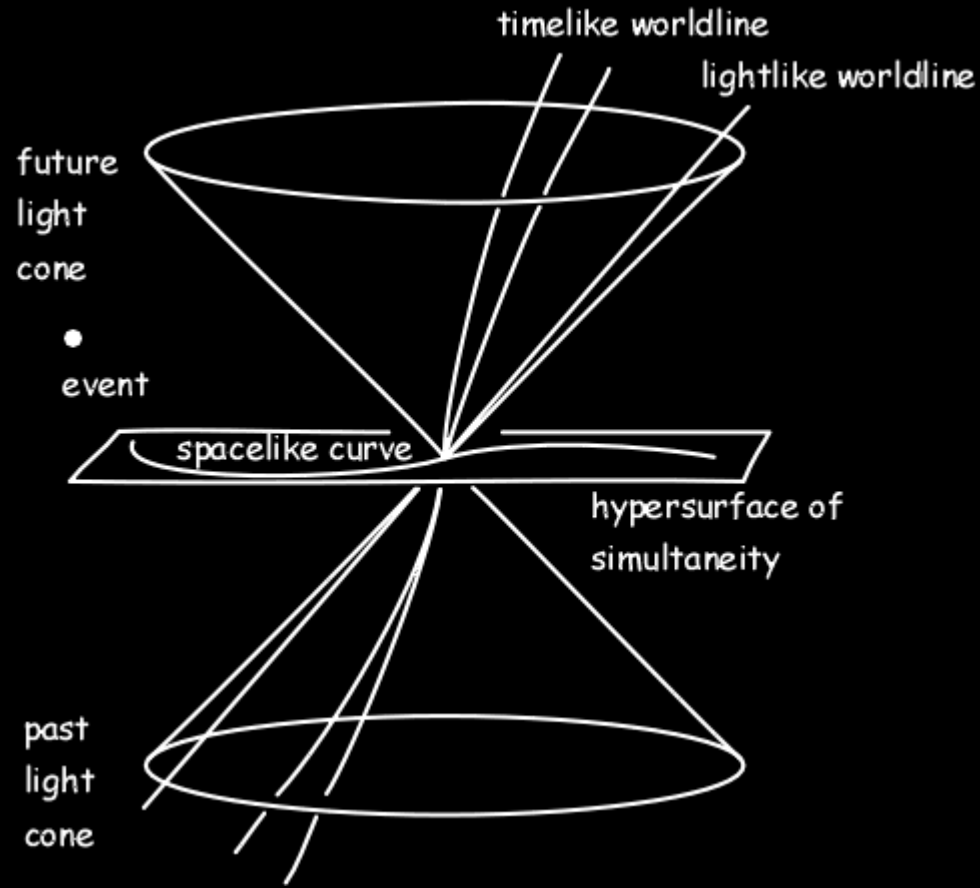
Es ist eine fundamentale Aussage der **Speziellen Relativitätstheorie**, daß die **Kausalität**, also die strenge Abfolge von Ursache und Wirkung, nur dann erhalten bleibt, wenn sich die Ereignisse A und B nicht gegenseitig beeinflussen können. Da man die Kausalität nicht aufgeben möchte, akzeptiert man eher das Vorhandensein von sich-nicht-beeinflußbaren Ereignissen. Man formuliert daher in der Speziellen Relativitätstheorie das **Prinzip der Lokalität**: **Nur lokale Ereignisse können einen physikalischen Vorgang beeinflussen.**

Katalogisierung von Ereignissen (x,y,z,t) in der Minkowski-Welt

A und B innerhalb des Lichtkegels
→ zeitartige Verknüpfung

A und B auf dem Lichtkegel
→ lichtartige Verknüpfung

A und B außerhalb des Lichtkegels
→ raumartige (akausale) Verknüpfung



„Lokalität“ in der klassischen Quantentheorie

„Kopenhagener Interpretation“

Die Wellenfunktion $\psi(\mathbf{r}, t)$ eines Elektrons ist über den gesamten Kosmos ausgebreitet mit der Maßgabe, daß ihr Amplitudenquadrat an fast allen Orten beliebig nahe an 0 ist.

Ortsmessung

Detektiert man mit einem geeigneten Meßgerät den genauen Ort des Elektrons, dann „kollabiert“ die Wellenfunktion an diesem Ort zur Wahrscheinlichkeit=1 (Gewißheit) während sie instantan (d.h. augenblicklich) im gesamten übrigen Kosmos verschwindet.

Nach der Speziellen Relativitätstheorie sollte man vermuten, daß das „Nullsetzen“ der Wellenfunktion mit Lichtgeschwindigkeit erfolgt, d.h. würde man zum Augenblick der Ortsmessung den Betrag der Wellenfunktion auf Pluto messen, dann wäre die Information über den Kollaps der Wellenfunktion erst 5 ½ Stunden später dort und damit das Amplitudenquadrat erst zu diesem Zeitpunkt an diesem Ort exakt Null.

→ In Wirklichkeit ist das nicht der Fall. Das „Nullsetzen“ erfolgt instantan (raumartig) überall im Kosmos **NICHTLOKALITÄT**

Nichtlokalität als fundamentales Prinzip der Quantenwelt

„Einsteins“ spukhaften Fernwirkungen ...

Quantenobjekte (meist solche, die gemeinsam erzeugt wurden), können auf eine nichtphysische Art und Weise korreliert sein in dem Sinn, daß die Messung einer Eigenschaft A an dem einen Quantenobjekt instantan die Eigenschaft B des anderen Quantenobjekts festlegt. Eine solche Korrelation nennt man **Verschränkung**. Sie ist eine direkte Konsequenz der Superposition von Wellenfunktionen.

Paradox: *Die „Übertragung“ der Quanteneigenschaft von einem Quantenobjekt zum anderen erfolgt zeitlos (instantan), unabhängig wie weit die Quantenobjekte zum Zeitpunkt der Messung dieser Eigenschaft räumlich entfernt sind.*

Einstein – Podolski – Rosen - Paradoxon



Albert Einstein
Boris Podolski
Nathan Rosen
(1935)

Das EPR-Gedankenexperiment – ursprüngliche Intuition

Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?



Die Autoren wollten zeigen, daß die Quantenmechanik unvollständig ist, da sie nichtlokale „spukhafte“ Fernwirkungen ermöglichen. Da die Spezielle Relativitätstheorie solche Fernwirkungen verbietet, hielten Sie die Quantenmechanik für falsch oder zumindest unvollständig...

John Stuart Bell (1928-1990) konnte 1964 eine Ungleichung angeben, die sich experimentell verifizieren und damit entscheiden kann, ob sich die Natur auf der Ebene der Quantenobjekte lokal oder nichtlokal verhält.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Quantenmechanik die Natur richtig beschreibt und Albert Einstein nicht recht hat (Alain Aspect).

Video: Quantenverschränkung ...

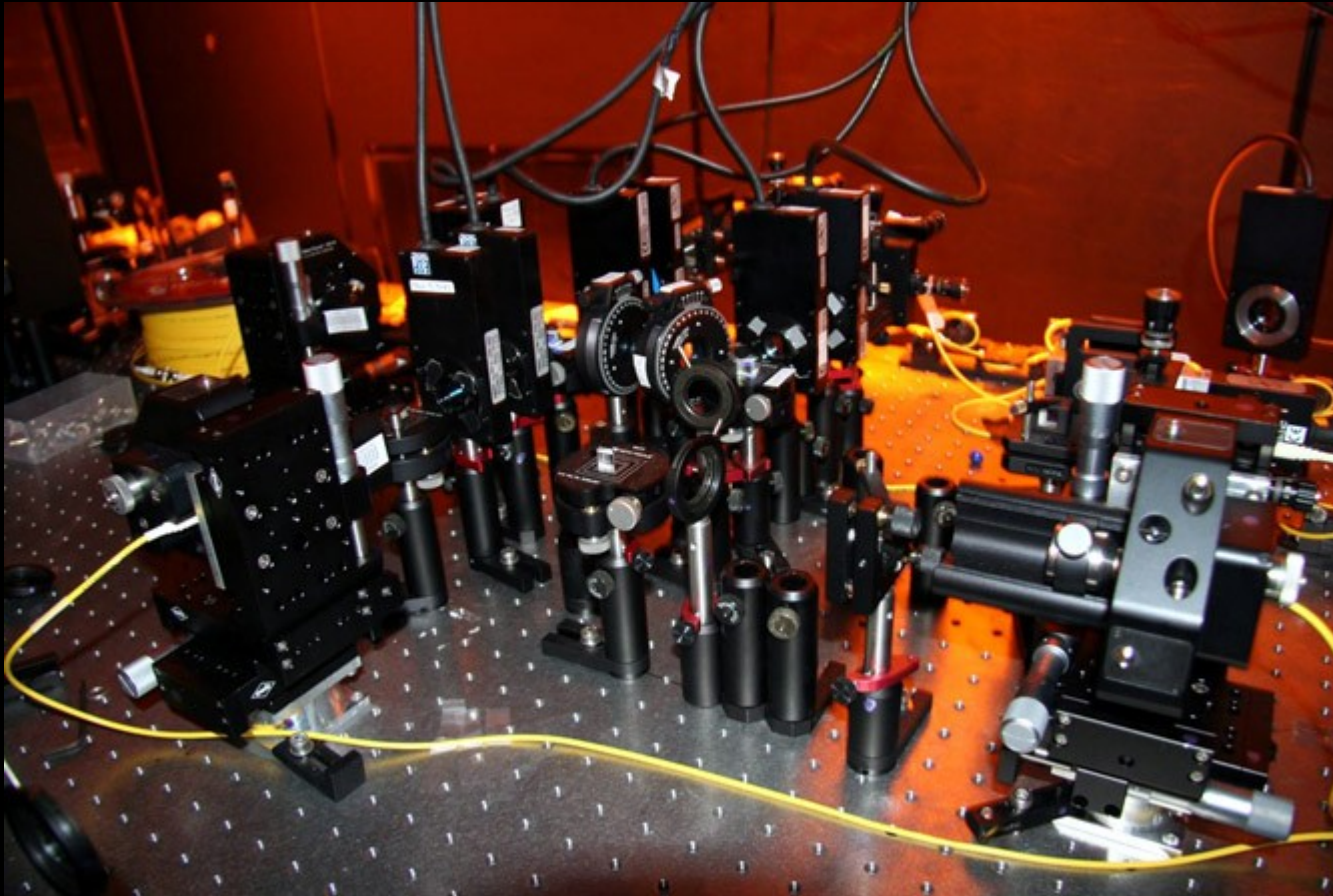
Dr. Bertlmanns Socken...



Es gibt einen prinzipiellen Unterschied zwischen einer „klassischen Korrelation“ (verschiedenfarbige Socken) und der Korrelation verschränkter Teilchen (EPR-Paradoxon)

Anwendungen:

Quantencomputer / Quanteninformatik



Anwendungen:

Beamen

