

Physics and Narrative

Seminar Mathematische Physik vom 29. März 2011
Markus Penz

In seinem Aufsatz [1] beschreibt David Albert ein Gedankenexperiment bestehend aus vier quantenmechanisch beschriebenen und paarweise verschränkten Spin- $\frac{1}{2}$ Teilchen und möchte daraus einen Widerspruch zwischen „Erzählbarkeit“ und Lorentz-Kovarianz folgern.

Die Teilchen A, B, C und D seien zu Beginn als zwei faktorisierte Spin-Singlett-Paare gegeben.

$$|\psi\rangle = \frac{1}{2} (|01\rangle_{AB} - |10\rangle_{AB}) \otimes (|01\rangle_{CD} - |10\rangle_{CD})$$

Die Teilchen bewegen sich frei und während des ganzen Beobachtungszeitraumes soll A in der Nähe von C und B in der Nähe von D lokalisiert sein, während der Abstand zwischen diesen Paaren als groß angenommen wird. In einem geeigneten Lorentz-Intertialsystem K zeigt sich also das Bild von Abbildung 1.

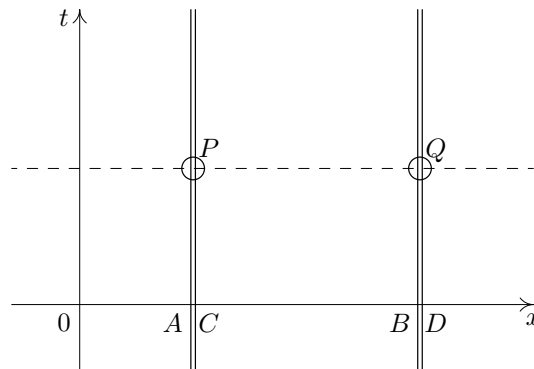


Abbildung 1. Situation im Lorentz-Inertialsystem K

Man betrachte nun die Auswirkung zweier verschiedener Dynamiken, erstens den Fall der wechselwirkungsfreien Bewegung und zweitens den gleichzeitigen Austausch der Spins von A und C bzw. B und D zu einem beliebigen Zeitpunkt (in der Abbildung sind die Punkte der Wechselwirkung mit P und Q bezeichnet). Es zeigt sich, dass – egal welche Dynamik gerade wirkt – der Zustand des Systems stets der gleiche bleibt, da der Austausch der Spins genau gleichzeitig vonstatten geht.

$$|\psi\rangle = \frac{1}{2} (|0101\rangle - |0110\rangle - |1001\rangle + |1010\rangle)$$

$$\xrightarrow{A \leftrightarrow C} \frac{1}{2} (|0101\rangle - |1100\rangle - |0011\rangle + |1010\rangle)$$

$$\xrightarrow{B \leftrightarrow D} \frac{1}{2} (|0101\rangle - |0110\rangle - |1001\rangle + |1010\rangle) = |\psi\rangle$$

Völlig anders stellt sich die Situation jedoch in einem beliebigen anderen Lorentz-Inertialsystem K' dar. Die Ereignisse P und Q sind nun nicht mehr gleichzeitig und in dem (in Abbildung 2 schraffierten) Zeitintervall zwischen P und Q wird der Zustand des Systems im Fall von Spin-Austausch durch die zweite Zeile der vorigen Rechnung beschrieben.

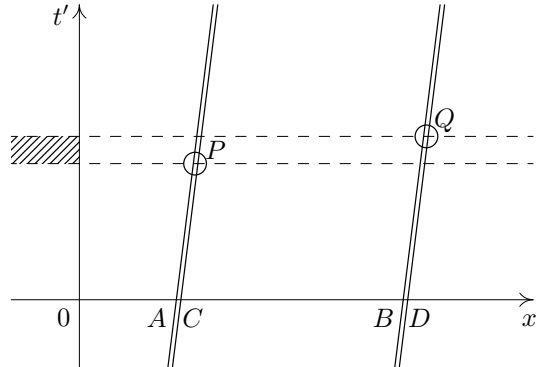


Abbildung 2. Situation im Lorentz-Inertialsystem K'

Definiert man nun „Erzählbarkeit“ als die Eigenschaft eines Systems, durch eine einzige zeitliche Abfolge von momentanen Zuständen – die „Geschichte“ des Systems – vollkommen beschreibbar zu sein, so ergibt sich an dieser Stelle ein Widerspruch. Die Geschichte in K gibt nämlich keinerlei Hinweis darauf, welche der beiden betrachteten Dynamiken gerade herrscht, während man jene in K' sehr wohl unterscheiden kann. Folglich ist es unmöglich aus der Geschichte in K jene in K' abzuleiten.

Im Unterschied dazu sind die Newtonsche Mechanik und nicht-relativistische Quantenmechanik sogar *eindeutig* erzählbar, da es stets eine absolute Zeitvariable und somit nur eine Geschichte gibt. Diese Eindeutigkeit geht im Fall der klassischen relativistischen Maxwell-Elektrodynamik zwar verloren, nichtdestotrotz bleibt die Theorie aber erzählbar, da aus der Geschichte in einem Lorentz-Inertialsystem stets die ganze Geschichte in einem anderen abgeleitet werden kann.

Wie das Beispiel oben zeigt reicht es im Fall einer relativistischen quantenmechanischen Beschreibung der Welt jedoch nicht aus, eine Geschichte zu kennen, vielmehr benötigt es den quantenmechanischen Zustand bezüglich jeder raumartigen Hyperfläche um sämtliche Informationen zusammenzutragen.

David Albert weist insbesondere darauf hin, dass der Verlust jener „Erzählbarkeit“ bei Forderung von Lorentz-Kovarianz hingenommen werden muss, noch bevor man sich überhaupt des Problems eines Lorentz-kovarianten Kollapsmodells annimmt, wo man mit einem ganz ähnlichen Beispiel ebenfalls auf einen Widerspruch zur „Erzählbarkeit“ stößt. [2] Er schließt jedoch mit den Worten:

„And the way would seem to be open to trying out new fundamental theories of the world which violate Lorentz-invariance – a little bit – even in their empirical predictions.“ [1]

Kontroverse

Ein von Simon Judes [3] vorgebrachter Einwand behandelt das von David Albert vorgeschlagene Experiment im Rahmen relativistischer Streutheorie und zeigt, dass hierbei die „cluster decomposition“ der S-Matrix verletzt wird. Jedoch basiert dies auf der Umformulierung in eine für Spezialfälle gedachte Theorie und mag wenig Evidenz für die prinzipielle Unzulänglichkeit des Beispiels liefern.

Ein zweiter Punkt welcher einzuwenden wäre ist die Annahme einer instantanen und damit unrealistischen Wechselwirkung bei P und Q . Nimmt man an, dass der Austausch der Spins ein auch nur kurzes Zeitintervall benötigt, so könnte man die zwei Dynamiken auch schon in K unterscheiden und würde so das vorgebrachte Argument ad absurdum führen. Es mag jedoch einen Weg geben, es auch in diesem Fall zu retten.

Referenzen

- [1] David Albert, *Physics and Narrative*, nicht veröffentlicht (2008)
<http://philosophyfaculty.ucsd.edu/faculty/wuthrich/PhilPhys/AlbertDavid2008Man.PhysicsNarrative.pdf>
- [2] Yakir Aharonov, David Albert, *Is the usual notion of time evolution adequate for quantum-mechanical systems? II. Relativistic considerations*, Phys. Rev. D 29 (1984) 228-234
- [3] Simon Judes, *Narratability and Cluster Decomposition*, quant-ph/1002.1726 (2010)