

Die Zeit in der heutigen Physik

Franz Embacher
Fakultät für Physik der Universität Wien

Vortrag am GRG 1 Stubenbastei
19. 12. 2006

Zeit in der klassischen Physik

- Zeit als Parameter, der „vorher“ und „nachher“ ordnet
- Zeit wird erkannt an Bewegungen
- Typisches Problem der klassischen Physik: Bewegungsvorgänge und Bewegungsgleichungen
(Kraft = Masse mal Beschleunigung → Bewegung)
- Die Zeit ist eine „absolute“ Struktur (und daher auch die „Gleichzeitigkeit“).
- Bewegte Beobachter – Galileitransformation
- Newton: Absoluter Raum und absolute Zeit, Äther
- Raum und Zeit sind die Bühne für das physikalische Geschehen.

Zeit in der speziellen Relativitätstheorie

<http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/Einstein/SRT.html>

- Das Experiment von Michelson und Morley → Die Lichtgeschwindigkeit ist für alle Beobachter gleich, unabhängig von deren Bewegungszustand.
- Folge: Relativität der Gleichzeitigkeit
<http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/Einstein/Gleichzeitigkeit/index.html>
- Zeitdilatation
<http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/Einstein/Zeitdilatation/index.html>
- Zeit ist ein relatives Konzept, die zwischen zwei Ereignissen gemessene Zeit hängt vom Bewegungszustand des Beobachters ab.
- Raum + Zeit → Raumzeit
<http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/EinsteinRechnet/Raumzeit.html>
Raumzeit-Diagramme, Kausalstruktur der Raumzeit, Lichtkegel, Geometrie der Raumzeit
- Bewegte Beobachter – Lorentztransformation
- Raum und Zeit sind nach wie vor die Bühne für das physikalische Geschehen.

Zeit in der allgemeinen Relativitätstheorie

<http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/Einstein/ART.html>

- Allgemeine Relativitätstheorie = Theorie der Gravitation (Schwerkraft)
- Das Äquivalenzprinzip
<http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/Einstein/artAequivalenzprinzip/index.html>
- Gekrümmte Raumzeit
Raum und Zeit sind *nicht mehr* die Bühne für das physikalische Geschehen, sondern sind dynamische Größen, die von der Materie beeinflusst werden.
- Uhren und Zeiten im Gravitationsfeld
<http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/Einstein/artUhren/index.html>

- GPS
http://homepage.univie.ac.at/franz_embacher/rel.html
- Wieso ist ein schwarzes Loch schwarz?
http://homepage.univie.ac.at/franz_embacher/Rel/Raumzeit/index.html

Zeit in der Quantentheorie

- Messgrößen haben keine fixen Werte mehr, sondern sind *unbestimmt*. Es sind nur mehr Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich.
- Die Quantentheorie funktioniert auf der Basis der klassischen Mechanik bzw. der speziellen Relativitätstheorie (Raum und Zeit sind die Bühne für das physikalische Geschehen).
- Typisches Problem der Quantentheorie: Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, einen bestimmten Messausgang zu erhalten, wenn die Messung *zu einer gegebenen Zeit* stattfindet? (Schrödingergleichung, Wellenfunktion $\psi(t, x), \dots$)
- Verbotene Prozesse, Tunneleffekt, imaginäre Zeit
- Teilchen, die in der Zeit zurück laufen = Antiteilchen

Warum das Problem der Zeit die Suche nach einer Theorie der Quantengravitation so schwierig macht

- In der allgemeinen Relativitätstheorie ist die interessierende Größe die Raumzeit-Geometrie. Sie ist (so wird zumindest heute vermutet) auf Skalen von 10^{-33} cm (Planck-Länge) und 10^{-43} s (Planck-Zeit) unbestimmt!
→ Raumzeit-Fluktuationen, Raumzeitschaum.
- Es müssten schwarze Löcher auf der Planck-Skala entstehen: Die Raumzeit müsste ständig kollabieren – was verhindert das?
- Das formale Problem der Quantengravitation:
 - Typisches Problem der Quantentheorie: Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, einen bestimmten Messausgang zu erhalten, wenn die Messung *zu einer gegebenen Zeit* stattfindet (Schrödingergleichung, Wellenfunktion $\psi(t, x), \dots$)
 - Wellenfunktion $\psi(t, x)$, wobei
 - t die *vorgegebene* Zeit ist, zu der eine Messung stattfindet und
 - x die Größe ist, die gemessen wird.

In der allgemeinen Relativitätstheorie ist die interessierende Größe x aber die Raumzeit-Geometrie. Daher hat $\psi(t, \text{"Raumzeit-Geometrie"})$ keinen Sinn, da die Bedeutung von t von der Verteilung der Massen abhängt, die selbst unbestimmt ist. Es kann also kein Wert für t *vorgegeben* werden! („Problem der Zeit“)

- Durch welche Art von Größe wird die Quantenzustand der Raumzeit beschrieben? Welche Gleichung? Wie wäre diese Größe zu interpretieren?
- Das Problem der Quantengravitation betrifft aber die gesamte Physik:
 - Was ist eine Messung?
 - Was ist eine Messgröße?
 - Wir sollen wir über Beobachtungen sprechen, wenn die Geometrie der Raumzeit unbestimmt ist?

In der Quantenkosmologie kommt das Problem dazu, dass der Beobachter Teil des Systems ist → Trennung zwischen Beobachter (klassisch) und Beobachtetem (quantenphysikalisch) ist nicht mehr aufrecht zu erhalten.