Das Problem der Zeit in der Quantengravitation

Teil 2: Quantengravitation und die Identifikation der Zeit – Quantisierung, Verdeutlichung an einem Minisuperspace Modell, Interpretation und Ausblick

2. Juni 2014

Überblick

Kanonische Quantisierung
- Wiederholung am skalaren Feld
- Quantisierung der Constraints:

Problem der Zeit

Wiederholung am skalaren Feld

Lagrangedichte für massives skalares Feld:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \varphi \partial^\mu \varphi - m^2 \varphi^2) \tag{1}$$

Wiederholung am skalaren Feld

Lagrangedichte für massives skalares Feld:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \varphi \partial^\mu \varphi - m^2 \varphi^2) \tag{1}$$

Kanonische Quantisierung: Feldgrößen werden zu Operatoren

Wiederholung am skalaren Feld

Lagrangedichte für massives skalares Feld:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu\varphi\partial^\mu\varphi - m^2\varphi^2) \tag{1}$$

Kanonische Quantisierung: Feldgrößen werden zu Operatoren
Kommutatorrelationen:

$$[\hat{\varphi}(\vec{x}), \hat{\varphi}(\vec{y})] = 0 = [\hat{\pi}(\vec{x}), \hat{\pi}(\vec{y})] \tag{2}$$

$$[\hat{\varphi}(\vec{x}), \hat{\pi}(\vec{y})] = i\delta(\vec{x} - \vec{y}). \tag{3}$$

Ableitungen werden zu Funktionalableitungen (z.B. Impulsoperator: wirkt auf Wellenfunktion im Ortsbild wie Ableitungsoperator)

Quantisierung der Constraints:

$h_i j$ und π_{ij} in den Rang von Operatoren erhoben.

Quantisierung der Constraints:

h_ij und π_{ij} in den Rang von Operatoren erhoben. Die Constraints

$$H_\perp := 16\pi G G_{ijkl}\pi^{ij}\pi^{kl} - \frac{1}{16\pi G}\sqrt{h}^{(3)}R = 0 \tag{4}$$

$$H^i := -2^{(3)}\nabla_j \pi^{ij} = 0 \tag{5}$$

Quantisierung der Constraints:

h_ij und π_{ij} in den Rang von Operatoren erhoben. Die Constraints

$$H_\perp := 16\pi G G_{ijkl}\pi^{ij}\pi^{kl} - \frac{1}{16\pi G}\sqrt{h}^{(3)}R = 0 \quad (4)$$

$$H^i := -2^{(3)}\nabla_j \pi^{ij} = 0 \quad (5)$$

Wenden Quantisierungsregeln an

Quantisierung der Constraints:

h_ij und π_{ij} in den Rang von Operatoren erhoben. Die Constraints

$$H_\perp := 16\pi G G_{ijkl}\pi^{ij}\pi^{kl} - \frac{1}{16\pi G}\sqrt{h}^{(3)}R = 0 \tag{4}$$

$$H^i := -2^{(3)}\nabla_j \pi^{ij} = 0 \tag{5}$$

Wenden Quantisierungsregeln an

Für generalisierte Kommutator von Impulse & Metrik:

$$[h_{ij}(\vec{x}), \pi^{kl}(\vec{x}')] = \delta^k_{(i}\delta^l_{j)}\delta(\vec{x} - \vec{x}') \tag{6}$$

Quantisierung der Constraints:

h_ij und π_{ij} in den Rang von Operatoren erhoben. Die Constraints

$$H_\perp := 16\pi G G_{ijkl}\pi^{ij}\pi^{kl} - \frac{1}{16\pi G}\sqrt{h}^{(3)}R = 0 \tag{4}$$

$$H^i := -2^{(3)}\nabla_j \pi^{ij} = 0 \tag{5}$$

Wenden Quantisierungsregeln an

Für generalisierte Kommutator von Impulse & Metrik:

$$[h_{ij}(\vec{x}), \pi^{kl}(\vec{x}')] = \delta^k_{(i}\delta^l_{j)}\delta(\vec{x} - \vec{x}') \tag{6}$$

Die Constrains wirken auf Wellenfunktionen:

$$\hat{H}_\perp \Psi[h] = 0 \tag{7}$$

$$\hat{H}_i \Psi[h] = 0. \tag{8}$$

Für super-Hamilton constraint:

$$\boxed{-16\pi G G_{ijkl}\frac{\delta^2\Psi[h]}{\delta h_{ij}\delta h_{kl}} - \frac{1}{16\pi G}{}^{(3)}R\Psi[h] = 0} \tag{9}$$

Wheeler-DeWitt Gleichung

Für super-Hamilton constraint:

$$\boxed{-16\pi G G_{ijkl}\frac{\delta^2\Psi[h]}{\delta h_{ij}\delta h_{kl}} - \frac{1}{16\pi G}{}^{(3)}R\Psi[h] = 0} \tag{9}$$

Wheeler-DeWitt Gleichung

Zentrales Objekt in der kanonischen Quantisierung der Raumzeit!

In Wheeler-DeWitt Gleichung: keine explizite Zeit! In allen Feldtheorien gibt es jedoch bisher einen universellen Zeitparameter

In Wheeler-DeWitt Gleichung: keine explizite Zeit! In allen Feldtheorien gibt es jedoch bisher einen universellen Zeitparameter

Wirft neue Fragen auf:

- Kann die Zeit zurückgewonnen werden?
- Wenn nein, ist eine Quantentheorie ohne Zeit mit diesen Mitteln sinnvoll modellierbar?

Verschiedene Ansätze möglich[1]:

- Die Zeit muss vor der Quantisierung identifiziert werden.

[1] Siehe: Chris J. Isham „Canonical Quantum Gravity and the Problem of Time“, 1992

Verschiedene Ansätze möglich[1]:

- Die Zeit muss vor der Quantisierung identifiziert werden.
- Die Zeit muss nach der Quantisierung identifiziert werden.

[1] Siehe: Chris J. Isham „Canonical Quantum Gravity and the Problem of Time", 1992

Verschiedene Ansätze möglich[1]:

- Die Zeit muss vor der Quantisierung identifiziert werden.
- Die Zeit muss nach der Quantisierung identifiziert werden.
- Die Zeit ist keine allumfassendes Konzept in einer Theorie der Quantengravitation und tritt nur phänomenologisch auch

Alle Ansätze haben ihre eigenen Vor- und Nachteile.

[1] Siehe: Chris J. Isham „Canonical Quantum Gravity and the Problem of Time“, 1992

Zeitidentifikation vor der Quantisierung:

- Internal Schrödinger Interpretationen
- Matter clocks und Reference Fluide
- Unimodular Gravity (spezielles Reference Fluid)

Zeitidentifikation nach der Quantisierung:

- Dritte Quantisierung
- Klein-Gordon Interpretationen

Zeitfreie Theorien:

- Conditional Probability Interpretation
- Consistent Histories Interpretation

Ausblick und abschließende Bemerkungen:

Fragen:

- Konzepte wie die Zeit gehen verloren oder müssen wieder neu „entdeckt" werden.
- Mathematische Werkzeuge zur genaueren Untersuchung der Wheeler-DeWitt Gleichung fehlen.
- Weitere technische Probleme (Nicht-Renormierbarkeit, ...)
- etc.

Ausblick und abschließende Bemerkungen:

Fragen:

- Konzepte wie die Zeit gehen verloren oder müssen wieder neu „entdeckt" werden.
- Mathematische Werkzeuge zur genaueren Untersuchung der Wheeler-DeWitt Gleichung fehlen.
- Weitere technische Probleme (Nicht-Renormierbarkeit, ...)
- etc.

Ausblick:

- Kanonische Quantisierung führt wahrscheinlich nicht zum Ziel
- Alternative oder weiterführende Ansätze sind dringend erforderlich (Stringtheorie, Quantenschleifengravitation, etc.)