

# Zusammenfassung der Masterarbeit

Sven Köppel

Datum: 23. Juni 2014, 09:54

Meine Masterarbeit schreibe ich im Frankfurt Institute for Advanced Sciences/Institut für theoretische Physik. Mein Forschungsgebiet ist Quantengravitation, also Physik jenseits des wohl-etablierten Standardmodells der Teilchenphysik (Hochenergiephysik). Das zentrale Objekt meiner Forschungen sind mikroskopische schwarze Löcher. In meiner Arbeit wende ich quantenmechanische Prinzipien auf die Allgemeine Relativitätstheorie an.

## **Schwarzschild-artige schwarze Löcher als elementarer Baustein der Materie**

Die Schwarzschild-Metrik ist eine bekannte analytische Lösung der einsteinschen Feldgleichungen, die 1916 vom gebürtigen Frankfurter Karl Schwarzschild formuliert wurde. Die grundlegende Idee der meisten Ansätze, die ich untersuche, ist das »Verschmieren« des idealen Massepunktes, aus dem die Schwarzschild-Lösung folgt. Dank der Radialsymmetrie des Raumes sind die Einstein-Gleichungen für meine Probleme exakt lösbar, das heißt ohne Hilfe von Computern/numerischen Simulationen.

Nach dem Lösen der Einsteingleichungen findet man die Metrik, die den gekrümmten Raum, in den die gegebene Masseverteilung eingebettet ist, definiert. Findet man einen Ereignishorizont, können thermodynamische Eigenschaften von schwarzen Löchern berechnet werden. Bei geeigneter Konfiguration führen meine Modelle bei Evaporation stets auf stabile Systeme, sogenannte Remnants. Diese haben die Größe der Planck-Skala. Zum Größenvergleich: Wäre ein kugelförmiger Planck-Remnant so groß wie ein Stecknadelkopf, dann entspräche der Durchmesser eines Protons etwa dem der Milchstraße.

Ich untersuche bei den Teilchen-Black Hole-Übergang und den regularisierten Kern im Ultraviolett-Regime.

## **Die Rolle großer Extra-Dimensionen**

Wegen der Unmöglichkeit, auf der Planck-Skala Beschleunigerexperimente durchzuführen, gibt es für Theorien viel Spielraum. Kandidaten für fundamentalere Theorien, etwa String Theorien, geben die physikalische Motivation für derartige Modelle.

Eine dieser Ideen ist die Existenz von weiteren Dimensionen, die bereits 1919 von Kaluza formuliert wurde und in den 90ern als möglicherweise »große« aufgerollte Extradimensionen (LXDs)

reinterpretiert wurde. Deren Existenz hätte zur Konsequenz, dass an Teilchenbeschleunigern wie dem LHC im CERN genau diese Sorte von mikroskopischen schwarze Löcher produziert werden müsste, die ich untersuche. Seit dem Start 2008 hat man jedoch noch keine solche Teilchen beobachten können, womit LXDs nicht ausgeschlossen, sondern lediglich in ihrer Ausdehnung variiert werden müssen.

In meiner Arbeit habe ich mich hauptsächlich damit beschäftigt, existierende Ansätze auf höhere Dimensionen zu erweitern, d.h. die Kompatibilität zu LXDs zu überprüfen.

### **Das holographische Prinzip**

Ich habe in meiner Arbeit Metriken untersucht, die holografische, UV-regularisierende sowie selbst-kodierende Eigenschaften aufweisen und diese um LXDs erweitert. Insbesondere das holografische Prinzip ist sehr interessant, es sagt unter anderem aus, dass die Entropie nur von der Oberfläche (Ereignishorizonts) eines schwarzen Loches abhängt, nicht von dem Volumen. Das thermodynamisch motivierte Prinzip wurde auch erfolgreich für Näherungen der Quantenchromodynamik angewendet und gibt Aufschluss zu diskretisierten Massen von schwarzen Quantenlöchern. Es ist mit der Interpretation von Schwarzen Löchern als Bose-Einstein-Kondensate von Gravitonen verknüpft und motiviert Wissenschaftler dazu, Thermodynamik als möglicherweise universales Naturgesetz zu verstehen.

### **Eine quantisierte Einstein-Hilbert-Feldtheorie**

Despite the lack of experimental confirmation, the last thing that can be done with a quantum gravity model is to substantiate the Ansatz by modifying the underlying (Quantum) field theory. This is done by smearing the Ricci Salar with a bilocal distribution in favor of modifying the Einstein-Hilbert action to a nonlocal action. I traced these calculations for both the holographic and self-encoding metrics. The result opens the door for comparing the theories with other approaches.

### **The Bardeen regular Black Hole: Introducing electric charge**

Electromagnetism (Reissner-Nordström) and angular momentum (Kerr-Newman) are the two famous extensions to the Schwarzschild black hole found in General Relativity. It is self-evident to consider those extensions also in the quantum regime. On the other hand, investigations about the balding phases emphasise my opinion that the matter-only finale state of the black hole is the most fundamental and most interesting one.

A simple quantum gravity model with electric charge was researched by Bardeen in the 1980s/1990s. The Bardeen solution also exposes self-regular, but charged black holes. In the bardeen solution, the minimal charge takes the role of the minimal length, so in some way it is self-encoding.

### **The Generalized Uncertainty Principle and Non-Commuting Geometries**

Another big field of research is modifying the Heisenberg Uncertainty principle. The generalized uncertainty principle (GUP) claims a momentum dependence of the uncertainty relation. One finds that this enables ultraviolet protection of field theories and yields to another famous quantum gravity approach: non-commuting space times, where the position Heisenberg quantum operators do not commute.

This approach, developed by Mureika, Isi and Nicolini, should also be extended to large extra dimensions. One finds that a modification of the GUP is necessary to hold the same properties in all number of dimensions. The question arises if this is compatible with the motivation of a quadratic momentum dependence, as presumably proposed by Loop Quantum Gravity (Eikonal approximation of string scattering). In my work, I made the higher dimensional Non-Commuting black hole properties to be calculable, but the physical motivation is an ongoing open research question.