

Schwarze Löcher und das „Keine-Haare-Theorem“ (Teil 3 von 4)

Keine Haare?

Außer nach der Masse werden Schwarze Löcher (SL) auch nach ihrer „Metrik“ unterschieden. Darunter versteht man bestimmte Lösungen der Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART). An dieser Stelle taucht dann häufig der Begriff der „Haarlosigkeit“ von SL auf. Dem Physiker J. A. Wheeler, der 1967 den Begriff „Black Hole“ (Schwarzes Loch) geprägt hat, wird auch die Aussage „Schwarze Löcher haben keine Haare“ zugeschrieben. Im Gegensatz zu anderen Himmelskörpern haben SL nur maximal drei Eigenschaften: Masse, Drehimpuls und elektrische Ladung. Die Bezeichnung „keine Haare“ ist also als scherzhafte Metapher für „wenig Eigenschaften“ zu verstehen. Anders gesagt: Ein SL oder besser, sein Ereignishorizont ist ein glattes rundes Objekt ähnlich einer Glatze. Der Durchmesser des Ereignishorizonts wird dabei durch die Masse des Schwarzen Loches bestimmt. Hinter dem Ereignishorizont hört die uns bekannte Physik auf, sodass das Innere des Schwarzen Loches nicht beschrieben werden kann. Die Wissenschaft weiß nicht, wie die Materie im Schwarzen Loch aussieht bzw. woraus das Schwarze Loch besteht.

Nach den genannten drei Eigenschaften lassen sich SL in folgende Klassen unterteilen:

- Nicht rotierende SL ohne elektrische Ladung werden durch die Schwarzschild-Metrik beschrieben und sind nur durch ihre Masse charakterisiert. Diese Lösung von Einsteins Feldgleichungen wurde durch den Physiker Schwarzschild bereits 1916 im Jahr der Veröffentlichung der ART gefunden.
- Die nach ihren Entdeckern benannte Reissner-Nordstrøm-Lösung (1916/1918) hat neben der Masse als zweite Eigenschaft die elektrische Ladung. Wie später gezeigt werden konnte, ist die Eigenschaft Ladung eher akademischer Natur und findet in der Realität kaum eine Entsprechung, da Ladungsunterschiede zwischen SL und Umgebung durch elektrische Ströme ausgeglichen werden.
- Erst 1963 wurde durch den Mathematiker R. P. Kerr die Kerr-Lösung gefunden, die sowohl Masse als auch Drehimpuls beinhaltet.
- 1965 wurde schließlich als allgemeinste Form der SL die Kerr- Newman-Lösung mit den Eigenschaften Masse, Drehimpuls und elektrische Ladung gefunden. Für ihre praktische Relevanz gilt das Gleiche wie für die Reissner-Nordstrøm-Lösung.

Bisher wurde davon ausgegangen, dass aus SL nichts entkommen kann. Quanten-theoretische Überlegungen zeigen jedoch, dass SL Strahlung in Form der nach dem Begründer dieser Theorie benannten Hawking-Strahlung abgeben könnten¹. In einer vereinfachten Betrachtungsweise wird der Widerspruch durch die quanten-theoretische Annahme aufgelöst, dass sich aus dem Vakuum virtuelle Teilchen-Antiteilchen-Paare bilden können. Diese löschen sich zwar normalerweise gleich wieder gegenseitig aus, aber wenn ihre Entstehung ausreichend nahe am Ereignishorizont stattfindet, können sie getrennt werden. Der eine Partner mit negativer Energie fällt in das SL und der andere entkommt als reales Teilchen mit positiver Energie in Form der Hawking-Strahlung in den freien Raum. Da nach Einstein Energie und Masse nur zwei unterschiedliche Daseinsformen der Materie sind, verliert das SL durch die Zufuhr negativer Energie gleichzeitig an Masse.

Das „Keine-Haare-Theorem“ legt nahe, dass aus SL auch keine Informationen über ihre Entstehungsgeschichte entkommen können. Da aber laut Quantentheorie Informationen nicht einfach verschwinden können, ergibt sich hieraus ein Informationsparadoxon. Steven Hawking, bis 2004 selbst ein Vertreter des „Keine-Haare-Theorems“, vertrat in seiner letzten Arbeit, die 2018 posthum von

seinen Kollegen veröffentlicht wurde, die Ansicht, dass ein Objekt, das in einem SL verschwindet, eine Spur in der Entropie (fundamentale thermodynamische Zustandsgröße, oft auch als „Maß für die Unordnung“ bezeichnet) des SL und seines Randbereichs hinterlassen würde. Hawking und seine Kollegen vertraten die Auffassung, dass der Ereignishorizont von einem Kranz aus Photonen (s.a. Teil 4) umgeben ist, in dem sich die Entropie und damit die Informationen aus dem SL widerspiegeln würden. Aus „No Hair“ würde damit sozusagen „Soft Hair“ werden². Durch die Hawking-Strahlung, die bislang noch hypothetisch ist, aber von den meisten Wissenschaftlern als sehr wahrscheinlich angesehen wird, könnten Informationen aus dem SL nach außen abgegeben werden, wodurch das Informationsparadoxon aufgelöst wäre. Die Hawking-Strahlung führt übrigens dazu, dass SL nach und nach gewissermaßen „verdampfen“. Schon bei SL mit der Masse unserer Sonne würde das allerdings unermesslich große Zeiträume erfordern (sehr viel größer als das bisherige Alter des Kosmos).

Quellen

¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch#Hawking-Strahlung

² <https://www.derstandard.de/story/2000089400731/stephen-hawkings-allerletzter-fachbeitrag>

Fortsetzung folgt...