

Blick an den Rand des „Jenseits“

Zu den mysteriösen Objekten in den Weiten des Weltalls gehören zweifellos die Schwarzen Löcher. Dabei handelt es sich um kosmische Objekte aus extrem verdichteter Materie, mit der eine so starke Gravitation verbunden ist, daß in die Nähe gelangende Materie und Licht unwiderruflich „eingefangen“ werden. Die Grenze des „no return“ wird „Ereignishorizont“ genannt. Der Ereignishorizont ist die ultimative Grenze, nach deren Überschreiten weder Licht und schon gar nicht Materie aus dem Schwarzen Loch mehr enttrinnen können.

Lange Zeit waren Schwarze Löcher ein Thema der Science-Fiction-Literatur. Vor allem die Röntgenastronomie der letzten Dekaden hat sie jedoch aus dieser „Schmuddelecke“ herausgeholt und in den Brennpunkt moderner Weltraumforschung gebracht. Standen zunächst theoretische Betrachtungen im Vordergrund, so ziehen entsprechende Beobachtungen allmählich nach, indem sie Vorhergesagtes zu bestätigen beginnen. Dabei geht es klassischerweise

1. um die Vermessung der zu erwartenden hohen Umlaufgeschwindigkeiten von Gas-Staubmassen um ein unsichtbares Zentrum, die ein gewaltiges Gravitationszentrum zur Stabilisierung zur Voraussetzung haben

und neuerdings

2. um Beobachtungen in unmittelbarer Nähe des vorausgesagten Ereignishorizonts.

Zu 1.: Bislang hat man aus der Messung großer Umlaufgeschwindigkeiten von Gasmassen um ein unsichtbares Zentrum auf ein Schwarzes Loch inmitten desselben geschlossen. So hat das Hubble-Weltraumteleskop vor rund 10 Jahren exemplarisch an der elliptischen Galaxie M87 mit Hilfe eines Spektrografen Rotationsgeschwindigkeiten von rund 550 km/sec gemessen. Ohne eine massive Anziehungskraft im Zentrum würde die rotierende Gaswolke auseinandergerissen werden. Aus der Rotationsgeschwindigkeit und der Entfernung vom Zentrum berechneten die Astronomen die Masse des Schwarzen Loches zu zwei bis drei Milliarden Sonnenmassen in einem Raum, der nicht größer ist als die Ausdehnung unseres Planetensystems (PAILER 1999).

Jahrzehntelang wurden Schwarze Löcher eher als mathematische Kuriosität gehandelt. Mit der Entdeckung aktiver Galaxien und Quasare gelten Schwarze Löcher mittlerweile als beste Erklärung, um hochenergetische Vorgänge im Weltraum zu erklären. Abb. 1 zeigt eine künstlerisch ausgearbeitete Darstellung.

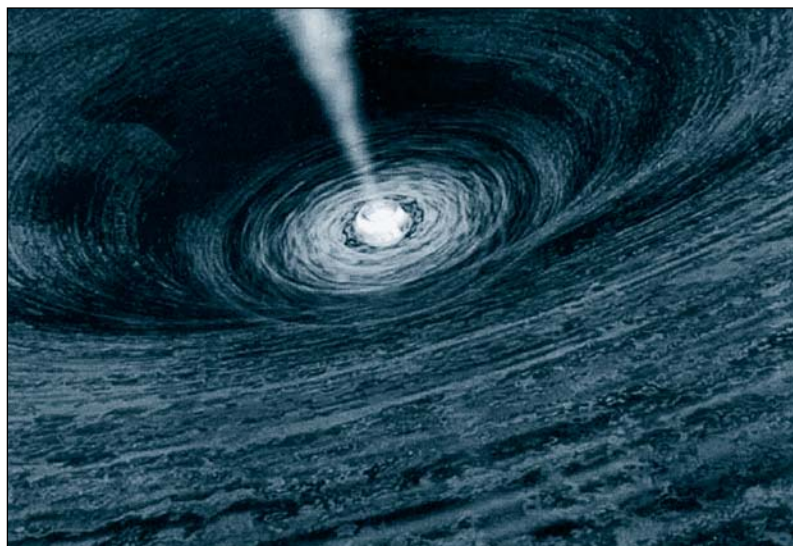
„Schwarze Löcher“ sind übrigens nicht gleichzusetzen mit „Dunkler Materie“, auch wenn sie für die Langzeitstabilität von Galaxien eine ähnliche Funktion haben mögen.

Zu 2.: Nun hat das Hubble-Weltraumteleskop erstmals die sogenannte „Todesspirale“ einer Gaswolke beobachtet, die in der Nähe des Ereignishorizontes eines Schwarzen Loches gerät.

„Wenn wir vor einem Zivilgericht stehen würden, hätten wir genug Beweise, um dieses Objekt als Schwarzes Loch zu überführen. Vor einem Schöffengericht, wo die Beweise über jeden Zweifel erhaben sein müssen, müßten wir es vorläufig noch freisprechen.“ So schätzt Joseph DOLAN vom Goddard Space Flight Center der NASA die Beweiskraft der Daten ein, die das Hubble-Weltraumteleskop von dem Objekt Cygnus XR-1 gewonnen hat.

Cygnus XR-1 wird von einer heißen Gasscheibe umkreist. Wenn nun die Schwerkraft im Zentrum einzelne Gaswolken aus dieser Scheibe herausreißt, dann fallen sie spiralförmig auf das Schwarze Loch zu. Während dieses dynamischen Vorgangs verändert sich deren Geschwindigkeit, was sich als Dopplereffekt nachweisen lassen sollte. Zum einen schwankt die Helligkeit aufgrund der Umlaufbewegung periodisch, was bei uns als „Lichtpulsfolge“ ankommt: Wenn die Wolke sich hinter dem Schwarzen Loch befindet, erscheint sie uns wegen der Verdeckung dunkler. Zum anderen wird die Wellenlänge des Lichts durch die Beschleunigung in dem ungeheuren Schwerefeld zum Roten hin verschoben und dunkler.

Abb. 1: Künstlerische Darstellung eines Schwarzen Loches. (NASA)



DOLAN konnte in den gemessenen Daten zwei solche Pulsfolgen finden. Die eine bestand aus sechs, die andere aus sieben „sterbenden“, weil dunkler werdenden Pulsketten.

Eine weitere und bislang die beste direkte Evidenz für einen Ereignishorizont eines Schwarzen Loches brachte unabhängig vom Hubble-Teleskop das Chandra-Röntgenobservatorium der NASA. Es hat damit dazu beigetragen, das Charakteristikum eines Schwarzen Loches – den Ereignishorizont – zu ermitteln, was als das bizarrste astrophysikalische Konzept im Kosmos gilt. Bizarr deshalb, weil es eine unsichtbare Welt inmitten des sichtbaren Kosmos ist, weil dort sämtliche Gegebenheiten der Raum-Zeit aufhören und keine Aussagen mehr getroffen werden können über die Gesetzmäßigkeiten der Materie. Wir stehen an der Grenze zum Unvorhersagbaren. Unsere physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten hören dort auf. Das bedeutet, daß wir von unserem Raum-Zeit-Kontinuum aus nie erforschen können, was jenseits dieser Grenze – im „Jenseits mitten unter uns“ – geschieht.

Mit dem Chandra-Observatorium und anderen Röntgensatelliten wurden etwa ein Dutzend Röntgen-Novae untersucht. Das sind Systeme, in denen ein sonnenähnlicher Stern entweder ein Schwarzes Loch oder einen Neutronenstern umkreist. Beim Vergleich der Energiefreisetzungen dieser Röntgen-Novae während ihrer inaktiven Phase ermittelte das Chandra-Team, daß diejenigen Novae, welche Schwarze Löcher umkreisen, im Vergleich zu Neutronensternen nur ein Prozent der Energie abstrahlten.

„Es ist ein bißchen komisch zu sagen, wir haben etwas entdeckt, indem wir fast nichts sahen, aber eigentlich ist es das, was wir taten.“ So kennzeichnete Michael GARCIA vom Harvard Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, MA, die Entdeckung. „Durch die Entdeckung kleiner Energiefreisetzungen von nur Schwarze-Löcher-Kandidaten können wir die Existenz eines Ereignishorizontes ableiten.“

Wenn der kollabierende Stern ein Neutronenstern mit fester Oberfläche ist, so muß Energie frei werden, sobald einfallendes Material des Begleitsterns auf der Oberfläche auftritt. Im Gegensatz dazu sollte beim Schwarzen Loch nur eine vergleichsweise kleine Energiefreisetzung stattfinden. Denn nur ein kleiner Betrag kann entweichen; alles was innerhalb des Ereignishorizontes frei wurde, bleibt verborgen und verschwindet dort für immer. Deshalb ist die einfachste Erklärung der Messungen mit kleiner Energiefreisetzung, daß es Objekte mit einem Ereignishorizont sind, sprich Schwarze Löcher.

Anmerkung zur Strahlung Schwarzer

Löcher: Aufmerksame Leser mögen mit obiger Definition des Ereignishorizontes, nach der von jenseits dieser Grenze grundsätzlich nichts mehr entweichen kann, nicht ganz zufrieden sein. In der Tat hat bereits in den 70er Jahren der britische Physiker Stephen HAWKING ausgerechnet, daß ein Schwarzes Loch einzelne Teilchen abstrahlen kann („Hawking-Strahlung“), wenn die Gesetze der Quantenphysik berücksichtigt werden (Tunneleffekt). Zuvor nahm man nach Albert EINSTEINS Allgemeiner Relativitätstheorie an, daß die Gravitation Schwarzer Löcher so stark sei, daß nicht einmal Licht entkommen könne.

Die Physiker Frank WILCZEK vom Institute of Advanced Study in Princeton und Maulik PARIKH von der Universität Utrecht haben jetzt Korrekturen an HAWKINGS damaliger Rechnung angebracht (PARIKH & WILCZEK 2000; vgl. HAW 2001). Sie bemängelten, daß darin die Forderung nach Energieerhaltung während des Abstrahlprozesses nicht streng berücksichtigt wurde.

Um die Energieerhaltung vollständig zu gewährleisten, muß die Geometrie der Raum-Zeit während der Abstrahlung eines Teilchens verändert werden. Hawking hat bei seinen Rechnungen eine unveränderliche Geometrie angenommen. Laut PARIKH & WILCZEK (2000) nimmt der Radius des Schwarzen Loches während der Abstrahlung eines Teilchens dagegen ab. Aus dieser Abnahme gewinnt das Teilchen seine Energie.

Vergleicht man die Masse eines Elementarteilchens mit der üblichen Masse eines Schwarzen Loches, wird schnell klar, daß sich die Ergebnisse der beiden Physiker nur bei sehr kleinen Schwarzen Löchern von denen HAWKINGS unterscheiden. Die Hawking-Strahlung wäre ein erster Hinweis darauf, daß gewisse Informationen aus Schwarzen Löchern grundsätzlich nach außen dringen können. Leider ist die Hawking-Strahlung aber so schwach, daß sie wohl nie direkt beobachtet werden kann.

Norbert Pailer

Literatur

- HAW M (2001) Black light at the end of the quantum tunnel. Nature Science Update 2. Jan. 2001.
 PAILER N (1999) Geheimnisvolles Weltall – Hypothesen und Fakten zu Urknalltheorie, Hänssler-Verlag
 PARIKH MK & WILCZEK F (2000) Hawking radiation as tunneling. Phys. Res. Lett. 85, 5042-5045.