

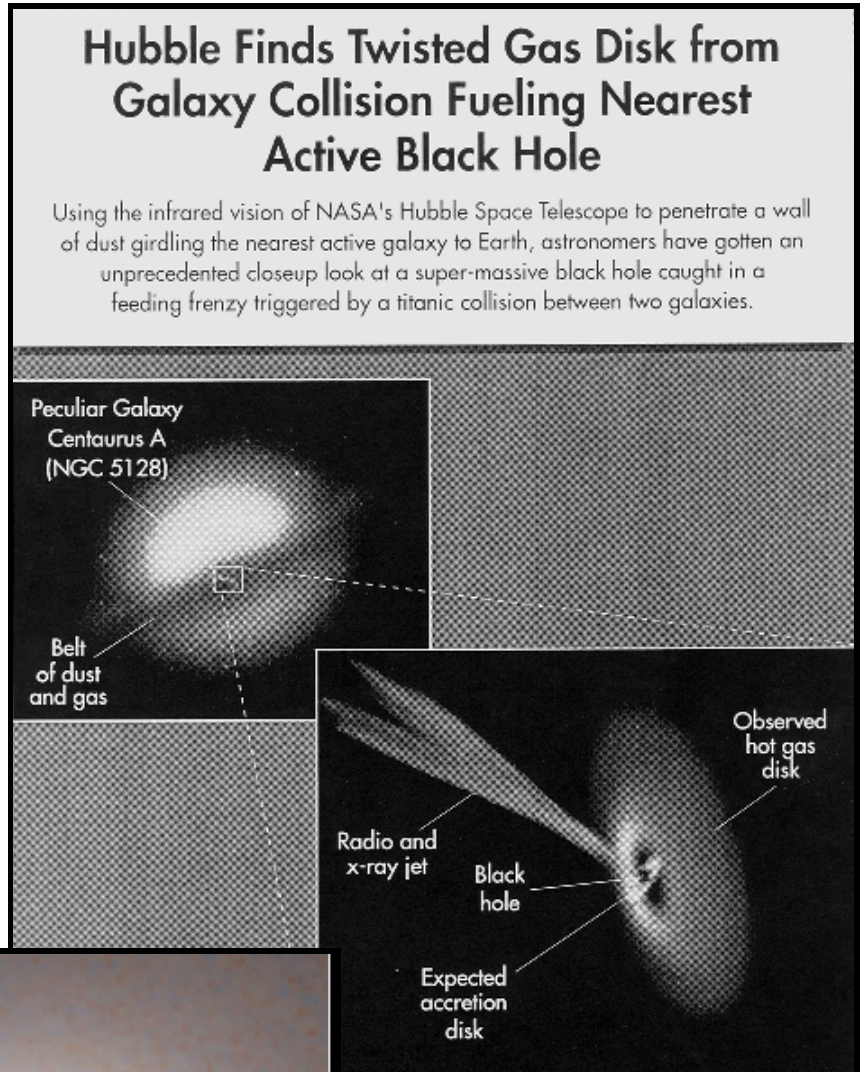
Neues von Schwarzen Löchern: Wie werden sie gefüttert ?

Zahlreiche Beobachtungen und Forschungen der besten Wissenschaftlerteams und modernsten Instrumente befassen sich mit dem Phänomen der Schwarzen Löcher. Eine direkte Beobachtung ist natürlich nicht möglich, aber die unübersehbaren Wirkungen ihrer gewaltigen Schwerkraft auf andere astronomische Objekte erleichtern ihren indirekten Nachweis. Vor allem Galaxien wären nach den gängigen Theorien

ohne derart massive Objekte in ihrem Zentrum wahrscheinlich gar nicht denkbar. Typisch für alle bekannten Schwarzen Löcher sind die mächtigen Scheiben aus Stauben und Gasen, die sie umkreisen und von denen immer wieder Materie (oder auch nicht) hineinstürzt. Diesem Mechanismus ist man nun auf der Spur.

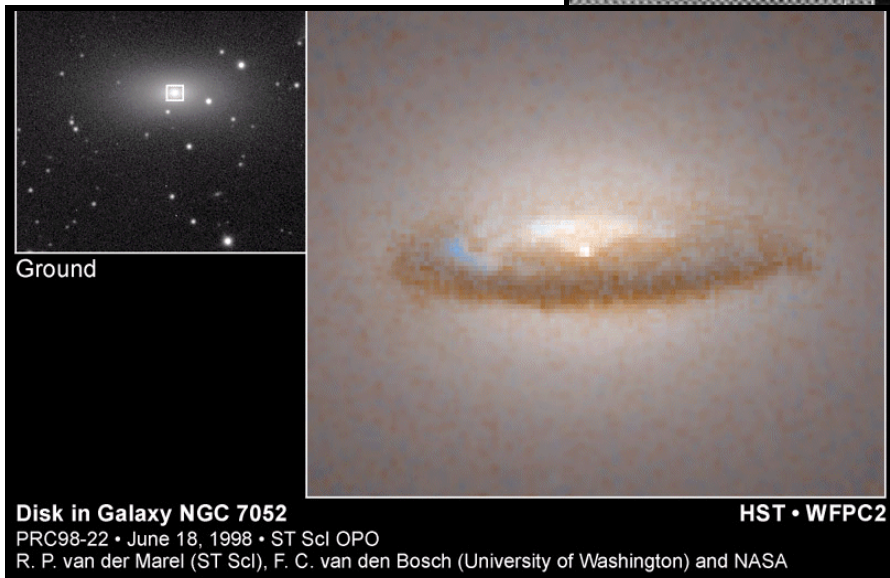
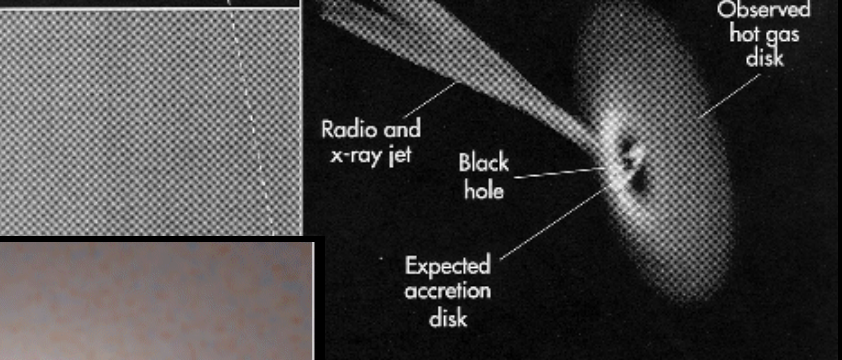
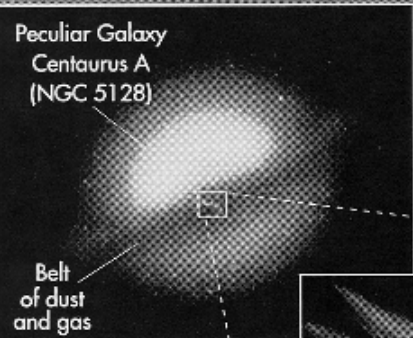
Mit Hilfe des Weltraumteleskopes konnten Wissenschaftler eine relativ nahe stehende aktive Galaxie untersuchen und entdeckten dabei eine Scheibe aus heißem Gas, die ein extrem massereiches Schwarzes Loch umkreist. Dabei handelt es sich um die nur 10 Millionen Lichtjahre entfernte Milchstraße Centaurus A (NGC 5128), eine große elliptische Galaxie, die gerade eine kleinere Spiralgalaxie verschlingt. Durch diese spektakuläre Kollision wird ein gigantisches Feuerwerk entfacht, wie es in früheren Stadien des Universums sehr häufig der Fall war, auch wenn derartige Ereignisse heute bereits rar geworden sind.

Die Wide-Field Camera von Hubble zeigt sehr deutlich die dunklen Wolken, die die Galaxie umgeben. Blaue Cluster von neugeborenen Sternen können klar aufgelöst werden und Silhouetten von Staubfilamenten sind mit leuchtend-orange glühendem Gas durchsetzt. Durch seine relativ geringe Entfernung zur Erde kann dieser aktive Galaxienkern wesentlich genauer untersucht werden als andere.



Hubble Finds Twisted Gas Disk from Galaxy Collision Fueling Nearest Active Black Hole

Using the infrared vision of NASA's Hubble Space Telescope to penetrate a wall of dust girdling the nearest active galaxy to Earth, astronomers have gotten an unprecedented closeup look at a super-massive black hole caught in a feeding frenzy triggered by a titanic collision between two galaxies.



Dabei konnten die Infrarotinstrumente von Hubble den dichten Gas- und Staubschleier durchdringen und zeigen mit einer Auflösung von nur 7 Lichtjahren eine Scheibe aus heißem Gas, die ein massives Schwarzes Loch mit einer vermuteten Masse von etwa einer Milliarde Sternmassen umkreist. Die Achse des Schwarzen Loches konnte durch einen Materie-Jet bestimmt werden, der im Röntgen- und Radiobereich strahlt und in dem die Materie mit etwa 1 % der Lichtgeschwindigkeit weggeschleudert wird.

Diese 3.700 Lichtjahre durchmessende Staubscheibe umkreist ein 300 Mill. Sonnenmassen schweres Schwarzes Loch im Zentrum der Galaxie NGC 7052.

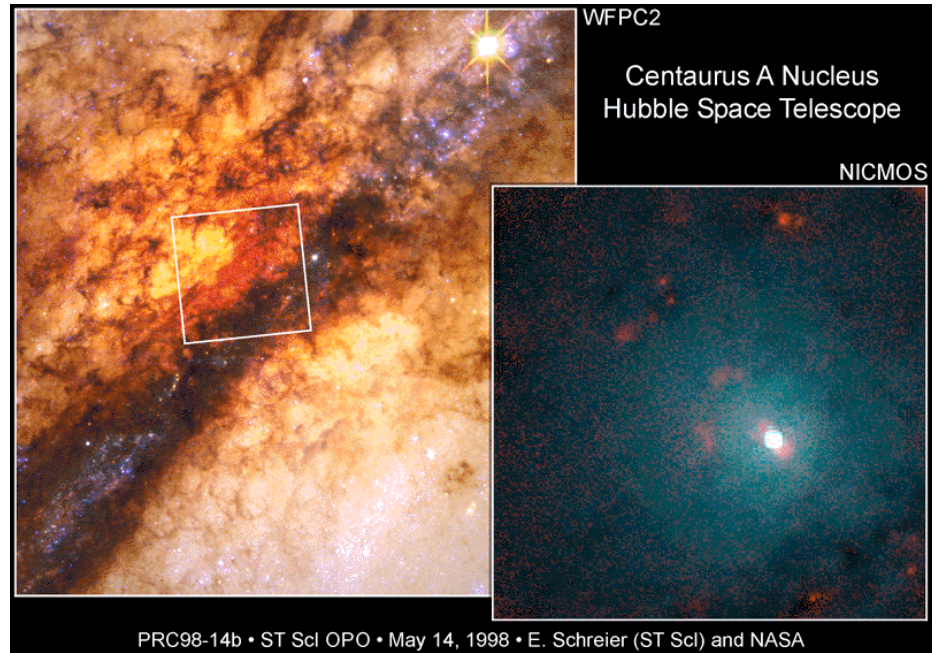
Dabei stellte sich heraus, daß die Scheibe aus heißen Gas nicht mit der Achse des Schwarzen Loches rotiert, sondern dazu verdreht taumelt. Es scheint daher so, daß sich diese Scheibe entweder erst vor so kurzem bildete, sodaß sie noch nicht auf die Drehachse anpassen konnte oder daß sie stärker durch die umgebene Galaxie als durch das Schwarze Loch beeinflusst wird.

Die Gas-Scheibe selbst steht aber auch rechtwinkelig zur Galaxien-Ebene (die durch einen Gürtel aus Staub und Gas angedeutet wird), so daß es hier eigentlich drei verschiedene Scheiben ineinander gibt, die jeweils in einer anderen Ebene rotieren. Es ist auch nicht klar, ob das Schwarze Loch sich immer in der größeren Galaxie befand oder das Ergebnis der Vereinigung von zwei kleineren aus beiden Galaxien darstellt.

Auf jeden Fall soll dieses nahe Objekt weiter untersucht werden, auch wenn Hubble bei anderen, weiter entfernten Galaxien auch Scheiben aus heißem Gas um Schwarze Löcher entdeckt hat. Immerhin ergeben sich durch die geringe Entfernung einzigartige Möglichkeiten. Bisher waren alle Details hinter dem Staub- und Gasschleier verborgen, aber die Infrarotkameras erlauben es nun, diese zu durchdringen und ein nahes, supermassives Schwarzes Loch eingehend zu studieren.

Wie füttert man ein „Black Hole“?

Oft werden Schwarze Löcher als überdimensionale „kosmische Staubsauger“ angesehen, die alle Materie aus ihrer Umgebung verschlucken. Das ist aber falsch. Es ist nämlich gar nicht so einfach, kreisende Massen so abzubremesen, daß sie in ein Schwarzes Loch



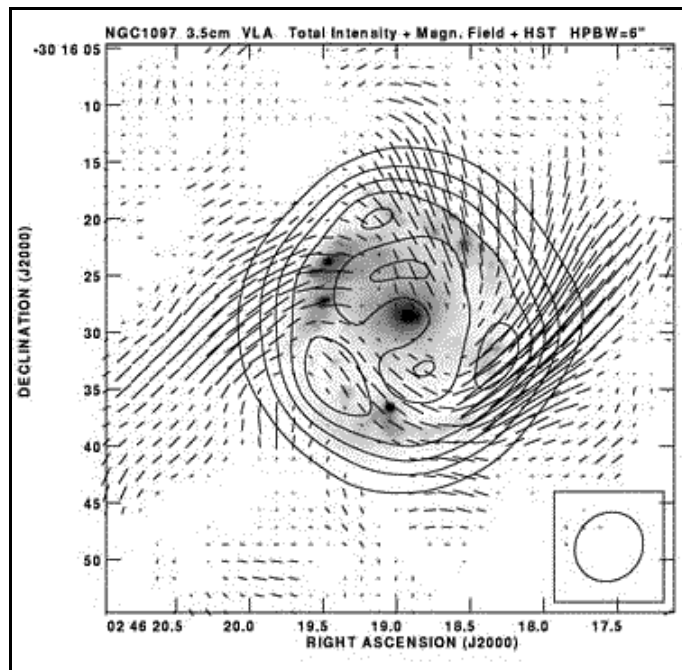
Rechtes Bild unten: NICMOS konnte den Staubschleier durchdringen und zeigt eine Scheibe mit heißem Gas. Der Rahmen im linken Bild zeigt den entsprechenden Ausschnitt.

stürzen. Auch Raumschiffe in einer Erdumlaufbahn brauchen ihre Triebwerke, um ihre Geschwindigkeit soweit zu ändern, damit sie zur Erde zurückkehren können. Satelliten in einer niedrigen Umlaufbahn haben nur deswegen so eine kurze Lebensdauer, da ihre Geschwindigkeit ständig durch die Reibung der obersten Luftschichten gebremst wird. Um atmosphärelose Himmelskörper sind

wesentlich niedrigere Umlaufbahnen möglich, dem Mond kann man etwa auf einer exzentrischen Bahn bis auf wenige Kilometer nahe kommen, ohne abzustürzen.

Neue Radiobeobachtungen der balkenförmigen Galaxie NGC 1097 zeigen einen Ausweg, wie Materie von Galaxien in das zentrale Schwarze Loch transportiert werden kann. Die Radiokarte von NGC 1097 zeigt gewaltige Gasmengen, die über eine Länge von rund 30.000 Lichtjahren nach innen strömen. Das Gas sammelt sich in einem Ring von etwa 5.000 Lichtjahren Durchmesser um das Zentrum der Galaxie, in dem ein Schwarzes Loch vermutet wird. Magnetische Kräfte bremsen einen Teil des Gases im Ring ab, so daß es in das Schwarze Loch stürzen kann.

Balkengalaxien zeigen eine ovale Ansammlung von Sternen, deren unsymmetrisches Schwerfeld zu stark elliptischen Umlaufbahnen der Sterne und Gaswolken führt. Im Balken kommt es dadurch zu „Verkehrsstaus“ des Gases, sogenannten Stoßwellen. Modellrechnungen in Computern haben gezeigt, daß (stark abgebremst) das Gas im Balken seine Bahnen nicht in gleicher Richtung



Der zentrale Ring in NGC 1097: Die gesamte Radiostrahlung (Konturlinien), ebenso wie die Magnetfeldlinien (Striche) sind auf ein optisches Bild hoher Auflösung des Hubble Space Telescope (HST) übertragen. Foto: HST (Aaron Barth, Cambridge/USA) / Radiobild: VLA (Rainer Beck und V.Shoutenkov, MPIfR Bonn)

fortsetzt, sondern eine schnelle Umleitung findet, indem es nach innen strömt.

Das Gas im Balken ist kalt und tritt praktisch nur in Form von Molekülen auf, daher ist seine Strahlung im Radiobereich sehr schwach. Jetzt gibt es eine neue, elegante Methode, dieses Gas und seine Bewegung zu untersuchen. Polarisierter Radiostrahlung zeigt die Stärke und Richtung der Magnetfelder, die bei schnellen Gasbewegungen mitgerissen werden. Daher ist die Karte der Magnetfeldrichtungen gleichzeitig eine Momentaufnahme des Strömungsfeldes. In NGC 1097 wird erstmals die Stoßfront von einigen 10.000 Lichtjahren Länge im Balken unmittelbar sichtbar. Dort ändert sich die Richtung der Strömung abrupt um fast 90 Grad. Im Widerspruch zu den Vorhersagen der Modelle befindet sich die Stoßfront allerdings ziemlich genau in der Mitte des Balkens und nicht am Rand. Für diese Abweichung sind vermutlich Magnetfelder verantwortlich.

Die neuen Radiobeobachtungen zeigen eine mögliche Lösung des Fütterungsproblems: Das Magnetfeld im zentralen Ring hat die Form einer Spirale, steht also (anders als im Balken) in einem Winkel zur Bewegung des Gases. Dadurch treten magnetische Kräfte auf, die ausreichen, um etwa eine Sonnenmasse an Gas pro Jahr in Richtung Zentrum abzulenken - genug, um den „Hunger“ des Schwarzen Loches zu stillen.

Bisher wurde vermutet, daß die Fütterung eines Schwarzen Loches vor allem durch Materie erfolgt, die von außen in die Galaxie einfällt. Ein Beispiel dafür ist, wenn eine Galaxie durch eine andere verschlungen wird, wie im Falle von Centaurus A am Beginn dieses Berichts. Die neuen Beobachtungen zeigen jedoch, daß zumindestens die Balkengalaxien nicht auf solche seltenen Ereignisse angewiesen sind, sondern ihr Schwarzes Loch selbst füttern können. Somit ist verständlich, weshalb in allen großen Balkengalaxien helle Radio- und

Röntgenquellen im Zentrum nachgewiesen werden.

Verwirbelte Raumzeit

Wissenschaftler haben einen weiteren Effekt der Relativitätstheorie nachgewiesen: Bereits 1918 haben die beiden österreichischen Forscher Joseph Lense und Hans Thirring aufgrund der Allgemeinen Relativitätstheorie vorausgesagt, daß auch rotierende Massen die Raumzeit beeinflussen. Zu ihren Ehren wurde diese Erscheinung als Lense-Thirring-Effekt bezeichnet (eng. auch „frame dragging“).

Dadurch wird die Umlaufebene eines Körpers, der einen anderen umkreist, geringfügig verzerrt. So ist der Weg eines Körpers, der einen anderen Körper in derselben Richtung umkreist, wie dieser rotiert, etwas länger als bei einer gegenläufigen Bewegung. Theoretisch müßte eine Uhr, die diese Umkreisung mitmachen würde, eine winzige Zeitdifferenz zu einer Uhr in einem ruhenden Bezugssystem aufweisen.

Dieser Nachweis ist jetzt einer Gruppe italienischer und amerikanischer Wissenschaftler geglückt. Sie werteten die Orbitaldaten der beiden Satelliten LAGEOS und LAGEOS II aus, die als passive Laserreflektoren zur Vermessung des Erdschwerefeldes eingesetzt werden. Zur Feststellung des relativistischen Effektes mußten aber zuerst alle anderen Faktoren wie sonstige Einflüsse des Schwerefeldes, Gezeiteneffekte und Vorgänge im Erdinneren eliminiert werden.

Die Datenauswertung wurde durch ein extrem genaues Modell des irdischen Schwerefeldes, des sogenannten „Earth Gravity Model 96“ ermöglicht, daß auf den Bahndaten von 40 Satelliten beruht. Das Ergebnis der Auswertung ergab, daß sich die Bahn der LAGEOS-Satelliten im Zeitraum von 1992 bis 1996 um gut zwei Meter pro Jahr in Richtung der Erdrotation verschoben hat. Die Verschiebung steht mit einer Abweichung von plus

zehn Prozent im Einklang mit den Vorhersagen der Theorie.

Die Beobachtung von Schwarzen Löchern im Röntgenlicht durch andere Forschergruppen brachte ähnliche Ergebnisse. Bei schwarzen Löchern sind aufgrund ihrer Masse die Effekte der Allgemeinen Relativitätstheorie noch stärker ausgeprägt. Trotz ihres exotischen Rufes sind sie vom theoretischen Standpunkt betrachtet, sehr einfache Gebilde, da sie durch die drei Größen Masse, Drehimpuls und Ladung vollständig beschrieben werden können. Bislang war man nur in der Lage, die Masse zu bestimmen. Nun ist es auch möglich, den Drehimpuls zu ermitteln. Gemäß der Relativitätstheorie gibt es eine letzte Umlaufbahn, die noch stabil ist. Innerhalb stürzt jede Materie hinein. Da die Größe dieser Umlaufbahn von der Rotation des Schwarzen Loches abhängig ist, kann diese abgeschätzt werden, wenn man die Geschwindigkeit der Materie auf dieser Bahn mißt.

Bei Auswertung der Beobachtungsdaten von Röntgensatelliten konnte bei zwei schwarzen Löchern eine starke Präzession der umlaufenden Staub- und Gasscheiben festgestellt werden. Daß heißt, daß die Rotationsachse der Scheiben einer taumelnden Bewegung unterliegt, ähnlich wie in weit geringerem Ausmaß bei der Erdbahn. Die Achse um GRS 1915+105 taumelt 67mal pro Sekunde und die um GRO J1655-40 sogar 300mal pro Sekunde. Diese Entdeckung läßt sich nur erklären, daß der Raum selbst um das Schwarze Loch mitgezerrt wird, genau so wie durch die Theorie von Lense-Thirring vorausgesagt.

Der eigens für die Untersuchung von Effekten der Relativitätstheorie geplante Satellit „Gravity Probe B“ soll dann erstmals systematisch nach derartigen Phänomenen Ausschau halten. Sein Start wird im Jahr 2000 stattfinden.

EF, Quellen: HST-News, MPI-Presseinfo, PR-Journal Nr. 5.