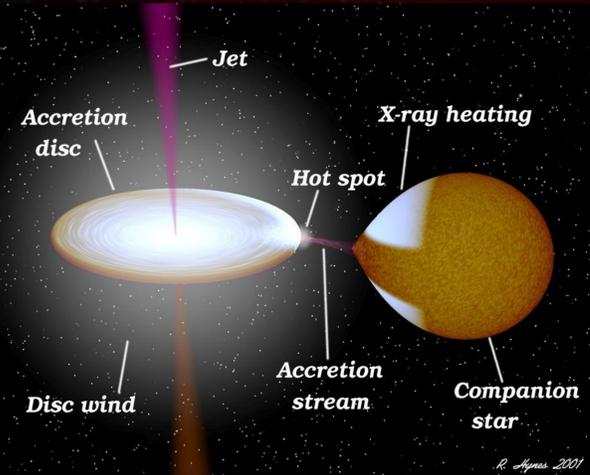


# Beobachtungen von kompakten Objekten

## Röntgendoppelsterne



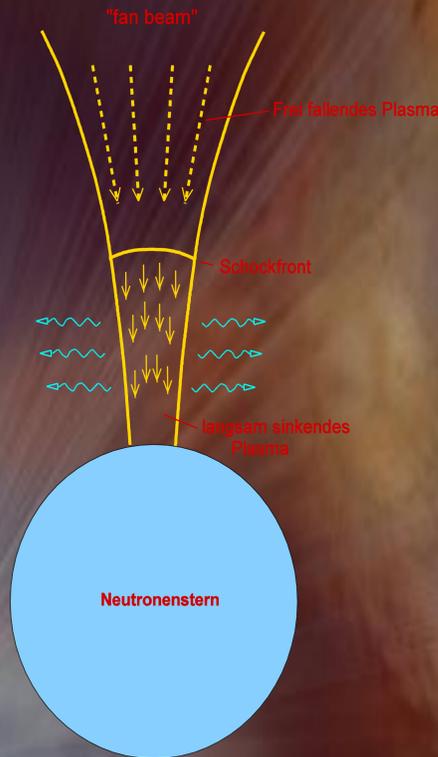
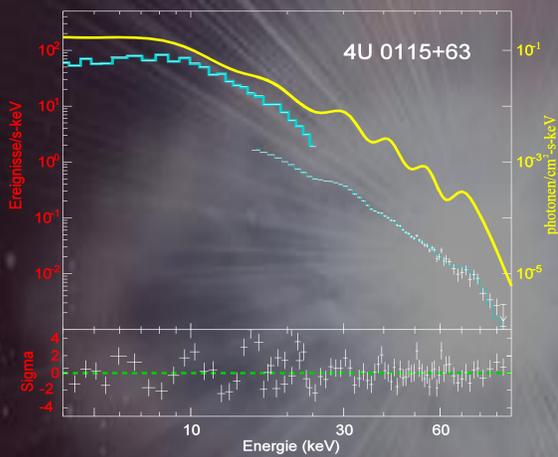
Röntgendoppelsterne gehören zu den exotischsten Objekten der Astronomie. In diesen Objekten strömt Materie von einem normalen Stern auf einen Neutronenstern oder auf ein schwarzes Loch. Dabei bildet sich eine im Röntgenbereich strahlende Akkretionsscheibe.

Unsere Gruppe am Institut für Astronomie und Astrophysik beschäftigt sich mit der Beobachtung und Interpretation von Röntgendaten solcher Systeme. Dazu werden Daten von Satelliteninstrumenten verwendet. Schwerpunkt war in den letzten Jahren das europäische International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory (INTEGRAL), der amerikanische Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE) und die europäische X-ray Multiple Mirror Mission (XMM-Newton). Aufgrund der Komplexität der Auswertungen besteht eine intensive Zusammenarbeit mit Gruppen in Bamberg, Palermo (Italien), Madrid (Spanien), San Diego (CA, USA) und Anderen.



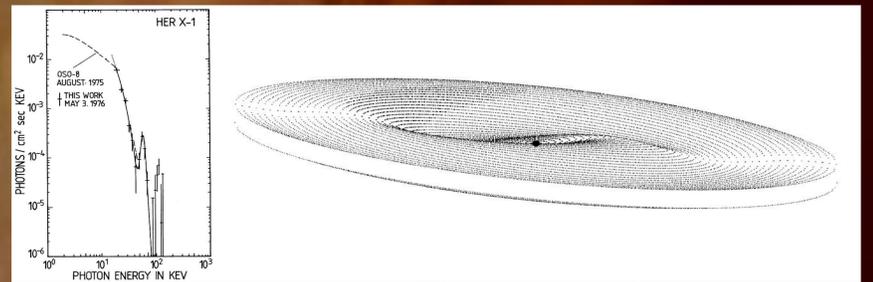
## Neutronensterne

Mit Stärken von  $\sim 10^8$  Tesla sind die Magnetfelder an den Polen der Neutronensterne die stärksten im Universum bekannten Magnetfelder. Gleichzeitig treffen pro Sekunde ca. 100 Mio Tonnen akkretiertes Material auf den Neutronensternpol auf. Dies führt zu sehr exotischen physikalischen Bedingungen. Bei solch großen Magnetfeldern ist die Bewegung der Elektronen senkrecht zur Magnetfeldrichtung gequantelt (Landau-Niveaus). Wechselwirken Photonen mit diesen Elektronen können sie absorbiert werden – Zyklotronlinien entstehen. In Kollaboration mit der University of California at San Diego sind wir weltweit führend in der Beobachtung der Zyklotronlinien (die Linien wurden übrigens vor etwa 30 Jahren von Tübinger Astronomen entdeckt). Die Abbildung unten zeigt den Rekordhalter unter den Zyklotronquellen: insgesamt 5 Zyklotronlinien sind sichtbar!

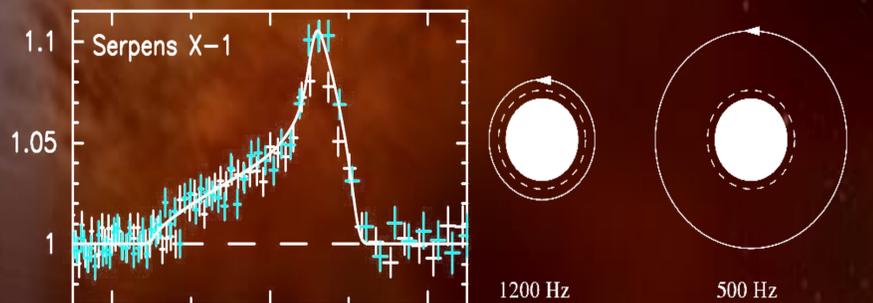


## Akkretionsscheiben

Die vom Begleitstern abgezogene Materie sammelt sich in einer Akkretionsscheibe um den Neutronenstern. In besonderen Fällen, wie bei Hercules X-1, können die beobachteten Effekte nur durch eine verzogene Akkretionsscheibe erklärt werden (siehe Abbildung unten).



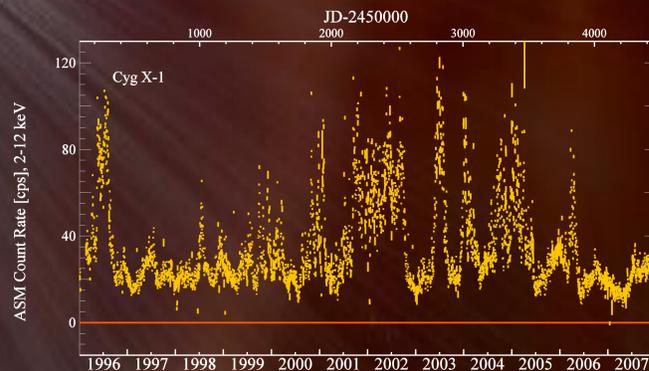
In der Akkretionsscheibe haben außerdem andere Effekte ihren Ursprung, deren genaue Analyse einen Aufschluss über die genaue Zusammensetzung von Neutronensternen gibt. Namentlich sind dies relativistisch verbreiterte Fluoreszenzlinien von ionisiertem Eisen und quasi periodische Oszillationen. Die Frequenzen dieser Oszillationen können über 1000 Hertz erreichen!



## Schwarze Löcher

Bei der Untersuchung schwarzer Löcher analysieren wir das zeitliche und spektrale Verhalten dieser Quellen auf Zeitskalen von Millisekunden bis hin zu Wochen, Monaten und Jahren. Dazu wurden ausgedehnte Beoberkungskampagnen durchgeführt, teilweise auch simultan mit Radio- und optischen Teleskopen. Eine Quelle die detailliert in Tübingen untersucht wurde ist Cyg X-1 (das erste bekannte Schwarze Loch). Mit einer typischen Leuchtkraft von 105 Sonnenleuchtkräften zählt dieses Objekt zu den hellsten Quellen in der Milchstraße.

Die Röntgenspektren der schwarzen Löcher sind eine Kombination aus einem Schwarzkörperspektrum der Akkretionsscheibe und einem sogenannten Comptonisierungsspektrum, d.h. Photonen, die an sehr heißen Elektronen (kT 100 keV) invers Compton-gestreuert werden. Beobachtet man eine Quelle über einen längeren Zeitraum stellt man fest, dass einmal das Schwarzkörperspektrum dominiert, ein anderes mal das Comptonisierungsspektrum. Dies bedeutet, dass der Mechanismus der Energieerzeugung in diesen Systemen mit der Zeit variabel ist.



In einigen Quellen ist desweiteren noch eine Eisenlinie bei 6,4 keV im Spektrum zu sehen, die auf Grund der starken Gravitationsfelder in der Nähe des Schwarzen Loches extrem verbreitert und verformt ist. Aus der genauen Analyse des gesamten Spektrums und der Linie können wir Rückschlüsse sowohl auf die Energieerzeugungsprozesse und die Geometrie des Systems als auch auf die Eigenschaften des Schwarzen Loches ziehen.

