



# Beobachtungen von kompakten Objekten

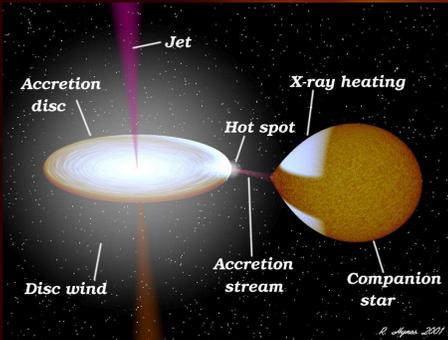
## Institut für Astronomie und Astrophysik – Abteilung Astronomie

### Arbeitsgruppe Röntgenastronomie (Leiter: A. Santangelo)



Andrea Santangelo, Jürgen Barnstedt, Isabel Caballero, Rozaliya Doroshenko, Victor Doroshenko, Sonja Fritz, Agnes Hoffmann, Dmitry Klochokov, Ute Kraus, Santina Piraino, Rüdiger Staubert

### 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.

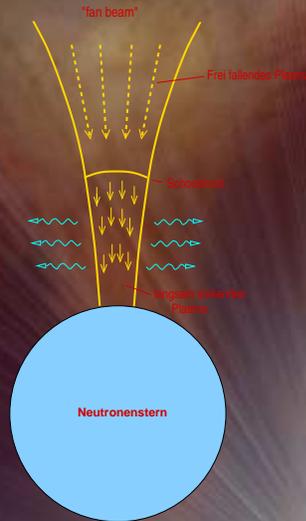


### Neutronensterne

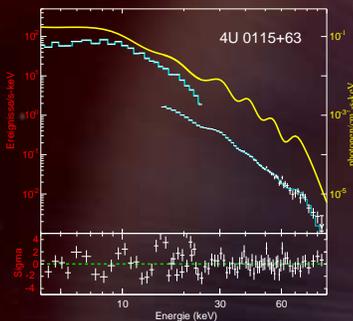
Mit Stärken von  $\sim 10^8$  Tesla sind die Magnetfelder an den Polen der Neutronensterne die **stärksten im Universum bekannten Magnetfelder**. Gleichzeitig treffen pro Sekunde ca. 100 Mio. Tonnen akkretiertes Material auf den Neutronensternpol auf. Dies führt zu sehr exotischen physikalischen Bedingungen.

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.

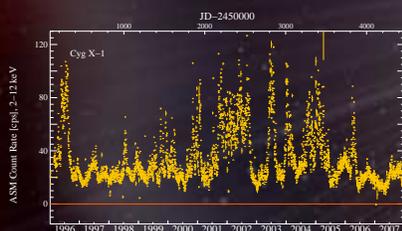
In Kollaboration mit der University of California at San Diego sind wir weltweit führend in der Beobachtung der Zyklotronlinien (die Linien wurden übrigens vor etwa 25 Jahren von Tübinger Astronomen entdeckt). Die Abbildung unten zeigt den Rekordhalter unter den Zyklotronquellen: insgesamt 5 Zyklotronlinien sind sichtbar!



Ein weiteres interessantes Beispiel von Röntgendoppelsternsystemen mit Neutronensternen ist Her X-1. Die meisten beobachteten Eigenschaften des Systems lassen sich durch ein Modell erklären, das eine verzogene präzedierende Akkretionsscheibe, einen frei präzedierenden Neutronenstern und einen sich aus der Orbitalebene erhebenden Akkretionsstrom enthält.



### 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 haben wir ausgedehnte Beobachtungskampagnen durchgeführt, teilweise auch simultan mit Radio- und optischen Teleskopen. In den letzten Jahren konzentrierten wir uns dabei hauptsächlich auf die Quelle Cyg X-1 (das erste bekannte schwarze Loch). Mit einer typischen Leuchtkraft von  $\sim 10^5$  Sonnenleuchtkraften 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 ( $kT \sim 100$  keV) invers Compton-gestreut 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 6,4keV 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.

