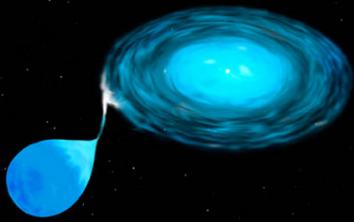
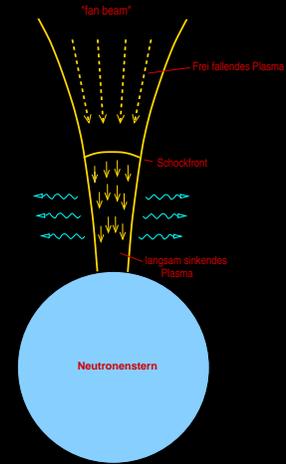


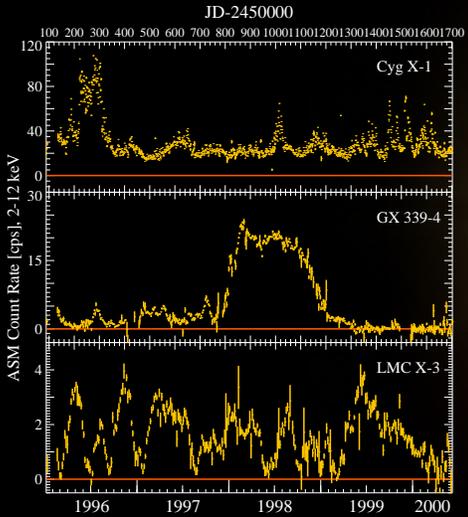
Röntgendoppelsterne

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 der amerikanische Rossi X-ray Explorer, ab 2000 kommt Information der europäischen X-ray Multiple Mirror Mission und des amerikanischen *Chandra*-Satelliten hinzu. Aufgrund der Komplexität der Auswertungen besteht eine intensive Zusammenarbeit mit Gruppen in San Diego (CA), Boulder (CO), Alicante (Spanien) und anderen.



Schwarze Löcher



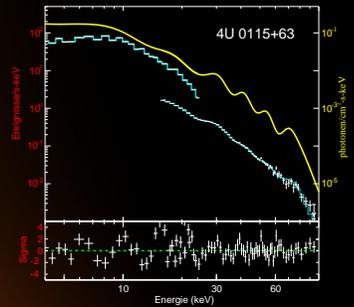
Bei der Untersuchung schwarzer Löcher untersuchen wir das **zeitliche und spektrale Verhalten** dieser Quellen auf Zeitskalen von Millisekunden bis hin zu Wochen und Monaten. Dazu haben wir extensive Monitoring-Kampagnen durchgeführt, teilweise auch simultan mit Radio- und optischen Teleskopen. Wir konzentrieren uns dabei auf die Quellen Cyg X-1 (das erste bekannte schwarze Loch), GX 339-4, LMC X-1 und LMC X-3. Diese haben typische Leuchtkräfte von $\sim 10^5$ Sonnenleuchtkräften und zählen zu den hellsten Quellen in der Milchstraße.

Die Röntgenspektren der Quellen sind die 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. Oberhalb einer bestimmten Leuchtkraft der Quelle dominiert das Schwarzkörperspektrum, unterhalb dieser Leuchtkraft das Comptonisierungsspektrum. Dies bedeutet, daß der Mechanismus der Energieerzeugung in diesen Systemen ober- und unterhalb der kritischen Leuchtkraft unterschiedlich ist. Zum Verständnis der Energieerzeugung beschäftigen wir uns mit **theoretischen Simulationen**. So führen wir z.B. Monte Carlo Rechnungen zur Erzeugung des Röntgenspektrums der schwarzen Löcher durch.

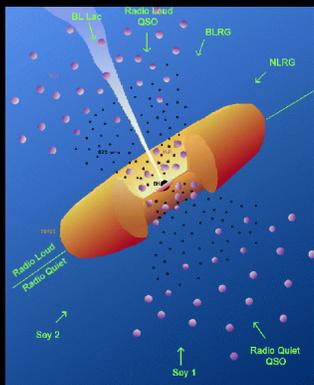
Mit Stärken von $\sim 10^8$ Tesla sind die Magnetfelder an den Polen der Neutronensterne die **stärksten im Universum bekannten Magnetfelder**. Gleichzeitig treffen pro Sekunde ca. 100 Mio Tonnen akkretierendes Material auf den Neutronensternpol auf. Dies führt zu sehr exotischen physikalischen Bedingungen.

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 knapp 25 Jahren von Tübinger Astronomen entdeckt). Die Abbildung unten zeigt den Rekordhalter unter den Zyklotronquellen: insgesamt 5 Zyklotronlinien sind sichtbar!



Aktive Galaxien



Mit Leuchtkräften $> 10^{10}$ Sonnenleuchtkräften sind aktive Galaxien die **energetischsten Objekte im Universum**. Die Energieerzeugung ist dabei ähnlich der bei den Röntgendoppelsternen: Materie fällt auf ein zentrales schwarzes Loch. Nur muß bei aktiven Galaxien in "astronomischen Größenordnungen" gedacht werden. So hat das schwarze Loch eine **typische Masse von ca. 10^8 Sonnenmassen**. Zur Erzeugung der beobachteten Leuchtkraft werden **pro Jahr 3 Sonnenmassen** an akkretierendem Material benötigt.

Im Röntgenspektrum können viele Hinweise auf diese Prozesse gefunden werden. So sehen wir z.B. eine Eisenlinie bei 6.4 keV, die durch Fluoreszenz in der Akkretionsscheibe entsteht. Diese Eisenlinie zeigt in vielen Objekten klare Hinweise auf eine sehr starke Linienverbreiterung. Diese Verbreiterung entsteht zum einen durch die **sehr hohen Geschwindigkeiten** (0.5c), die in der Scheibe nahe des schwarzen Lochs herrschen, ferner gibt es auch klare Hinweise auf eine Verbreiterung aufgrund der **extrem starken Gravitationsfelder**. Studien der Entstehung der Linie sind einer der Schwerpunkte unserer Arbeiten.

Außer der Akkretionsscheibe befindet sich noch weiteres Material im Umkreis von einigen Lichtjahren um die Scheibe. Dieses Material wird durch die Röntgenstrahlung des schwarzen Lochs auf Temperaturen von ca. 10000 K aufgeheizt. Dieses Gas absorbiert die Röntgenstrahlung unterhalb von Energien von einigen keV und kann so nachgewiesen werden. Unsere Arbeitsgruppe untersucht Indikatoren für die Existenz solcher **warmen Absorber**. Wir führen **Photoionisationsrechnungen** durch, die uns helfen, den Ionisationsgrad des Gases und seine weiteren Eigenschaften (z.B. seine Masse) aus der Röntgenabsorption zu bestimmen.

Ansprechpartner:
Rüdiger Staubert, 29-74980
Jörn Wilms, 29-76128
<http://astro.uni-tuebingen.de>