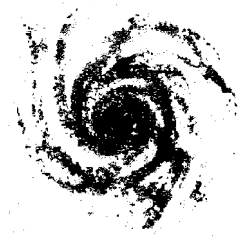
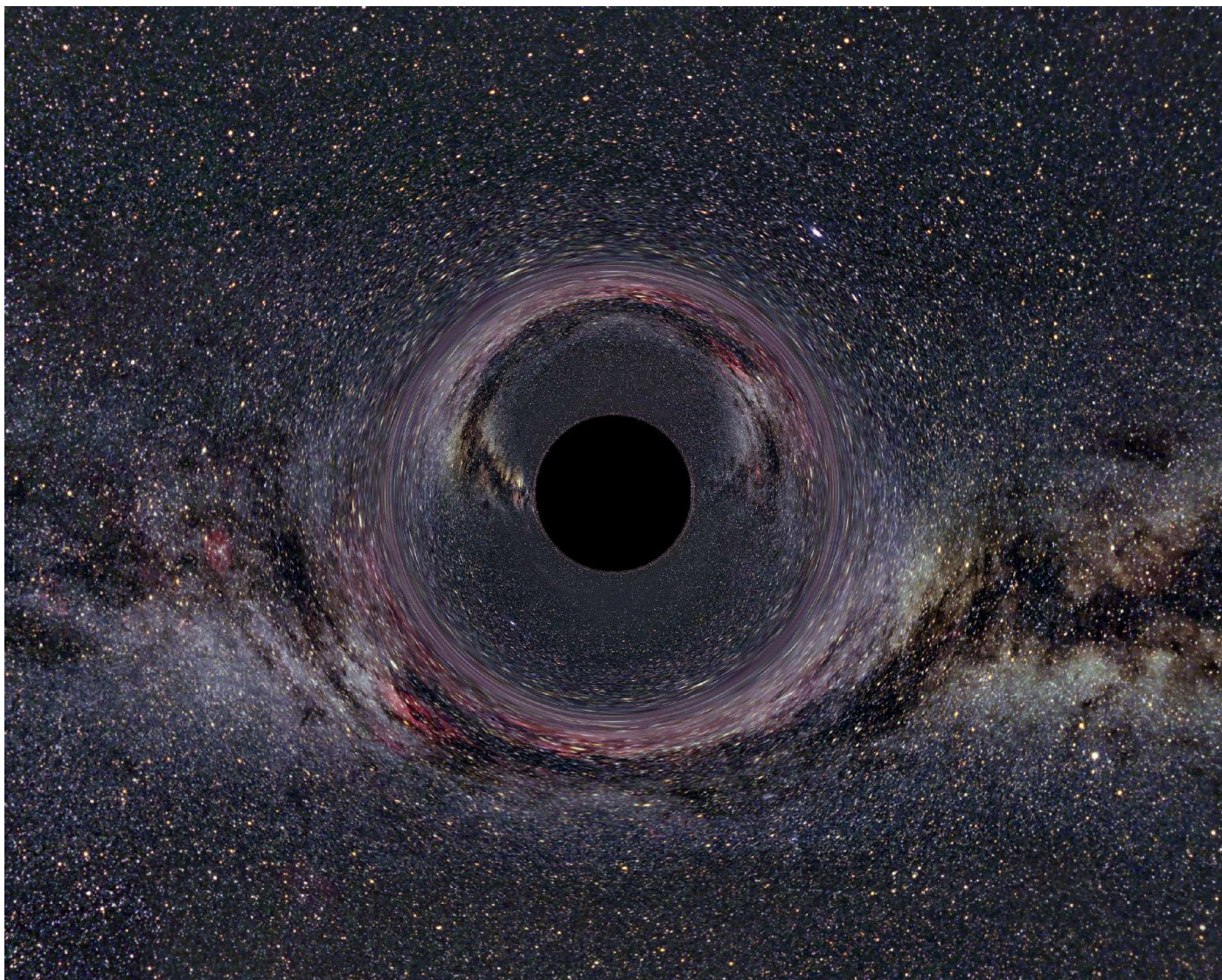


Studienstiftung des Deutschen Volkes
Akademie La Villa 2006
AG: Schwarze Löcher in der Astronomie

Bildung stellarer schwarzer Löcher und die Evolution von Doppelsternen



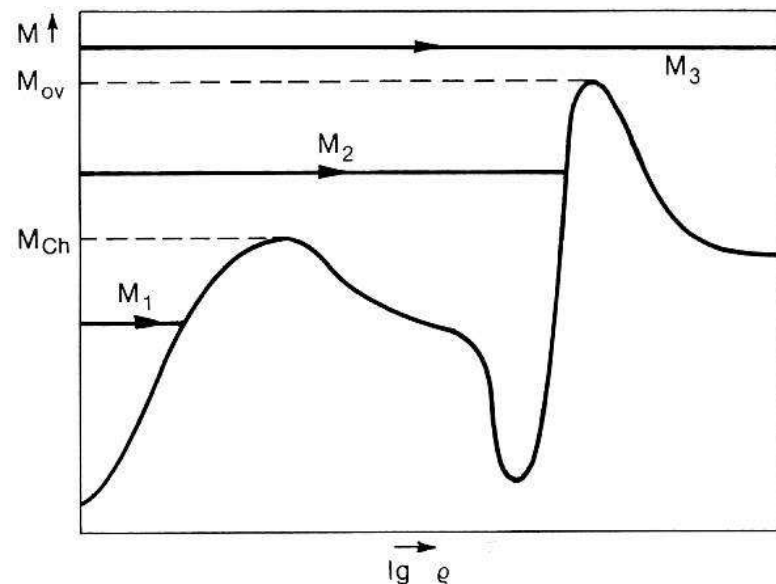


Ein fiktives nichtrotierendes Schwarzes Loch von 10 Sonnenmassen aus 600 km Abstand gesehen, wobei dem Schwarzen Loch mit der 400 millionenfachen Erdbeschleunigung entgegengehalten werden muss, damit der Abstand konstant bleibt. Im freien Fall würde sich durch die Aberration ein anderes Bild ergeben. Die Milchstraße im Hintergrund erscheint durch die Raumzeitkrümmung verzerrt und doppelt. Der schwarze Bereich entspräche ohne Raumzeitkrümmung einem Radius von 75 km. Der Schwarzschildradius beträgt dagegen nur 29,5 km. Die Bildbreite entspricht einem Blickwinkelbereich von 90°.

Der stellare Gravitationskollaps

Gleichgewichte

- in interstellaren Gaswolken: Fremdeinstrahlung (Sternlicht) $\Rightarrow$ Aufheizung und thermische Bewegung $\Rightarrow$ Gasdruck $p = \frac{1}{3}\rho v^2$
- in Sternen: Hydrostatisches Gleichgewicht aus innerem (therm.) Gasdruck
- in weißen Zwergen und Neutronensternen: Hier wird der Druck nicht mehr aus thermischer Energie erzeugt, es herrscht ein auch nach Auskühlen endgültiges Gleichgewicht – erzeugt durch den Entartungs- oder Fermidruck (der Elektronen bzw. Neutronen): Das Pauliprinzip verbietet den jew. Teilchen bei gleichem Spin (bei Fermionen halbzahlige Quantenzustände) sich sehr nahe zu kommen $\Rightarrow$ Unter hohem Gravitationsdruck werden höhere Spinzustände besetzt $\Rightarrow$ innerer Druck aus Bewegung



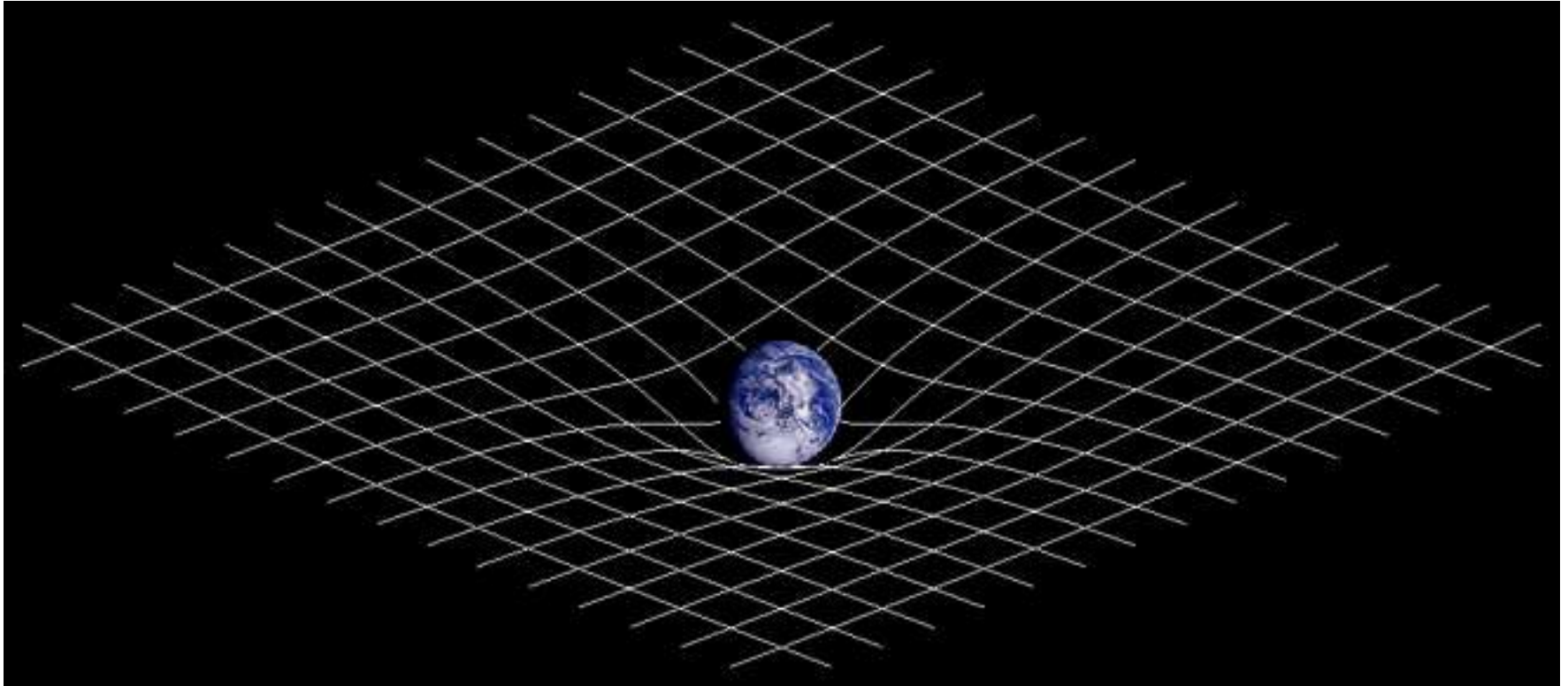
Grenzmassen

Chandrasekhar: 1,2...1,4 M_{sol}

Oppenheimer-Volkov: 1,5...3 M_{sol}

Abbildung 1: Die evolutionären Endstadien von Sternen als Funktion der Dichte im Zentrum, völlig erkaltet $T = 0K$ (Karttunen et al., 1994)

Physikalische Eigenschaften



Physikalische Eigenschaften

Schwarzschild-Radius:

$$r_s = \frac{2\Gamma M}{c^2}$$

Zeitdilatation

$$\tau = \frac{1}{c} \cdot \int ds$$

$$\frac{d\tau}{dt} = \left(1 - \frac{r_s}{r}\right)^{\frac{1}{2}} < 1$$

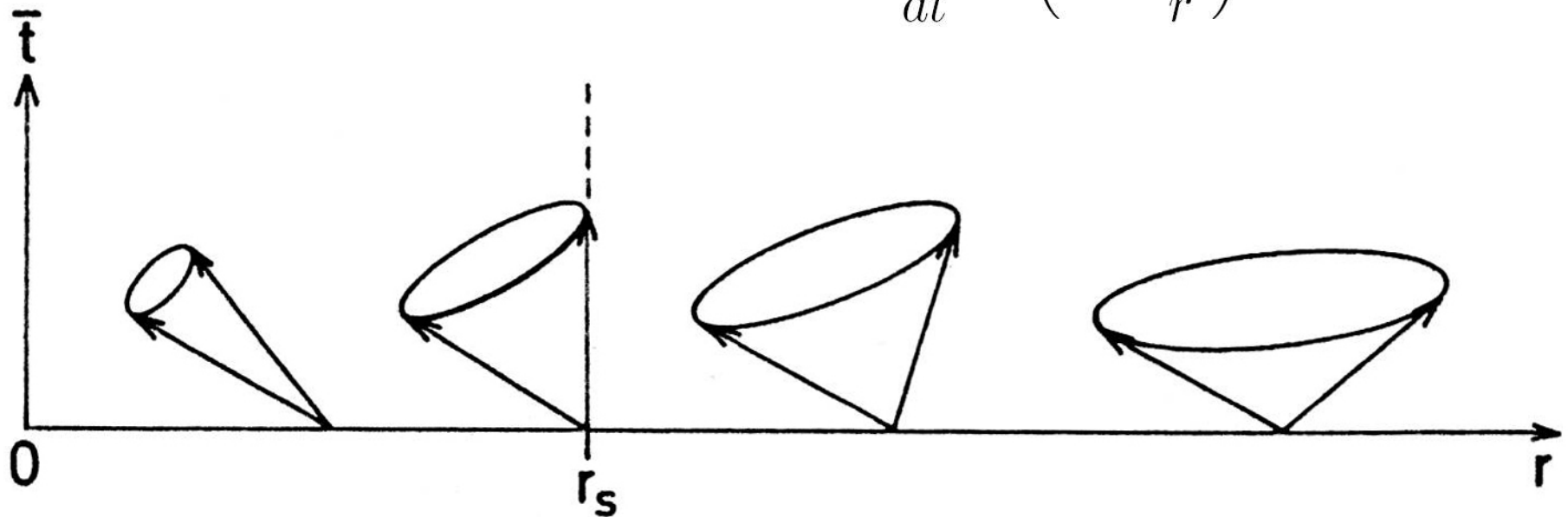


Abbildung 2: Die Gestalt der Lichtkegel in der unmittelbaren Umgebung eines schwarzen Loches – r_s ist der Schwarzschildradius; Das Zeitmaß $\bar{t}$ ist im Text definiert. (Kippenhahn/Weigert, 1990)

Freier Fall ins schwarze Loch

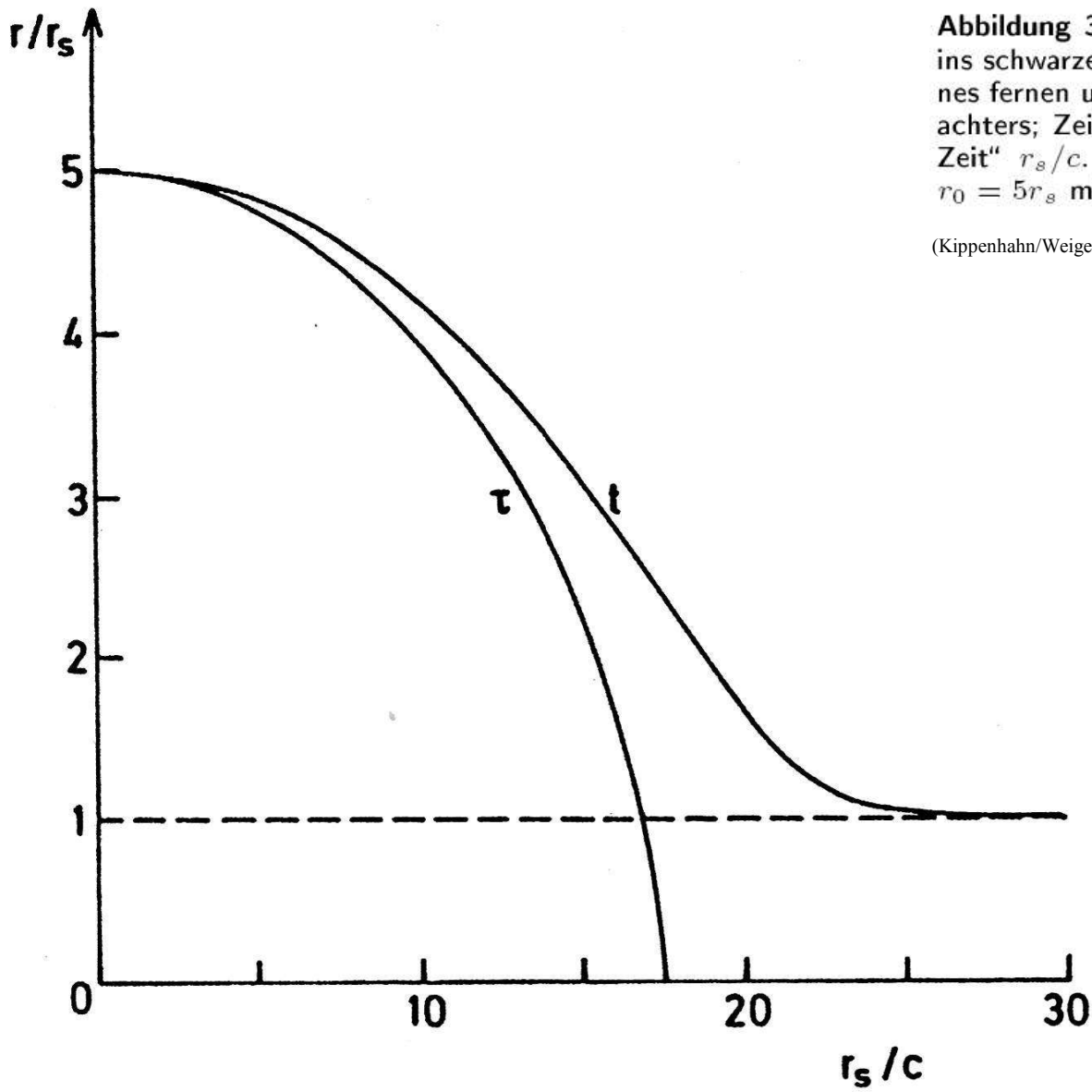
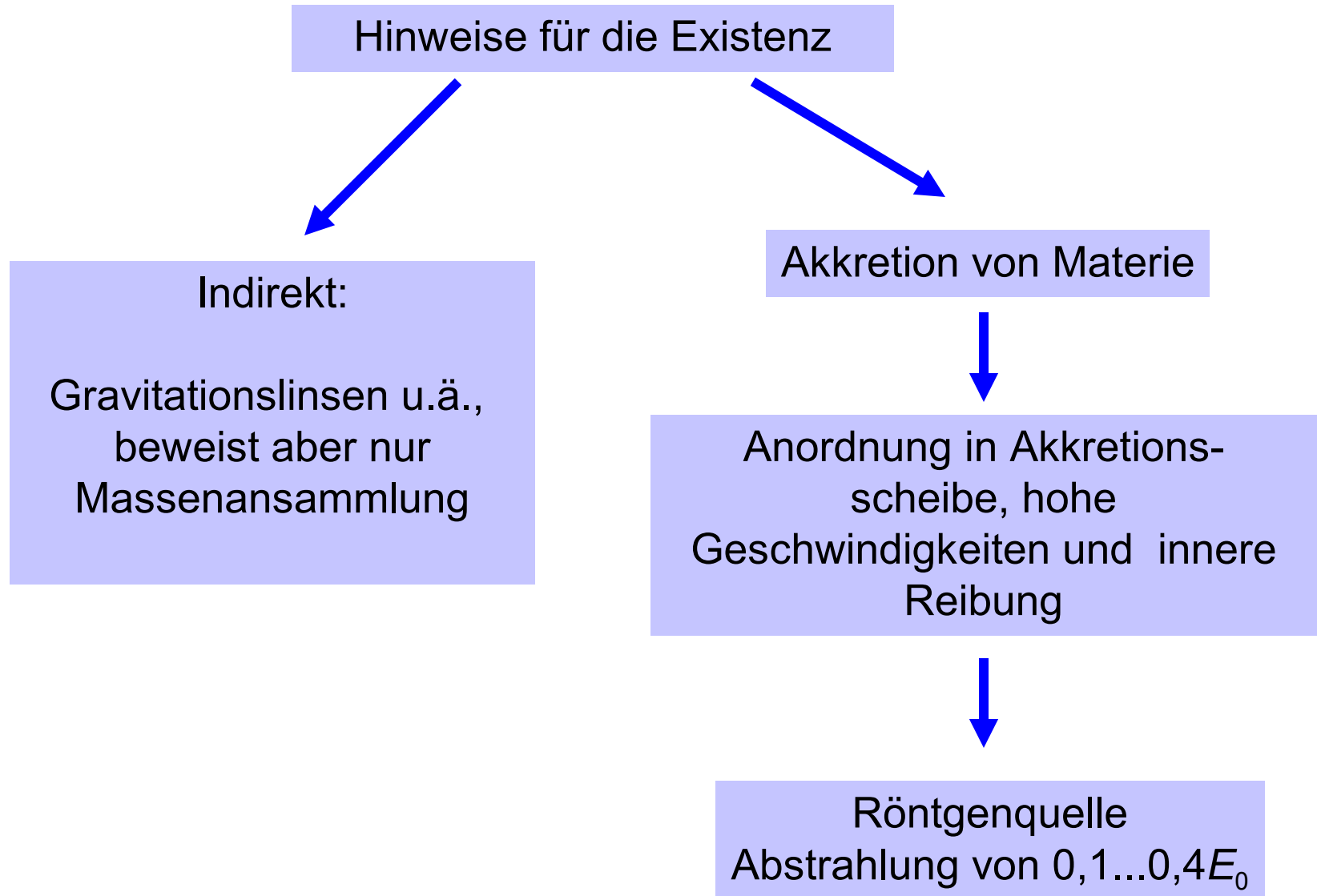


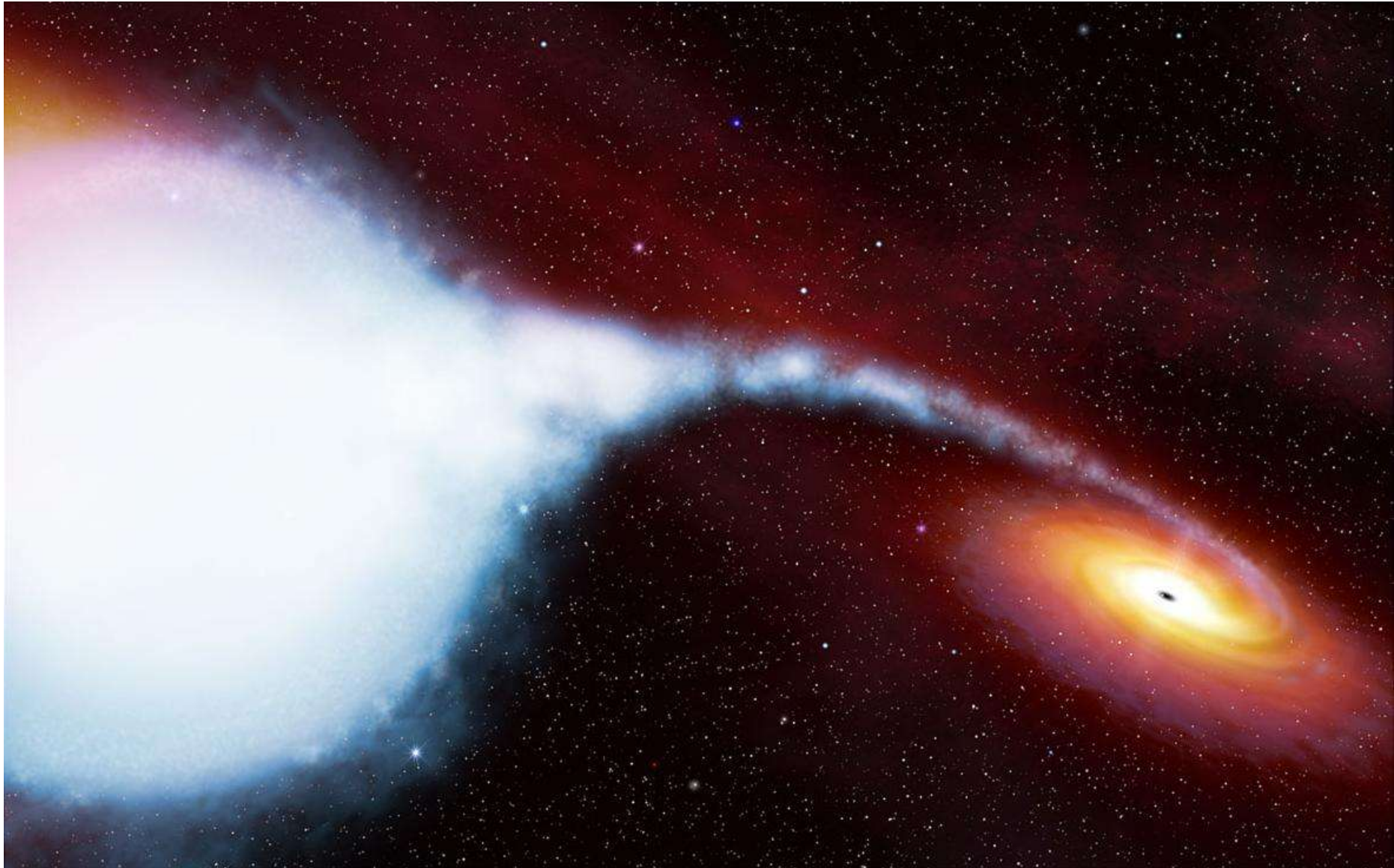
Abbildung 3: Ort-Zeit-Diagramm für den freien Fall ins schwarze Loch, gemessen in Koordinatenzeit t eines fernes und Eigenzeit τ des hineinfallenden Beobachters; Zeiten in Vielfachen der „charakteristischen Zeit“ r_s/c . Der Fall beginnt hier exemplarisch bei $r_0 = 5r_s$ mit $v_0 = 0$.

(Kippenhahn/Weigert, 1990)

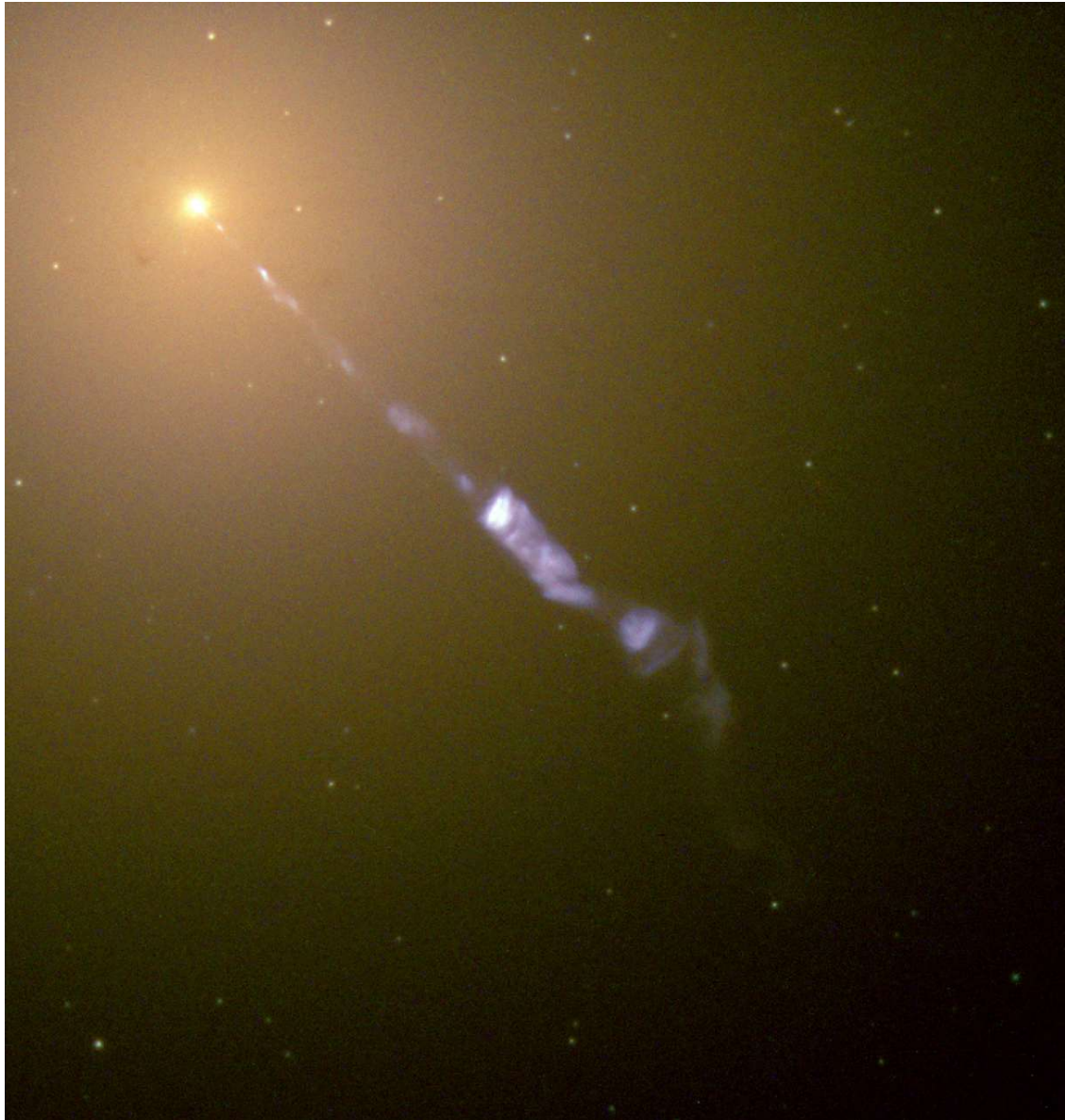
Auf der Suche nach schwarzen Löchern...



Schwarze Löcher als Röntgenquellen

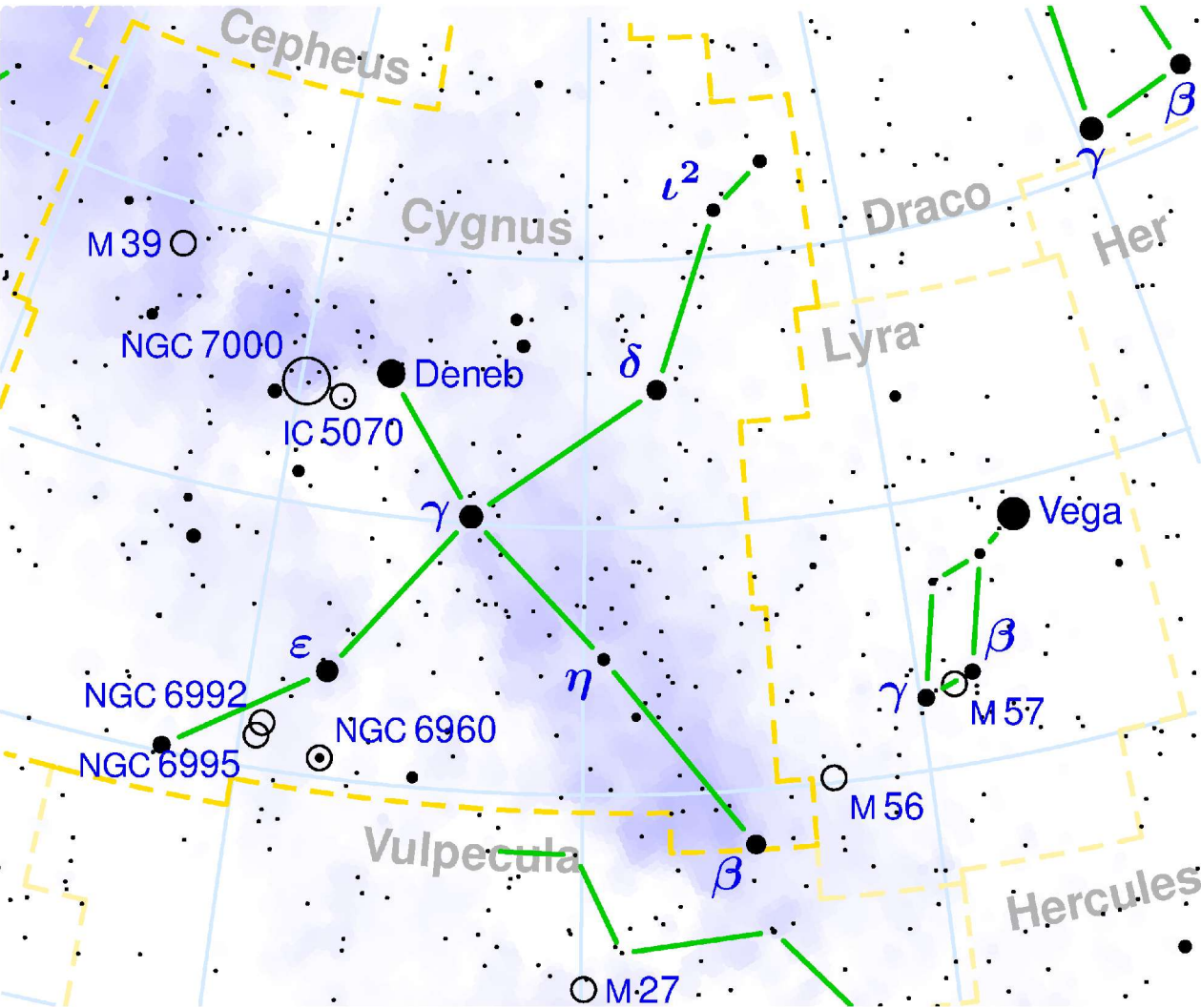


Schwarze Löcher als Röntgenquellen

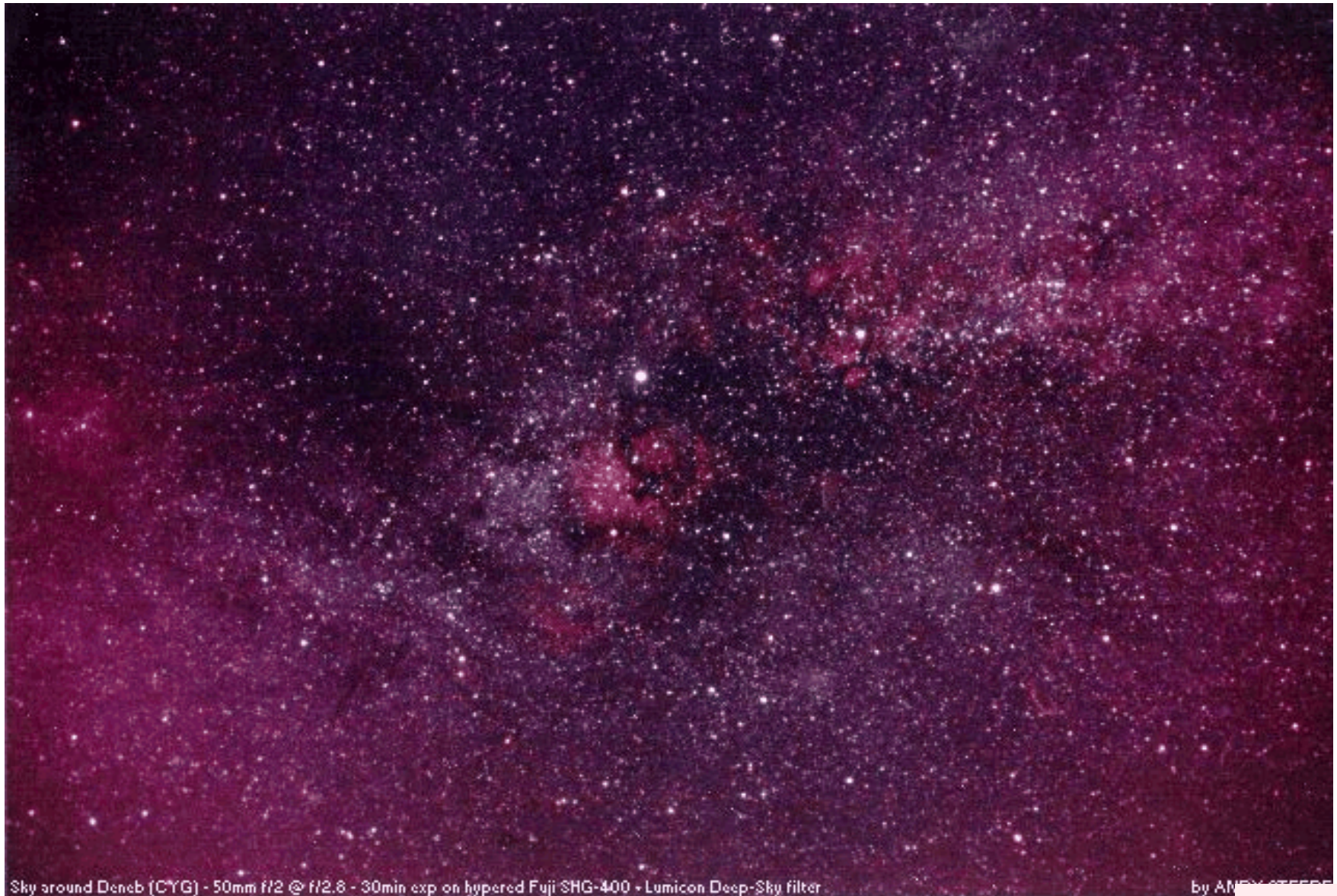


<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2000/20/>

Die Röntgenquelle Cyg X-1



Die Röntgenquelle Cyg X-1

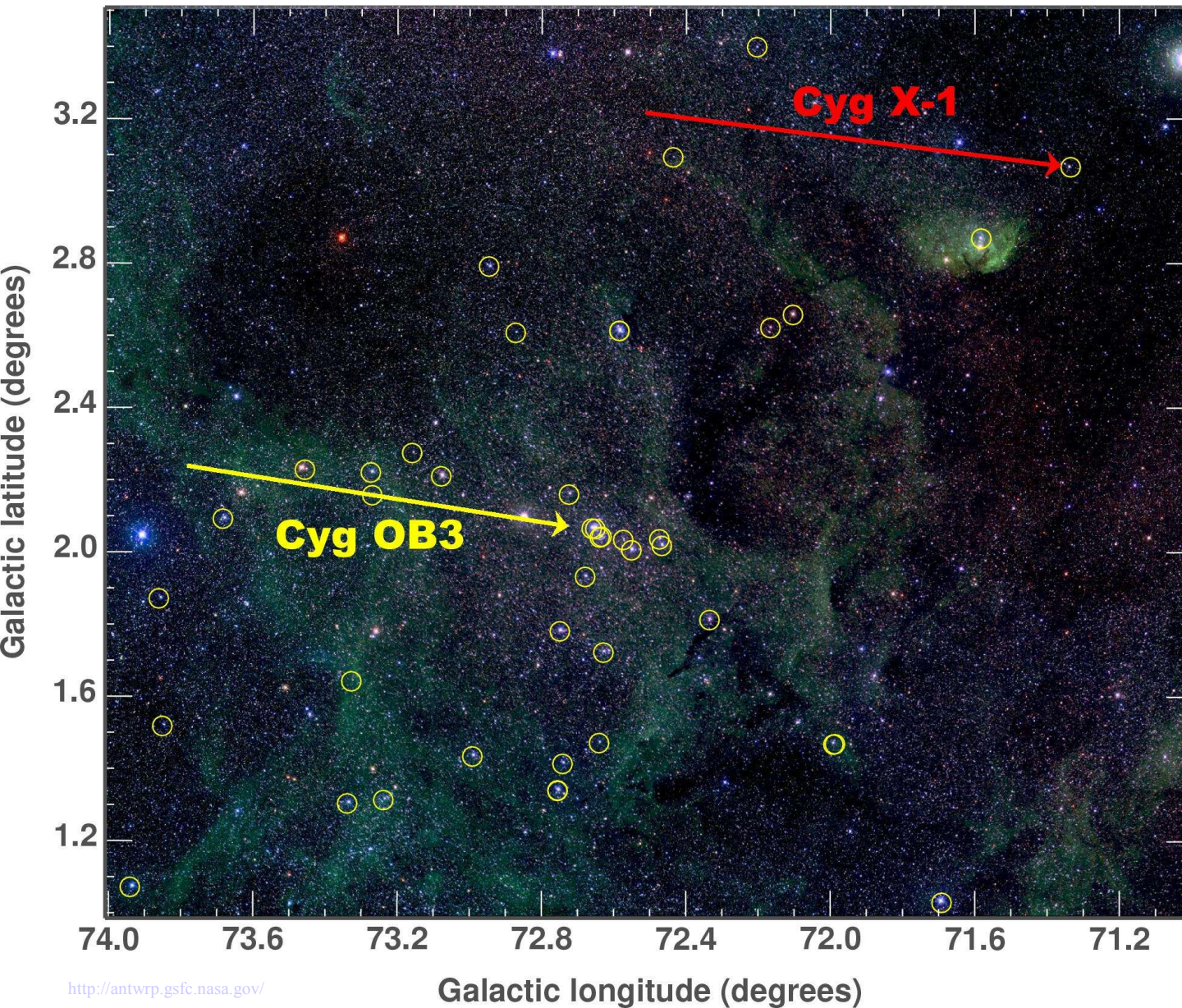


Sky around Deneb (CYG) - 50mm f/2 @ f/2.8 - 30min exp on hypered Fuji SHG-400 - Lumicon Deep-Sky filter

by AM...

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/>

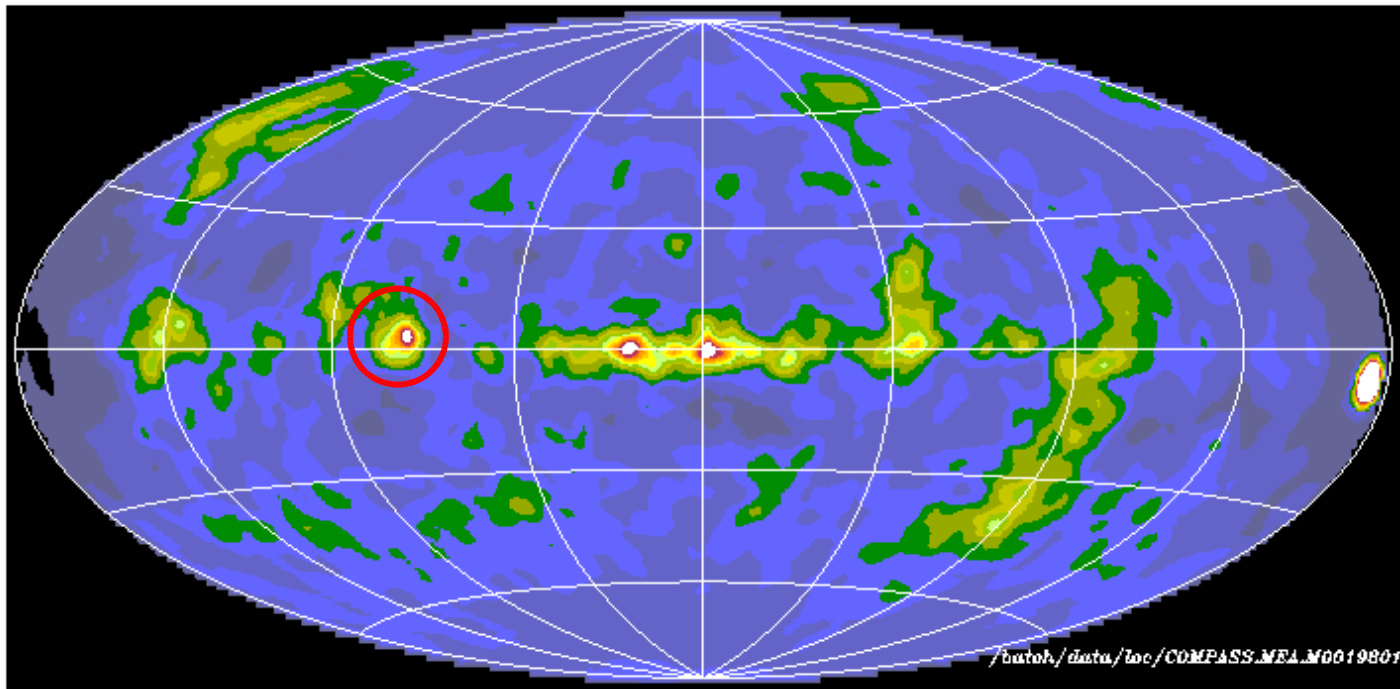
Die Röntgenquelle Cyg X-1



Die Röntgenquelle Cyg X-1

Die Röntgenquelle Cyg X-1

This premier gamma-ray view of the sky was produced by the COMPTEL instrument onboard NASA's orbiting Compton Gamma Ray Observatory. The entire sky is seen projected on a coordinate system centered on our Milky Way Galaxy with the plane of the Galaxy running across the middle of the picture. Gamma-ray intensity is represented by a false color map - low (blue) to high (white).



<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/>

Die Röntgenquelle Cyg X-1

Ausgangssituation

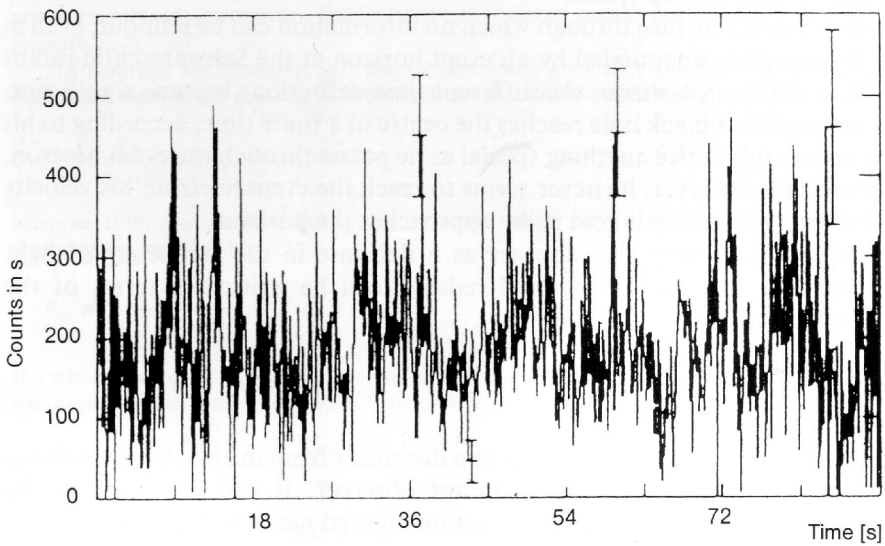
OB-Überriese, $22M_{\text{sol}}$

periodische Schwankung in
Dopplerverschiebung

periodische Helligkeitsveränderung



Doppelstern,
Umlaufdauer 5,6d



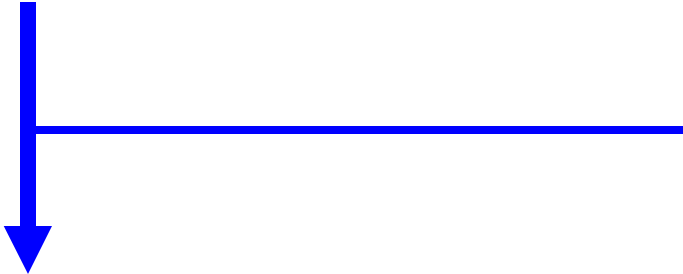
(Karttunen et al., 1994)

Die Röntgenquelle Cyg X-1

Keplersches Gesetz

$$\frac{(a_{co} + a_*)^3}{T^2} = \frac{\Gamma (m_{co} + m_*)}{4\pi^2}$$

mit $a_* + a_{co} = a_* + \frac{m_{co}}{m_*} \cdot a_*$



Massenfunktion des unsichtbaren Begleiters

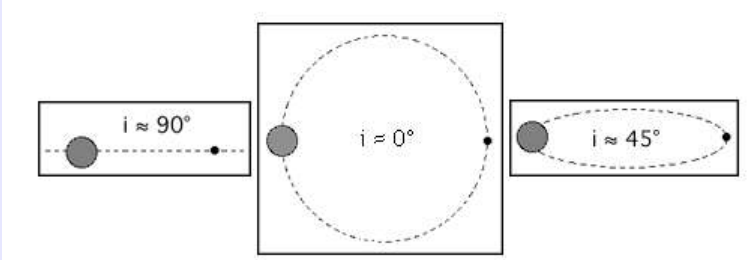
$$f_{co} (m_{co}, m_*) = \frac{m_{co}^3 \cdot \sin^3 \iota}{(m_{co} + m_*)^2} = \frac{T \tilde{v}_*^3}{2\pi \Gamma}$$

Abschätzung Inklination 30°
10M_{sol}

benötigter Bahnradius a_* ,
aus Radialgeschwindigkeit

$$\tilde{v}_j = \frac{2\pi a_j}{T} \cdot \sin \iota$$

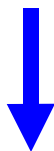
dabei: Inklination ι , Abschätzung 30°



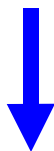
<http://imagine.gsfc.nasa.gov/>

Die Röntgenquelle Cyg X-1

Zeitskala 0,001s in
Strahlungsschwankung

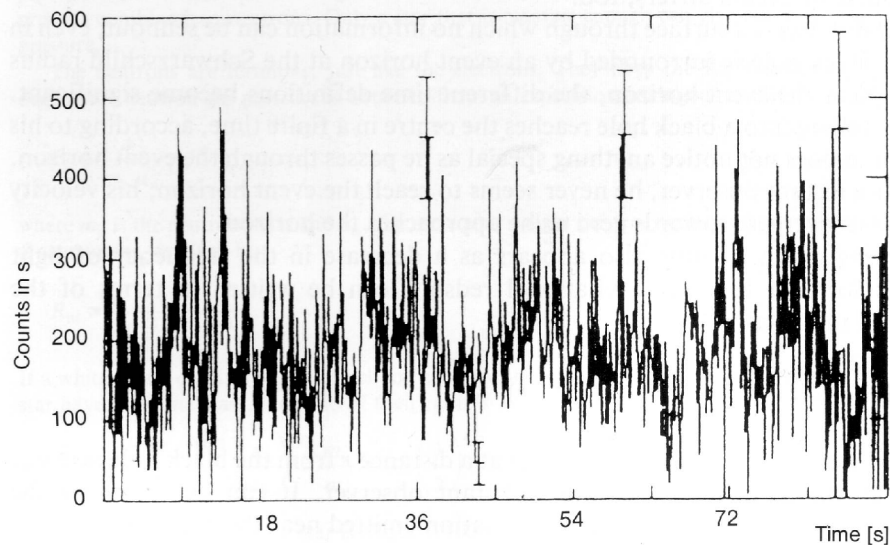


Größe der emittierenden Region
 $0,001L_s = 300\text{km}$
(Spezielle Relativitätstheorie)



Energiefächendichte nur auf
besonderen kompakten Objekten
realisierbar

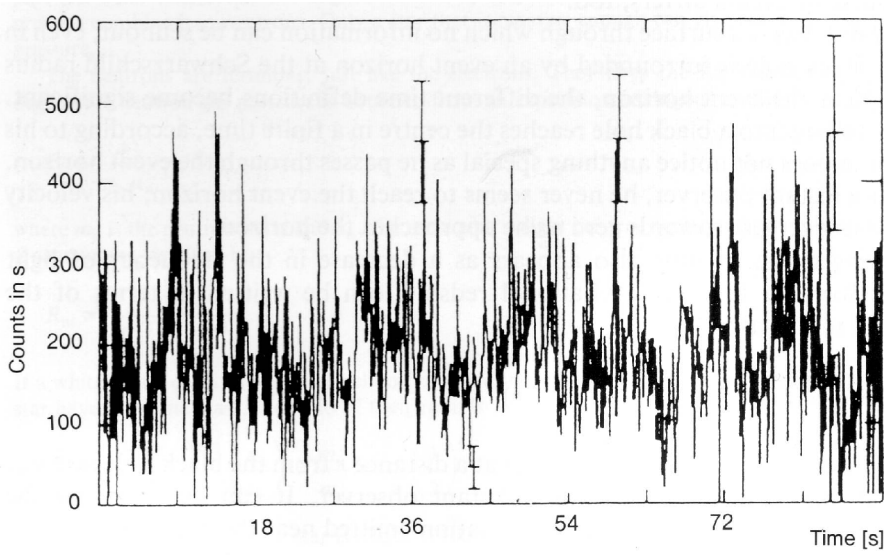
NS/BH



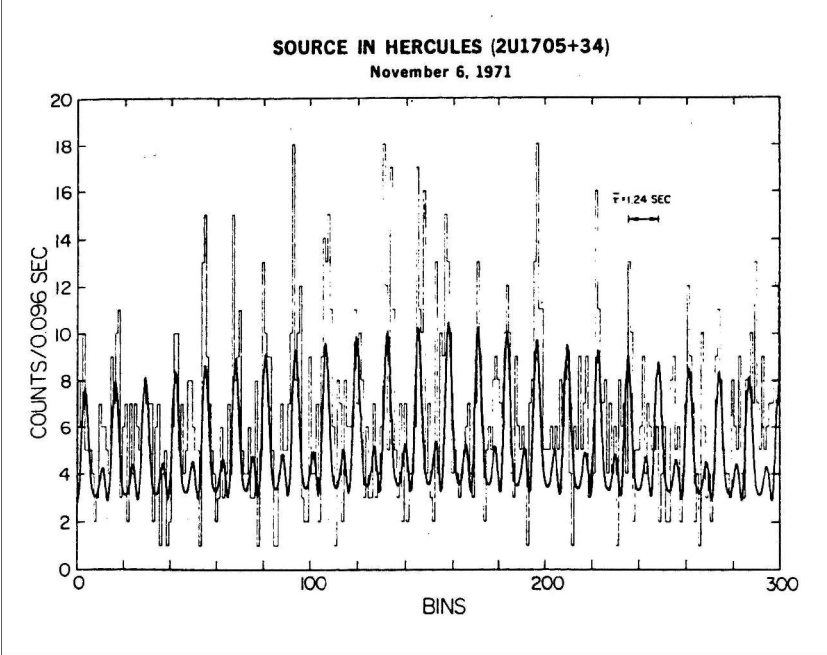
(Karttunen et al., 1994)

Neutronenstern oder Schwarzes Loch?

(1) Aperiodizität der Strahlung (keine NS-Pulsarstrahlung)



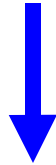
Aperiodische Strahlung von Cyg X-1
(Karttunen et al., 1994)



Strahlung eines akkretierenden und pulsierenden NS
(1,24s-Pulse)
(Tananbaum, 1973)

Neutronenstern oder Schwarzes Loch?

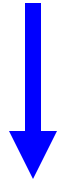
(2) Fehlende Auftreff-Effekte: harte Röntgen- und Gammastrahlung bei Kollision – hier nicht beobachtbar



asymptotische Annäherung an Ereignishorizont

Neutronenstern oder Schwarzes Loch?

(3) Berechnete Masse $>$ Oppenheimer-Volkov-Limit



Schwarzes Loch

Neutronenstern oder Schwarzes Loch?

