Cygnus X-1

Ein Röntgendoppelsternsystem als Labor für Astrophysik

1. Wo steht Cygnus X-1 am Himmel?
2. Entdeckungsgeschichte
3. Miller-Jones et.al, Science, 371 (6533)

“In the constellation of Cygnus
There lurks a mysterious, invisible force
The Black Hole of Cygnus X-1
Six stars of the northern cross
In mourning for their sister's loss
In a final flash of glory
Nevermore to grace the night”

Rush: Cygnus X-1: Book One: The Voyage
Writer/s: Alex Zivojinovich, Gary Lee Weinrib, Neil Elwood Peart
Publisher: OLE MEDIA MANAGEMENT LP

Kai Wicker
Folien dieses Vortrages: www.photonenfangen.de/download

Gamma-Ray Bursts

Oct 13, 2022

NASA's Swift, Fermi Missions Detect Exceptional Cosmic Blast

Astronomers around the world are captivated by an unusually bright and long-lasting pulse of high-energy radiation that swept over Earth Sunday, Oct. 9. The emission came from a gamma-ray burst (GRB) – the most powerful class of explosions in the universe – that ranks among the most luminous events known.

On Sunday morning Eastern time, a wave of X-rays and gamma rays passed through the solar system, triggering detectors aboard NASA's Fermi Gamma-ray Space Telescope, Neil Gehrels Swift Observatory, and Wind spacecraft, as well as others. Telescopes around the world turned to the site to study the aftermath, and new observations continue.

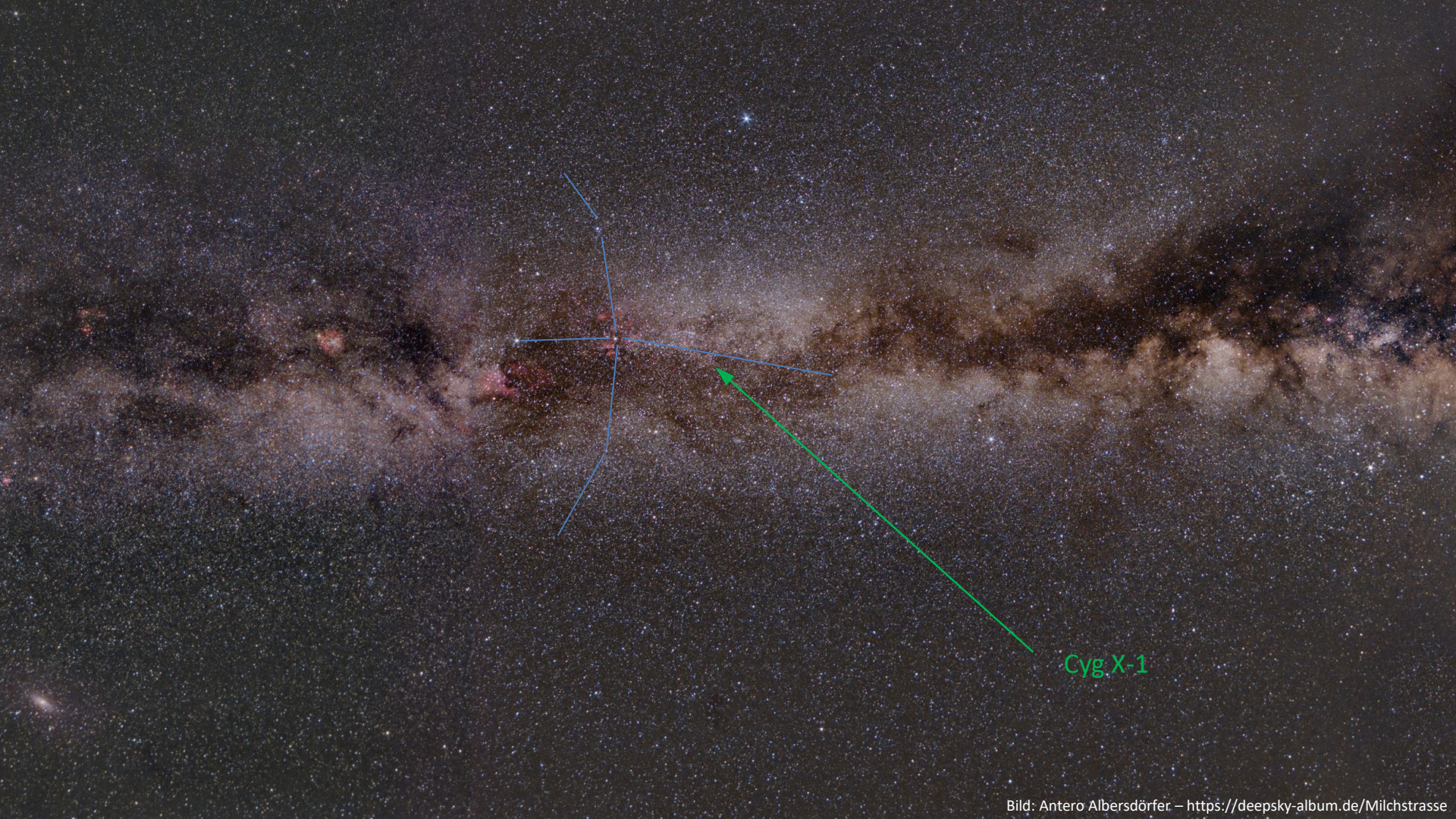


Bild: Antero Albersdörfer – https://deepsky-album.de/Milchstrasse

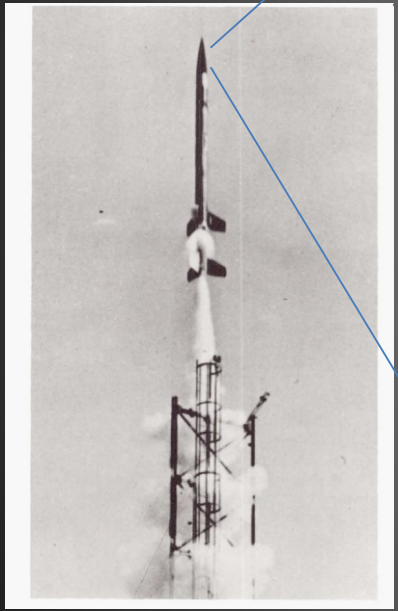
Einleitung

- Entdeckung 1964: Cygnus X-1
- Beobachteter Radioausbruch 1972
- Cygnus X-1 war Gegenstand einer Wette zwischen Stephen Hawking und Kip Thorne, in der Hawking gegen die Existenz von Schwarzen Löchern in der Region wettete. Hawking beschrieb dies später als eine Art "Versicherungspolice".
- 2021: neue Erkenntnisse deuten auf massives stellares Schwarzes Loch hin
  Science, 371 (6533), DOI: 10.1126/science.abb3363

NASA

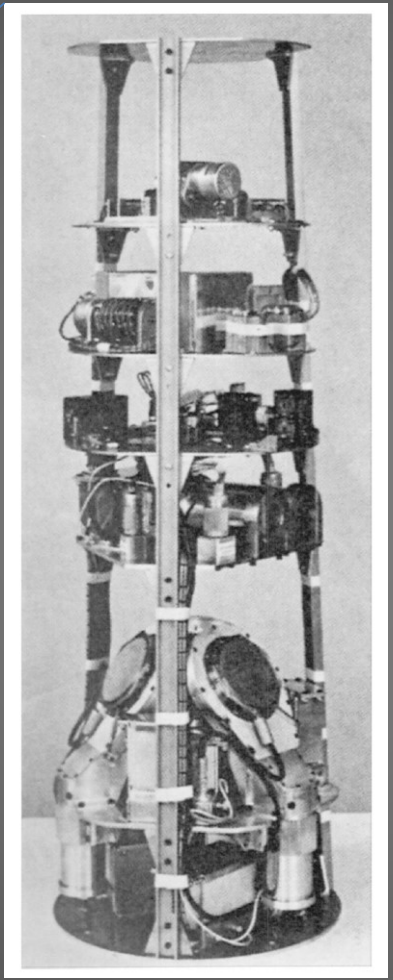
Von Keenan Pepper - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2581228

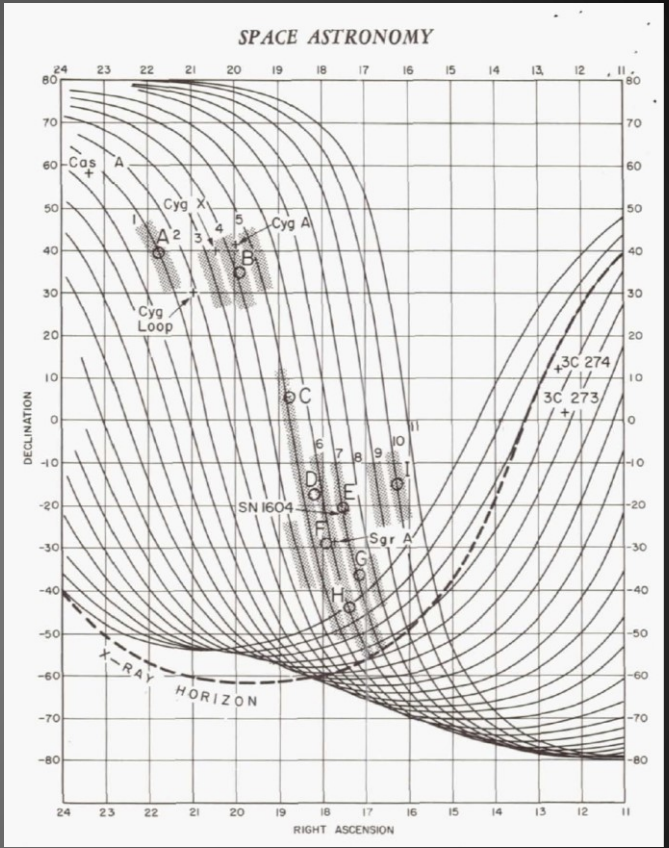
Entdeckung 1964



Start einer Aerobee 150 Rakete

Significant Achievements in Space Astronomy 1958–1964 (PDF). NASA. 1966. OCLC 988751617.



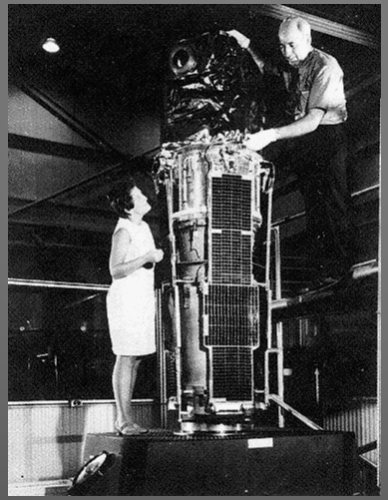


Significant Achievements in Space Astronomy 1958–1964 (PDF). NASA. 1966. OCLC 988751617.

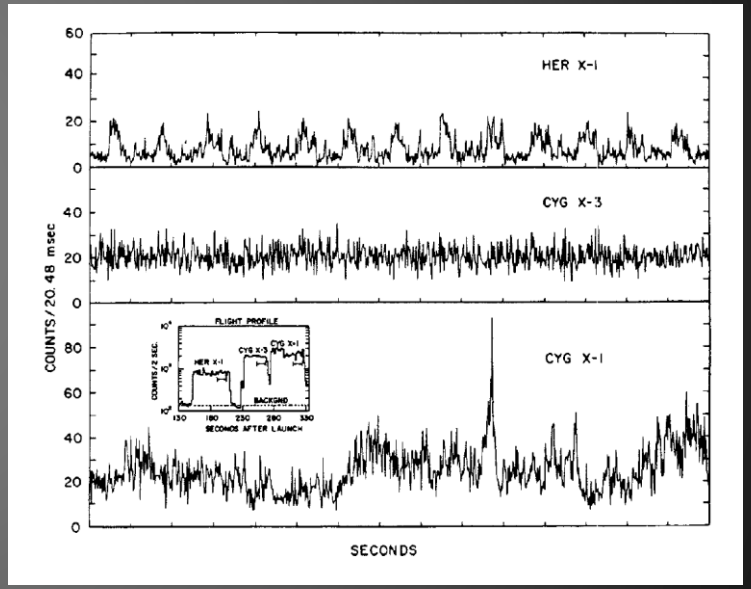
Giacconi R (2003). "Nobel Lecture: The dawn of x-ray astronomy". Rev Mod Phys. 75 (3): 995. Bibcode:2003RvMP...75..995G.

Stand ungefähr 1973/74

- Radioausbrüche und Röntgenausbrüche
- Fluktuation in der Röntgenintensität. Variabilität runter bis zu 1ms.
- Position unabhängig von zwei Teams ermittelt (HDE 226868):
  - blauer weißer Überriese vom Typ O9
  - mindestens 22 Sonnenmassen
  - 31000°K
  - kann die beobachtete Röntgen-strahlung nicht erklären!
- Hinweise auf kompaktes Objekt als Begleiter

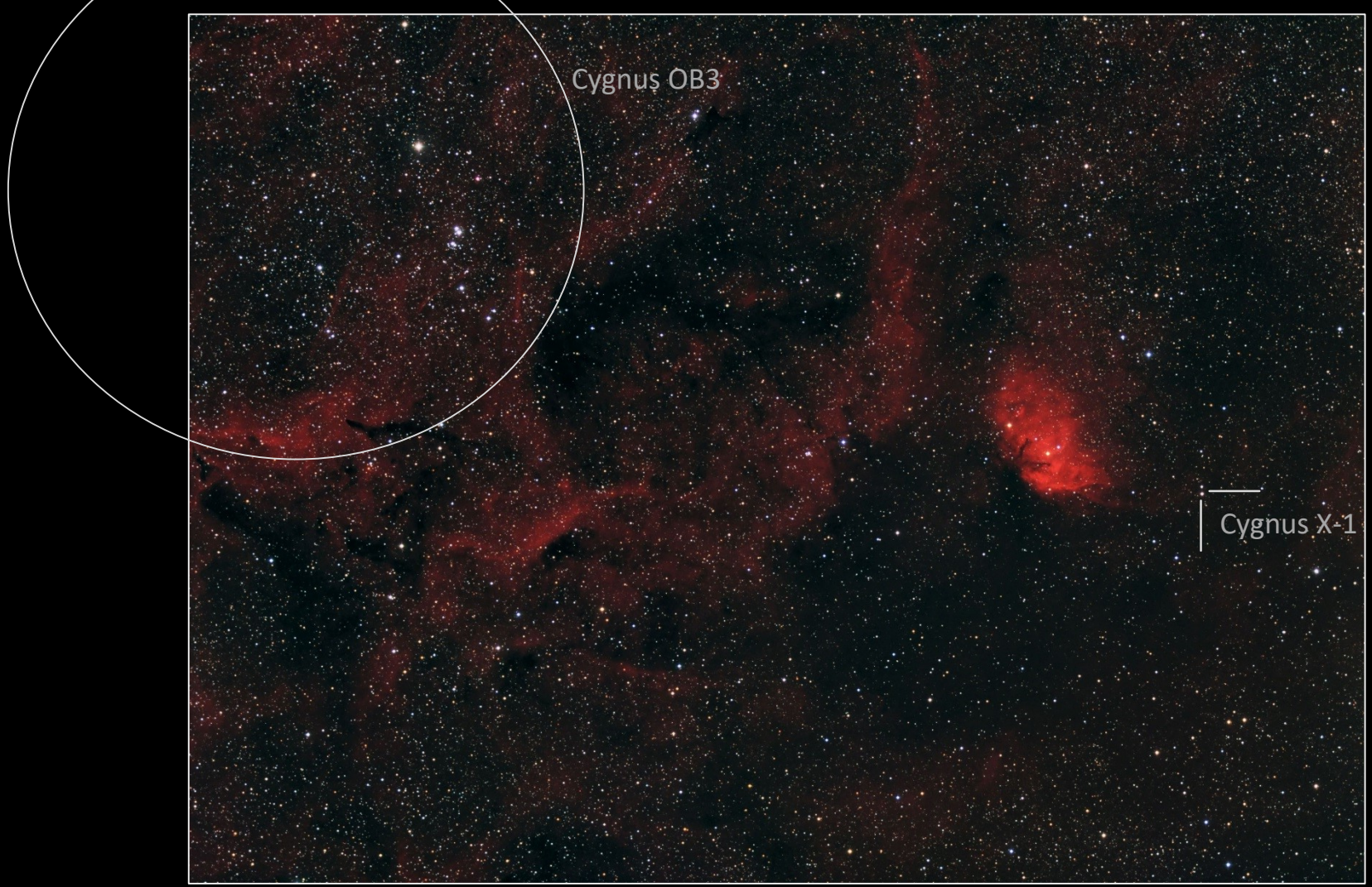


Uhuru beim “pre flight check”, NASA



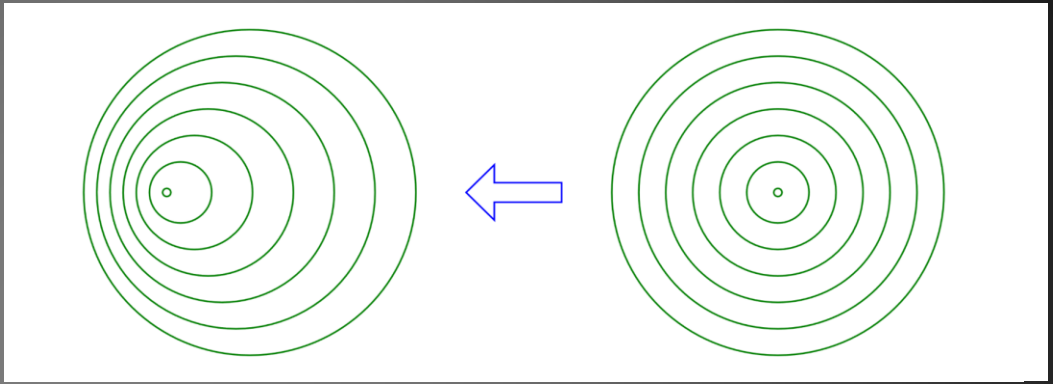
Vergleich der zeitlichen Variabilität von Her X-1, Cyg X-3 und Cyg X-1.

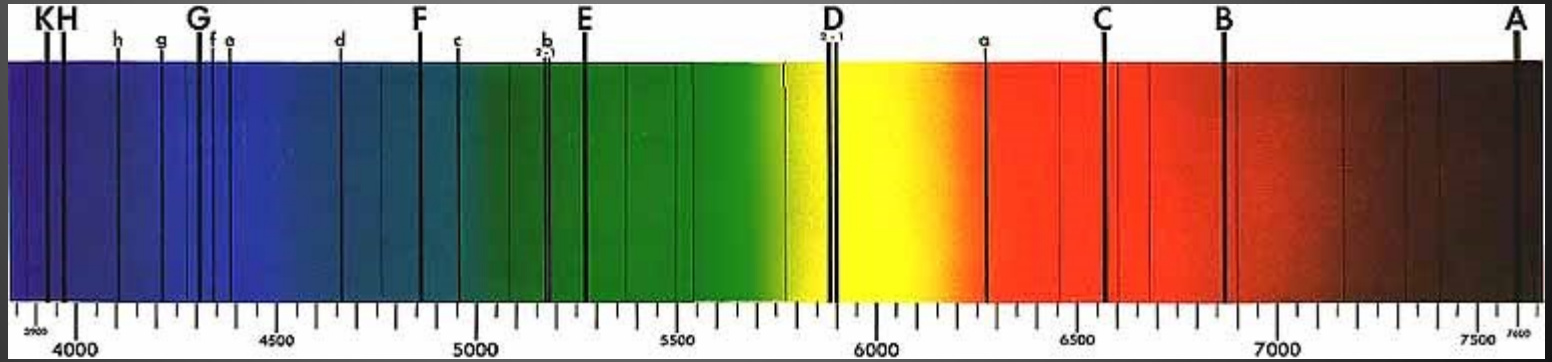
Giacconi R (2003). "Nobel Lecture: The dawn of x-ray astronomy". Rev Mod Phys. 75 (3): 995. Bibcode:2003RvMP...75..995G.


Cygnus OB3
Cygnus X-1

Dopplereffekt

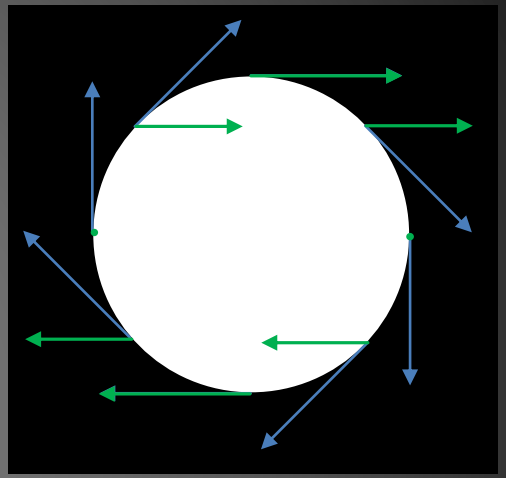
- Anwendung des Dopplereffekts auf Spektrallinien
- Genaue Vermessung der Wellenlänge ermöglicht Messung der Radialgeschwindigkeit.

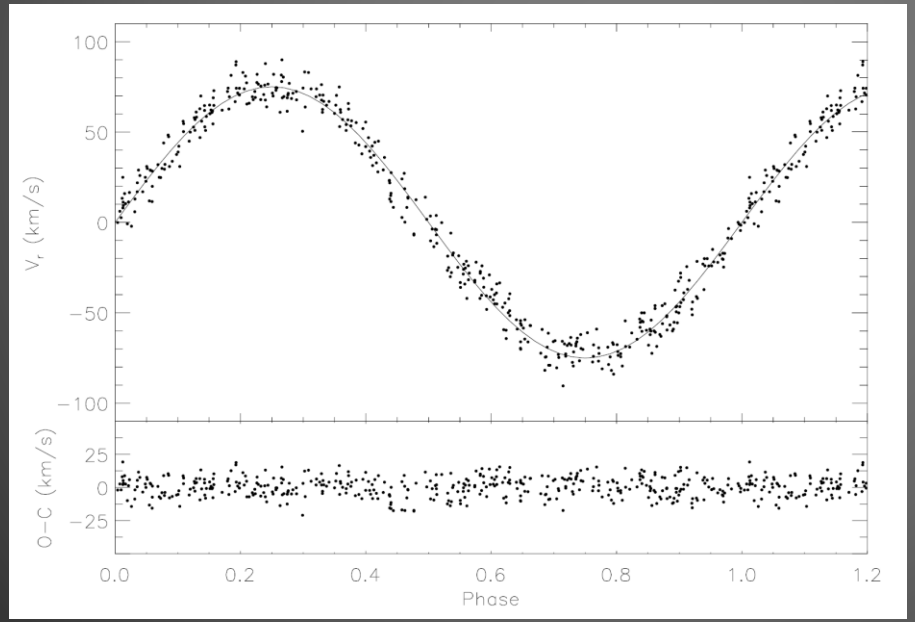




Radialgeschwindigkeit

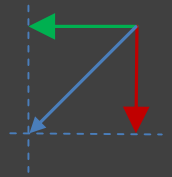
Creator/Photo-
grapher: NASA





C. Brocksopp, A. E. Tarasov, V. M. Lyuty, P. Roche, Astron.Astrophys. 343, 861 (1999).

Radialkomponente v_R (mit Dopplereffekt messbar)

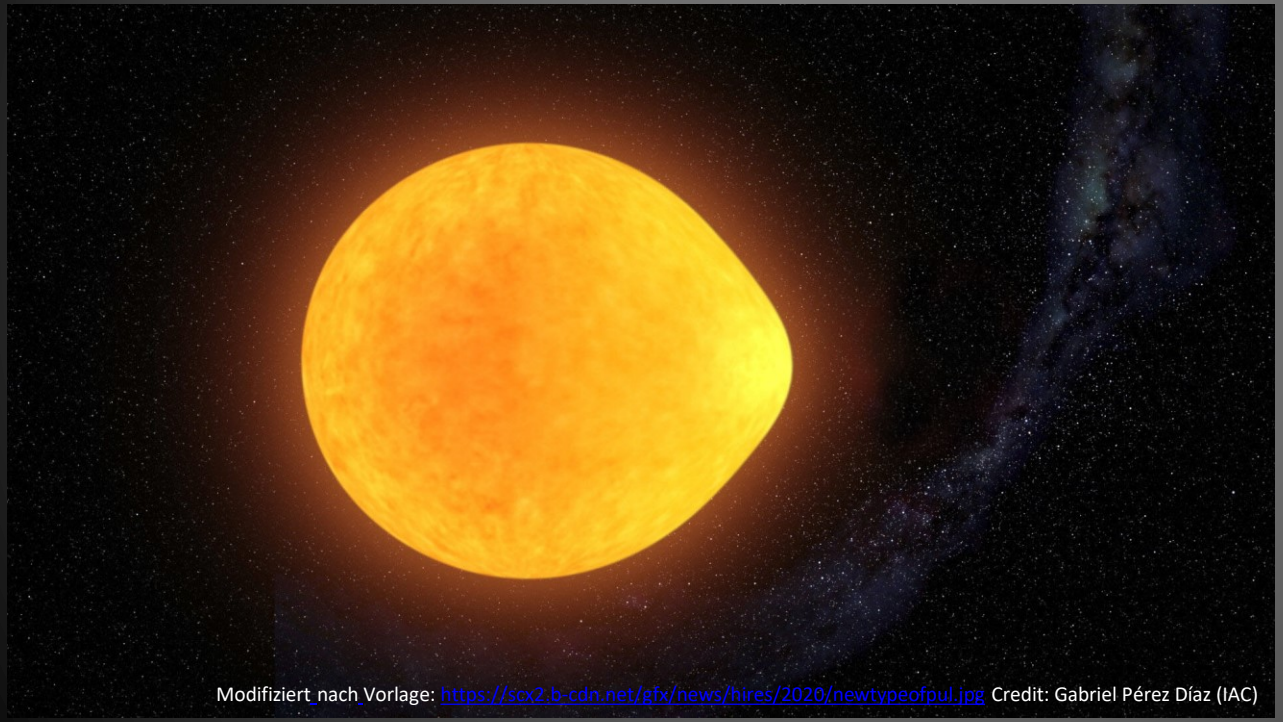


Querkomponente v_T (mit Dopplereffekt nicht messbar)

HD226868

C. Brocksopp et al., Astron.Astrophys. 343, 861 (1999)

Lichtkurve



Modifiziert nach Vorlage: https://sox2.b-cdn.net/gfx/news/hires/2020/newtypeofpul.jpg Credit: Gabriel Pérez Díaz (IAC)

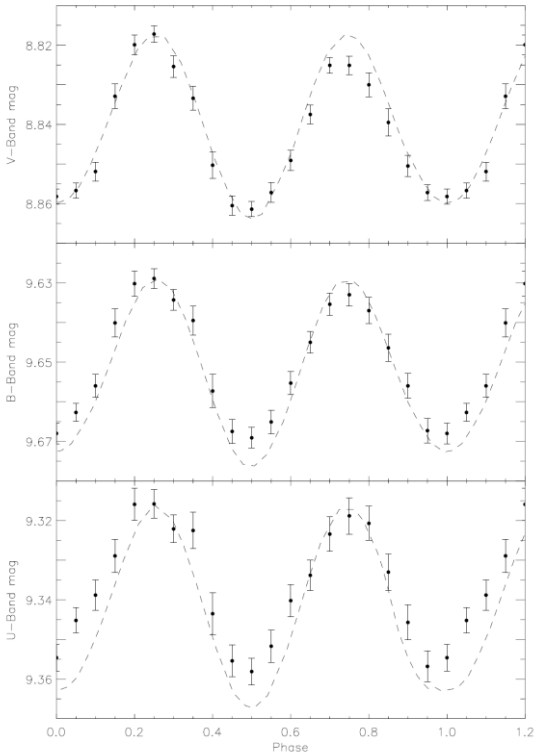


Fig. 2. Observed mean lightcurves for 1971–1997 compared with theoretical ellipsoidal curve

Chandra

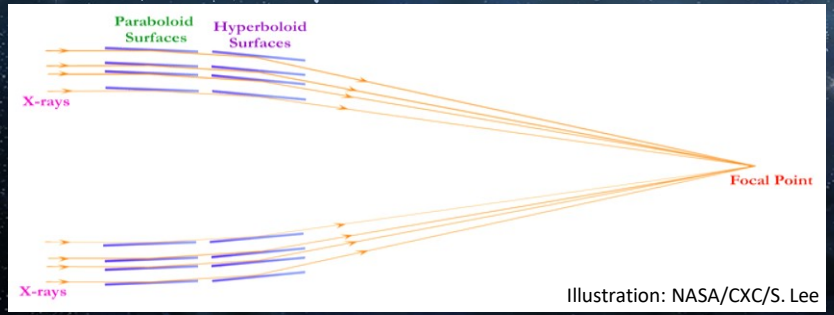
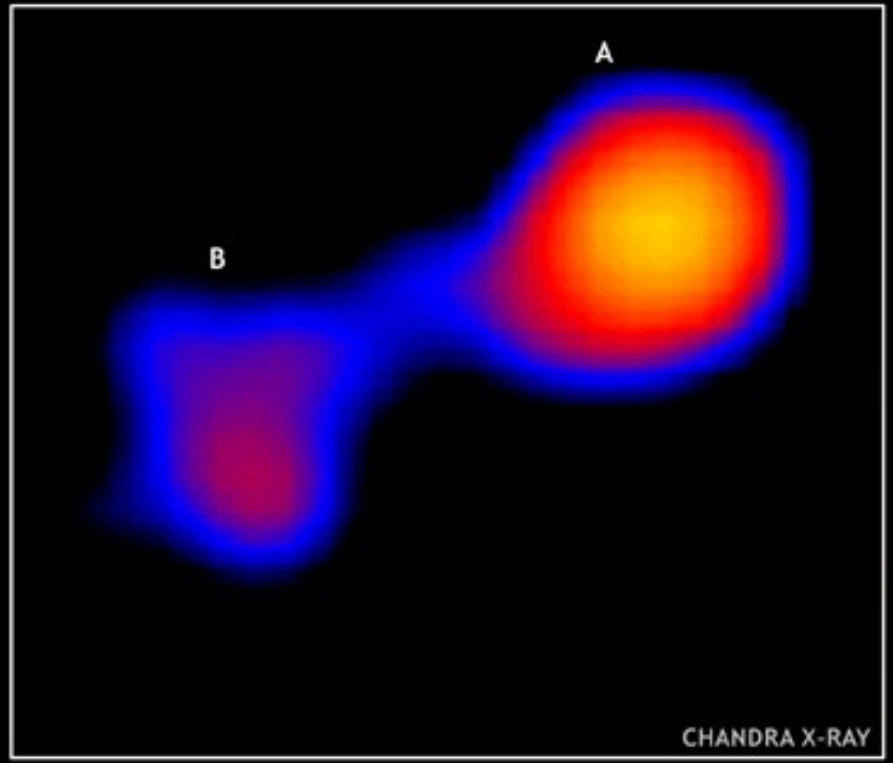


Illustration: NASA/CXC/S. Lee

Credit: NASA/CXC & J.Vaughan

A Large X-Ray Outburst in Mira A

M. Karovska *et al* 2005 *ApJ* 623 L137

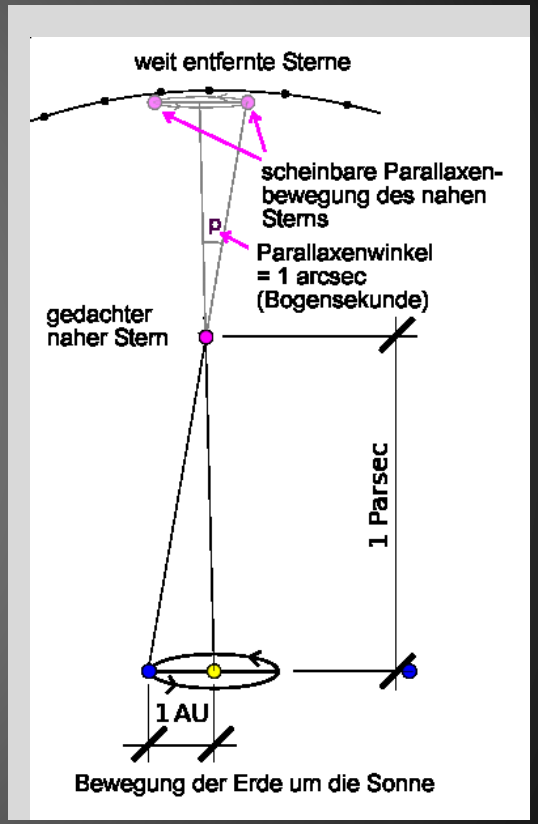


Credit: X-ray: NASA/CXC/SAO/M. Karovska et al.; Illustration: CXC/M.Weiss

Parallaxenverschiebung

Stichwort „Daumensprung

- Erdbahndurchmesser 150 Mio km
- 1 arcsec entsprich 3,26 Lj Entfernung (Definition Parsec!).
- HST: ca: 0,05 arcsec = 50 mas messen, dass entspricht ca. 65 Lj.
- Hipparcos: 2-3 mas, entspricht ca. 1200 Lj.



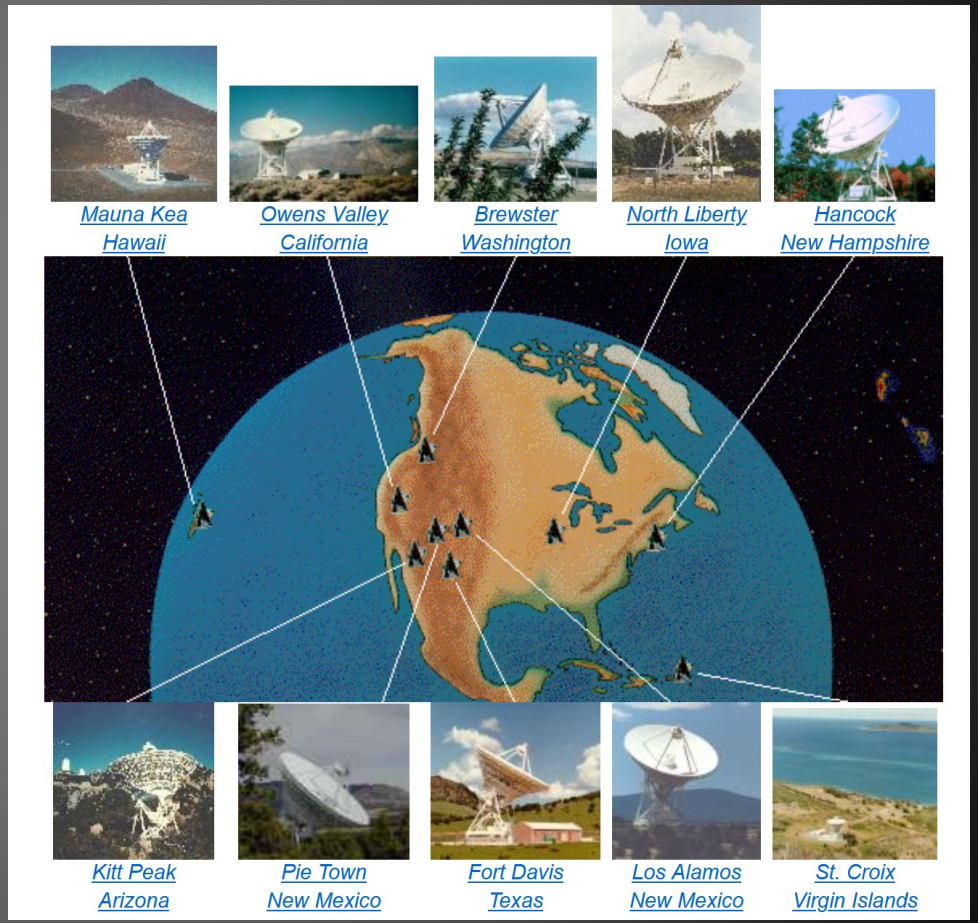
wikipedia

VLBA – Very Long Baseline Array

NRAO:
National Radio Astronomy Observatory:
science.nrao.edu

Wellenlängen: 90 cm bis 3 mm

Einfacher Ansatz:
Ein optisches Teleskop müsste 360 m Durchmesser haben, um die gleiche Auflösung zu haben wie das VLBA bei 10 mm Wellenlänge



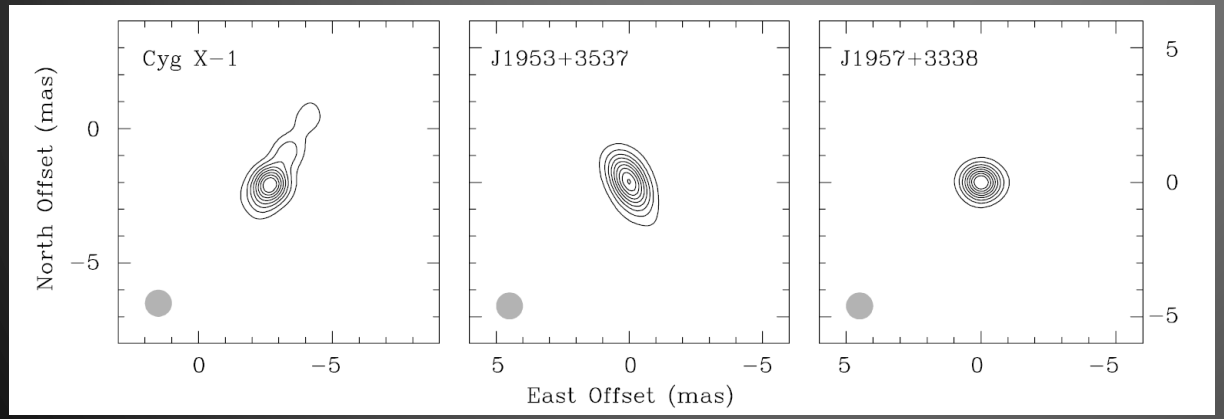
Credit: National Radio Astronomy Observatory

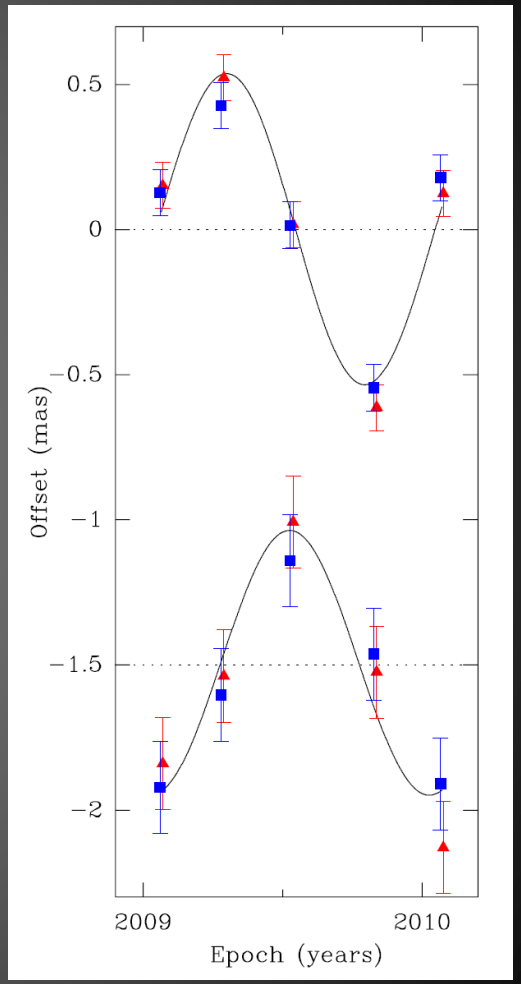
Entfernung von Cyg X-1

THE TRIGONOMETRIC PARALLAX OF CYGNUS X-1
M. J. Reid et al., Astrophys. J. 742, 83 (2011)

Parallaxe: 0,533 mas entsprechend 1,86 kpc

1 arcsec	=	1000 mas
0,001 arcsec	=	1 mas
1,86 kpc	=	6060 Lj

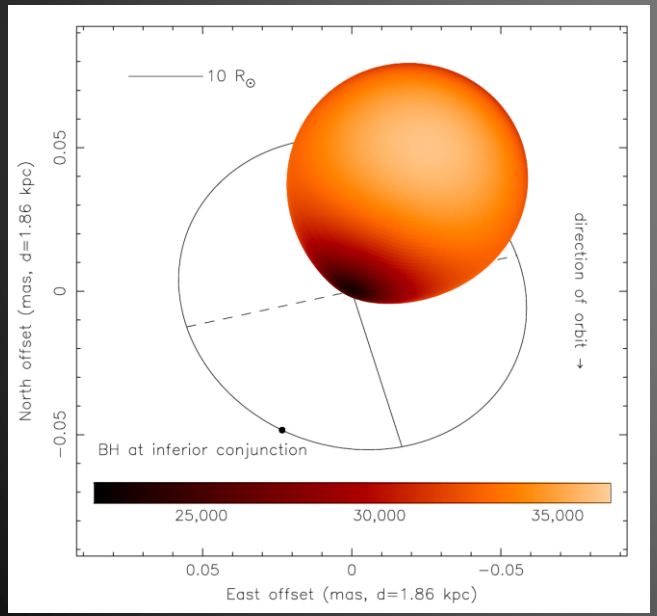




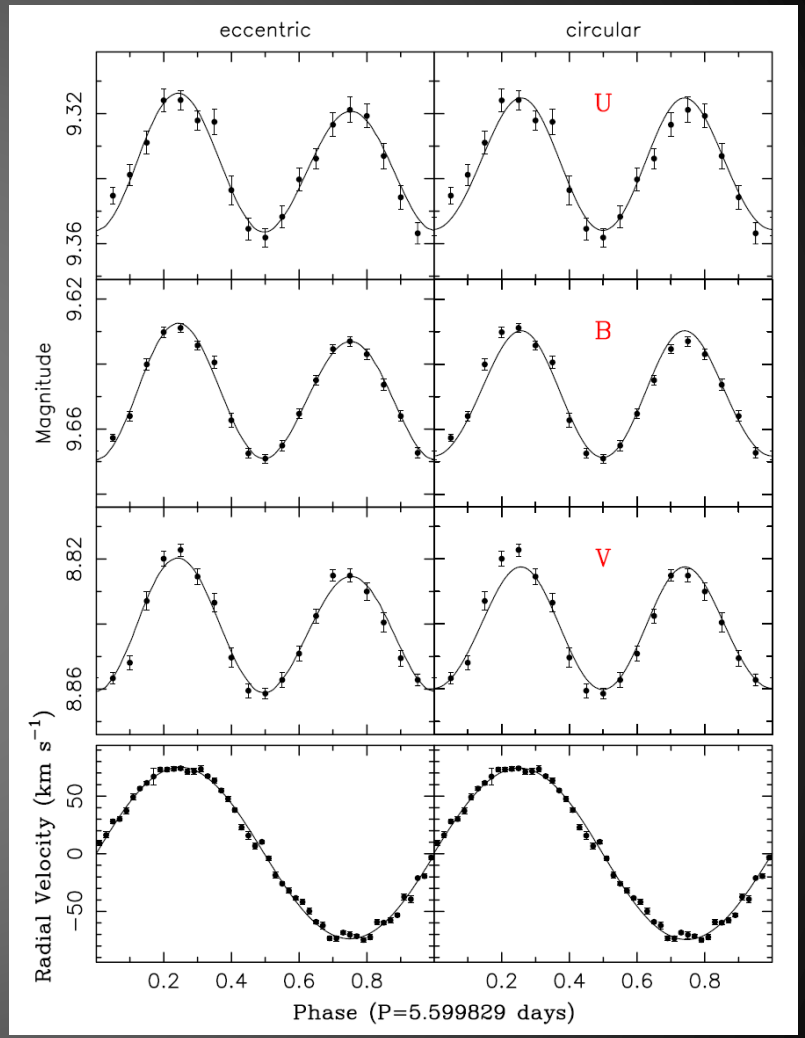
Dynamisches Modell von Cyg X-1

Kombination mit den Messungen der Radialgeschwindigkeit folgt daraus eine Masse des kompakten Begleiters von 14,8 Sonnenmassen.

J. A. Orosz et al., Astrophys. J. 742, 84 (2011)

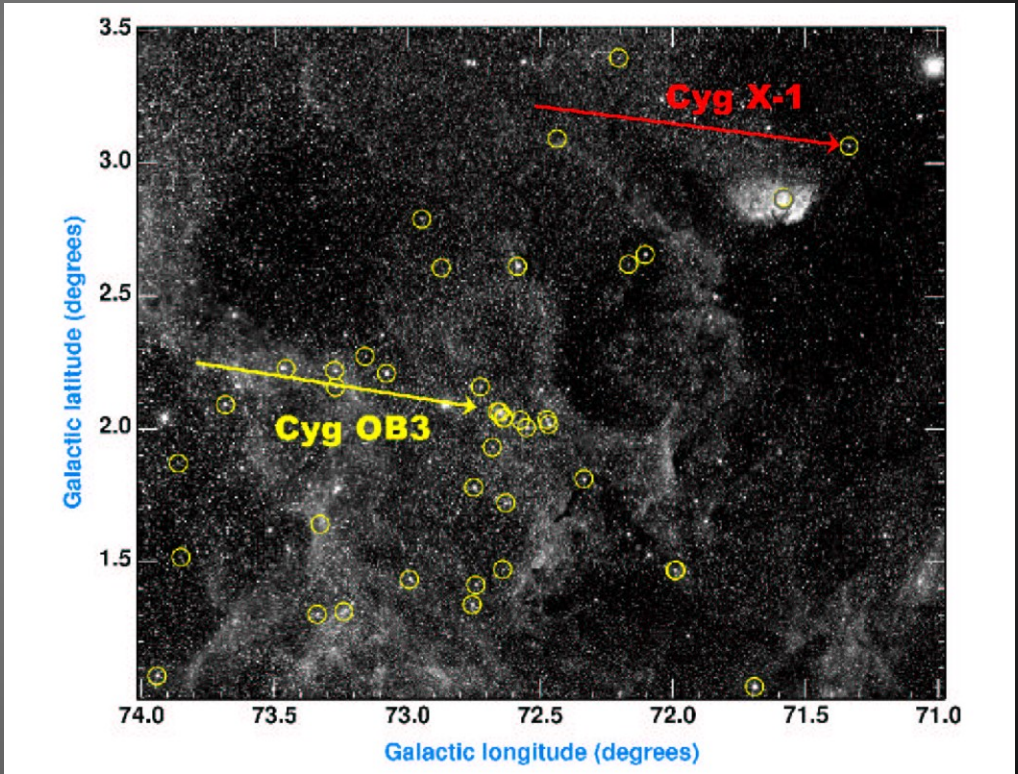


Parameter	Wert
i [°]	27,06
Ω	1,4
e	0,018
ω [°]	307
M_{opt} [$M_\odot$]	19
R_{opt} [$R_\odot$]	16
log g [cgs]	3,3
M [$M_\odot$]	14,8



Cygnus X-1
Stand 2021

- Binärsystem: Röntgendoppelstern mit hoher Masse (High-Mass X-ray Binary, HMXB).
- Erste Komponente HD226868: ein zum Ei verzerrter Riesenstern.
- Zweite Komponente: kompaktes massives unsichtbares Objekt.
- Dauer eines Umlaufes um den gemeinsamen Schwerpunkt: 5,6 Tage.
- Gehört vermutlich zur OB3 Sternassoziation.
- Anfangsmasse des Vorgängersterns: 40…100 $M_\odot$.



*Mirabel, I. Félix; Rodrigues, Irapuan (2003), "Formation of a Black Hole in the Dark", Science , **300** (5622): 1119-1120*

Ungereimtheit

Der Riese schien die Masse-Leuchtkraft-Beziehung nicht zu erfüllen.

Masse-Leuchtkraft-Beziehung:

Empirische Regel die eine einfache Beziehung zwischen der Masse und der Leuchtkraft (absolute Helligkeit) eines Sterns beschreibt.

Für „normale“ Sterne:

$$L \sim M^{3.5}$$

D.h.:

- Ein Stern der doppelt so schwer ist wie ein Anderer, ist dafür etwa 11 mal so hell!
- HD226868 mit 19 Sonnenmassen, müsste dann die 30000 fache Sonnenleuchtkraft haben. Dafür erschient er aber zu dunkel!

„Das Licht, das doppelt so hell brennt, brennt eben nur halb so lang, und du hast für kurze Zeit unglaublich hell gebrannt, Roy.“
aus: Blade Runner, 1982

ICRAR 2021

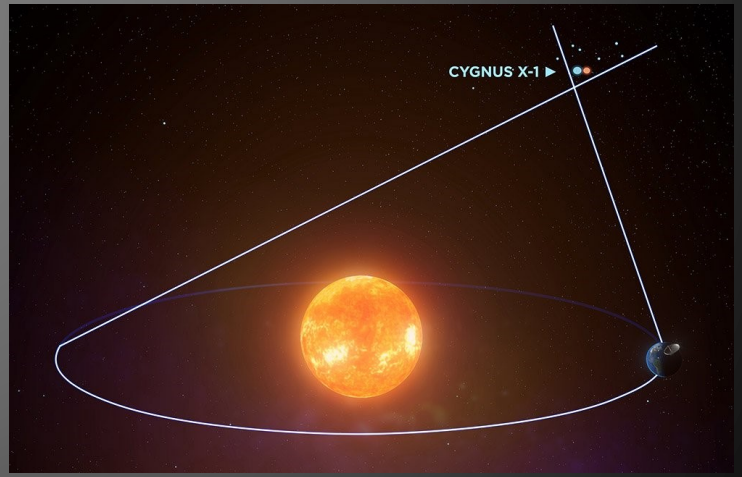
„First black hole ever detected is more massive than we thought “

‘Cygnus X-1 contains a 21-solar mass black hole – implications for massive star winds’, Science, 371 (6533), DOI: 10.1126/science.abb3363

James C. A. Miller-Jones u.v.a.m

International Centre for Radio Astronomy Research, Australien: https://www.icrar.org/

- Erneute Verwendung „alter“ VLBA Messungen
- Eigene VLBA Messungen aus 2016
- Berücksichtigung der Radiowellenabsorption im Sternenwind
- Dynamisches Modell, ähnlich Orosz 2011



Credit: International Centre for Radio Astronomy Research.

Vergleich der Dynamischen Modelle 2011 - 2021

Parameter	Orosz, 2011	Miller, 2021
Entfernung [kpc]	1,68	2,22
i [°]	27,06	27,51
Ω	1,4	1,05
e	0,018	0,0189
ω [°]	307	306,6
M_{opt} [$M_\odot$]	19	40,6
R_{opt} [$R_\odot$]	16	22,3
log g [cgs]	3,3	3,348
M [$M_\odot$]	14,8	21,2

„Der“ Eingangsparameter für dynamisches Modell.

Ergebnisse des dynamischen Modells „Form und Lage der Bahn im Raum“.

Abgeleitet aus der Umlaufszeit (5,6 d) unter Verwendung der Ergebnisse des dynamischen Modells.

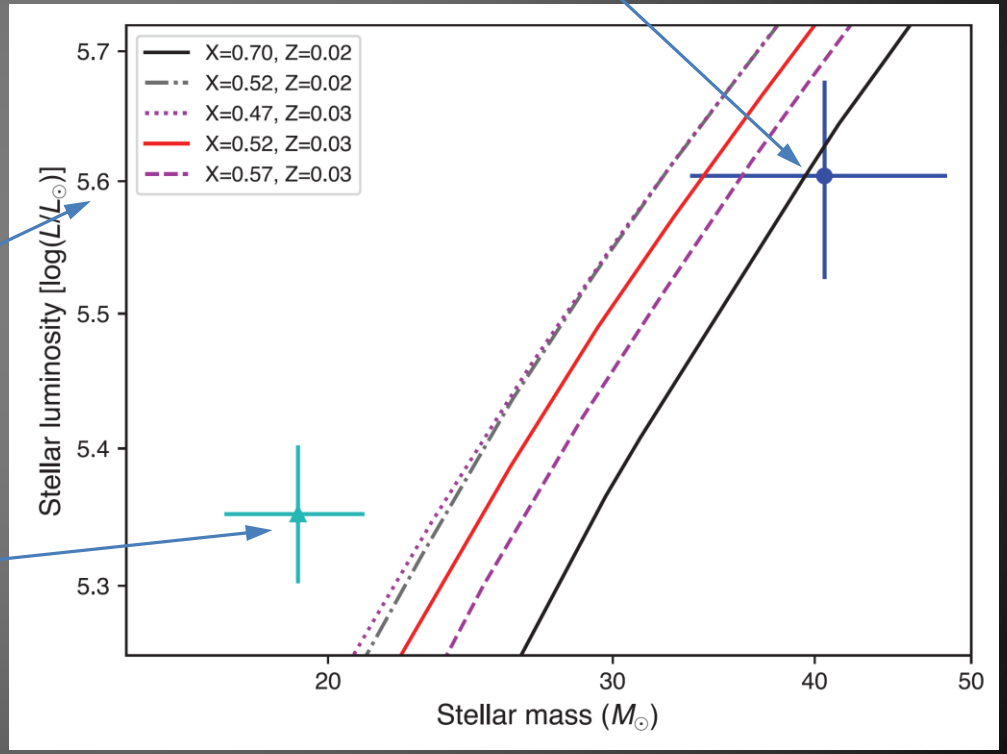
Masse-Leuchtkraft-Beziehung passt besser

Miller, 2021

———	Standardzusammensetzung
———	Erhöhte Metallizität
… / -.-.	Variation des Heliumanteils

$10^{5.6}\ L_\odot = 400000\ L_\odot$

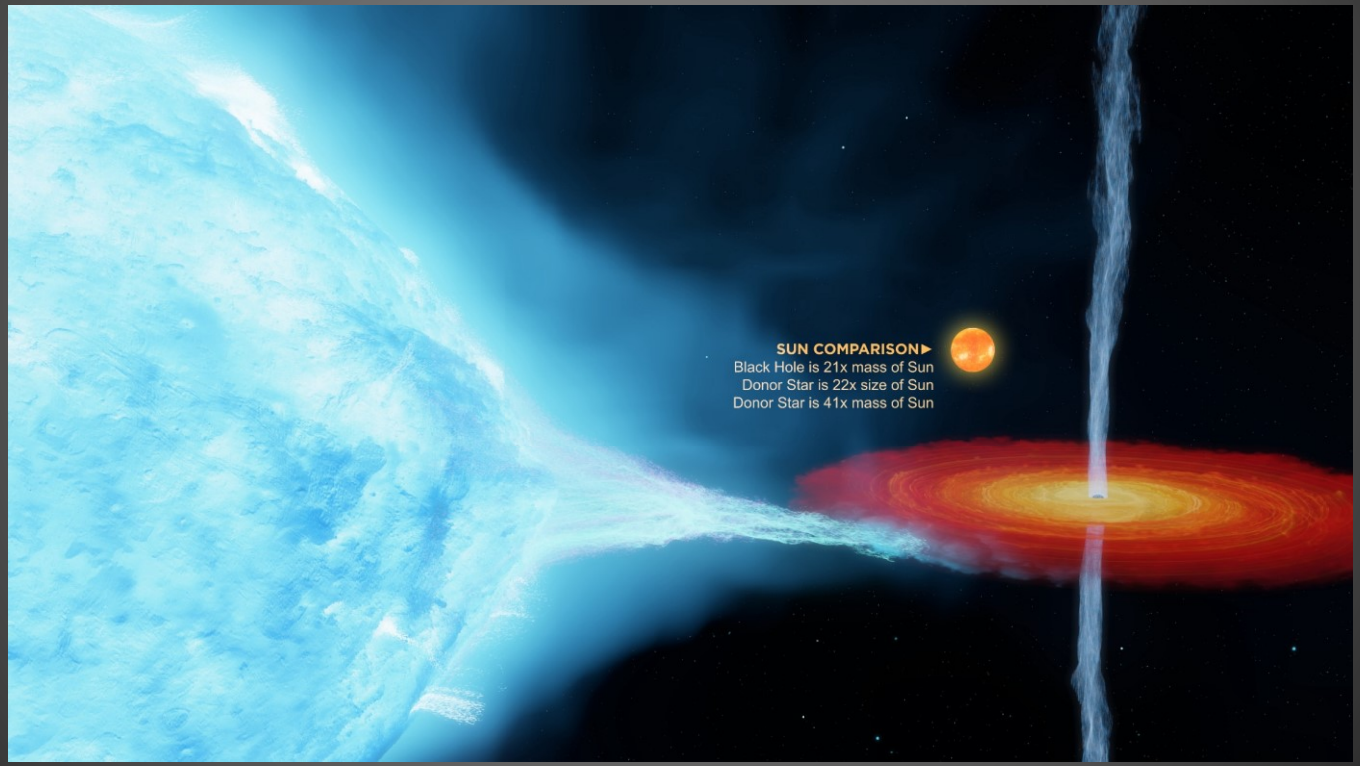
Orosz, 2011



Miller et.al., Science, 371 (6533)

künstlerische Darstellung von Cyg X-1

ICRAR 2021



Credit: International Centre for Radio Astronomy Research.

Credit: International Centre for Radio Astronomy Research.

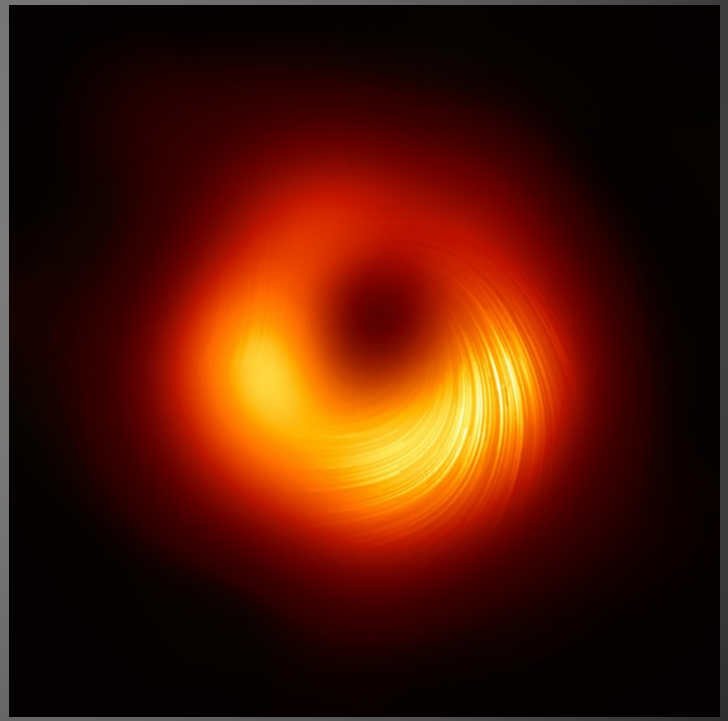
Der Jet vom M87

- M87 im Virgo Haufen
- HST Komposit V und IR
- 54 MLj entfernt
- 10^{12} Sterne und 150000 Kugelsternhaufen (Milchstraße: 10^9 / 150)
- SL im Zentrum $65*10^9\ M_\odot$

Credits: NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA);
Acknowledgment: P. Cote (Herzberg Institute of Astrophysics) and E. Baltz (Stanford University)

Pseudobild vom Schwarzen Loch im Zentrum von M87

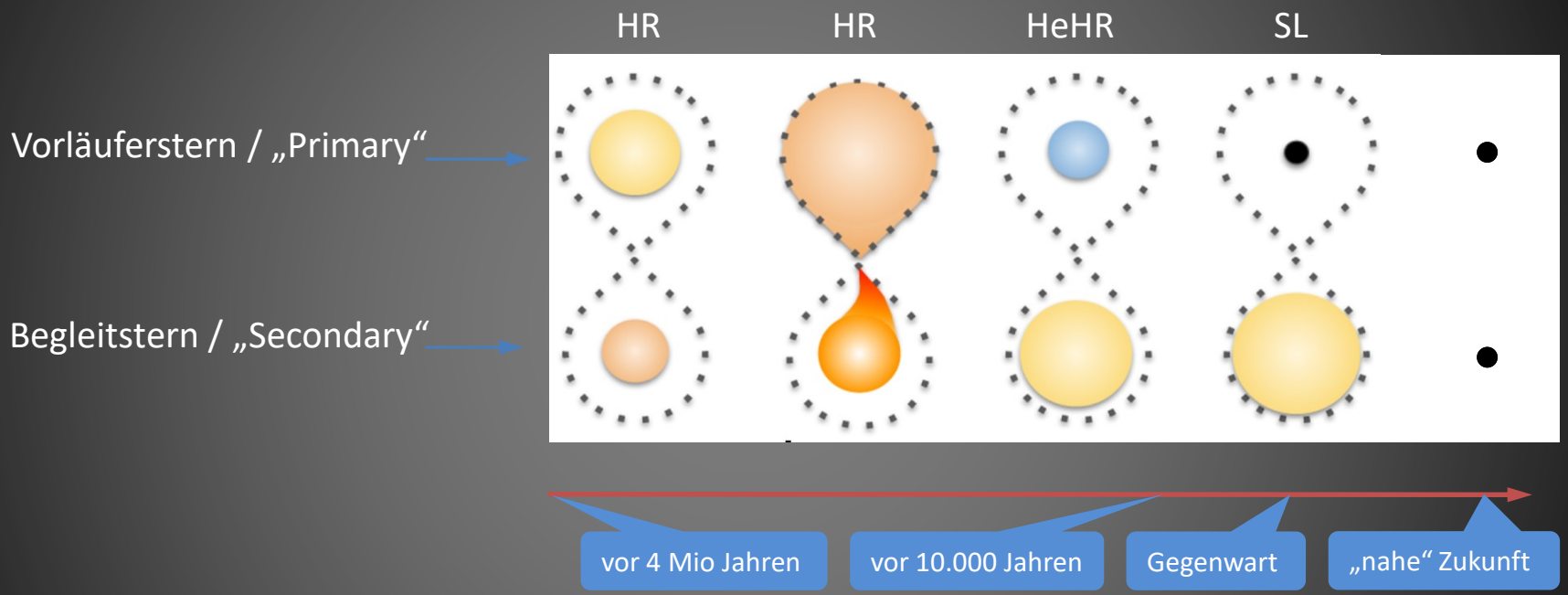
April 2019: Intensitätsverteilung



März 2021: mit Polarisationsrichtung

Credits: EHT Collaboration

Entwicklung des Systems Cyg X-1



HR: Stern auf Hauptreihe des HRD (Hauptsequenz)

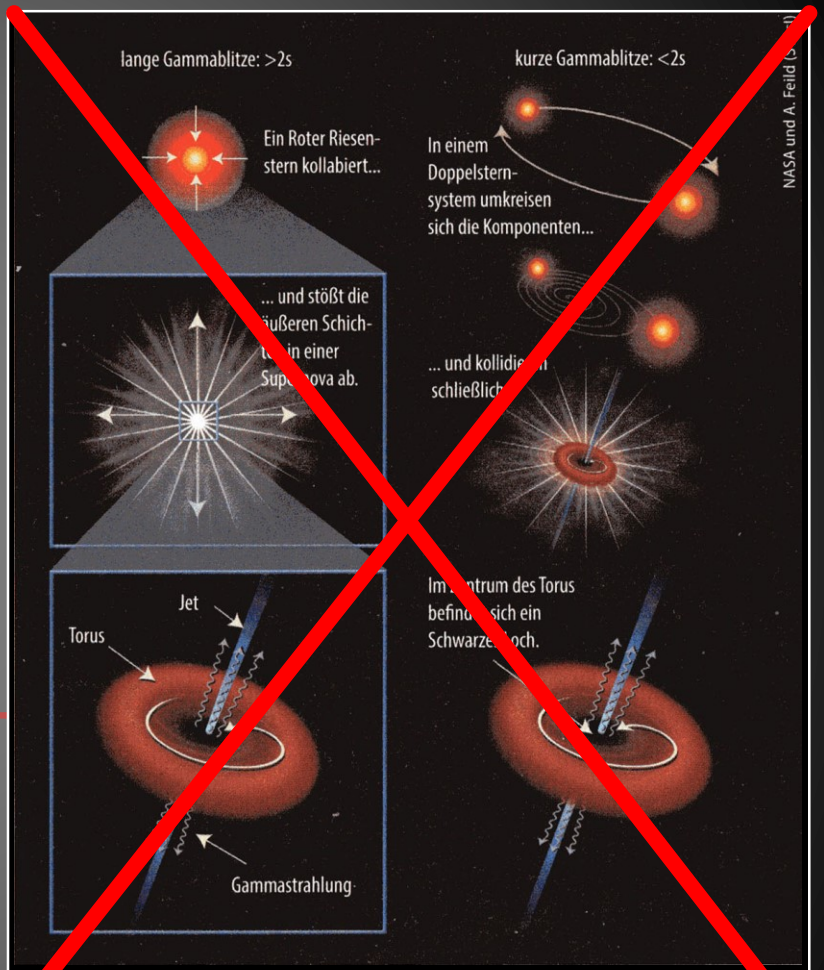
HeHR: Stern auf der „Hauptreihe mit erhöhtem Heliumanteil“ des HRD (Helium-Hauptsequenz)

SL: Schwarzes Loch

Wind Mass-loss Rates of Stripped Stars Inferred from Cygnus X-1
Coenraad J. Neijssel *et al* 2021 *ApJ* **908** 118

Zukunft des Systems Cyg X-1

ferne Zukunft?



Physik Journal 21 (2022): Greiner, Geheimnisvolle Ausbrüche

Linkliste

GRB221009:
https://www.nzz.ch/wissenschaft/hellster-gammablitz-aller-zeiten-hinweis-auf-unbekannte-teilchen-ld.1710003
https://www.sciencenews.org/article/boat-brightest-gamma-ray-burst-supernova
https://www.nasa.gov/feature/goddard/2022/nasa-s-swift-fermi-missions-detect-exceptional-cosmic-blast

Miller-Jones et.al, Science, 371 (6533):
https://www.science.org/doi/10.1126/science.abb3363
https://www.icrar.org/biggest-black-hole/

Alpha Centauri / Harald Lesch :
https://www.ardmediathek.de/video/alpha-centauri/was-ist-cygnus-x1/ard-alpha/Y3JpZDovL2JyLmRlL3ZpZGVvLzViMWRlNGZhLTljOWItNGQwMS04OWI1LTE5MmViODZlNGNkZQ

M87:
https://science.nasa.gov/m87s-central-black-hole-polarized-light

Cygnus X-1

Ein Röntgendoppelsternsystem als Labor für Astrophysik

Die Folien dieses Vortrages zum Nachschauen:
www.photonenfangen.de/download

Kai Wicker, Bremen