

Vortrag

**„Phänomenologie von Novae und
Röntgenblitzen“**

von

Andreas Marek

zum Seminar

„ Kosmische Explosionen“ im SS 02

Was sind Novae und wie kommt es dazu?

Novae sind

thermonukleare „Explosionen“ auf WD in einem Binärsystem, die durch Massenakkretion (vor allem Wasserstoff) von einem großen „alten“ Begleitstern „getriggert“ werden.

Dazu muss:

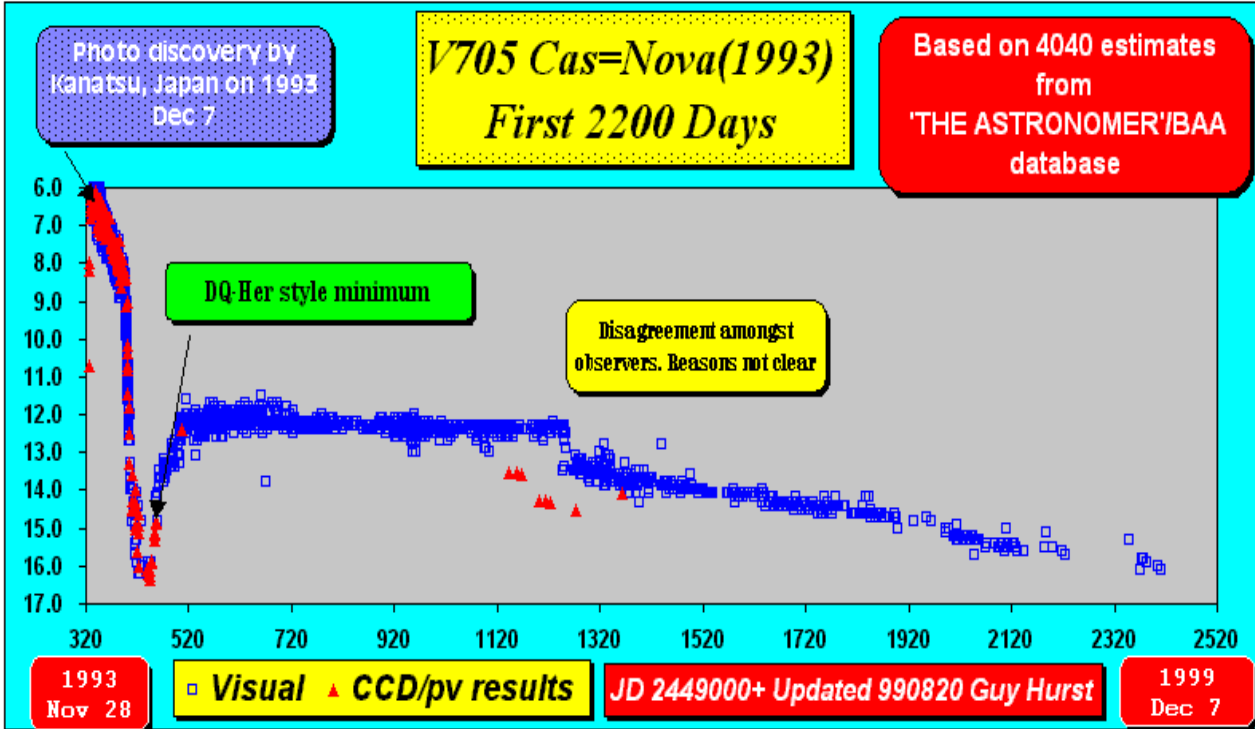
- der Begleitstern so groß sein, dass er seine Rocheschleife ausfüllt
- genug Materie im Laufe der Zeit akkretiert werden, dass es zu einem kritischen Druck auf der Oberfläche des WD kommt

Dann kommt es zu

- einer schnellen Verbrennung des Wasserstoff (TNR), gefolgt von einem Temperaturanstieg der auch Fusion schwerer Elemente ermöglicht
 - ⇒ Fusion von schweren Elementen (z.B C, S, Ne) und Auswurf von Materie in Ejecta
 - ⇒ Höhere Metallhäufigkeiten als im Sonnensystem
- der auf dem WZ verbliebenen Wasserstoff brennt bei konstanter bolometrischer Luminosität weiter, bis er verbraucht ist („turn-off time“)
- dann gradueller Rückgang auf Luminosität vor Ausbruch

Eventuell wiederholt sich dann der gesamte Vorgang wieder ...

Visuelle Lichtkurve einer Nova:



Wie beobachtet man Novae und was kann man daraus lernen?

Wie immer gilt:

Beobachtung möglichst im gesamten zugänglichen Spektrum:

Optisch	=> Beitrag zur Luminosität
UV-, IR – Spektroskopie	=> Elemente und Häufigkeit
Röntgenstrahlung	=> Entwicklung des WZ (oft sonst unsichtbar)
γ -Linien	=> Isotopenhäufigkeit z.B. ${}^7\text{Be} \rightarrow {}^7\text{Li}$ (noch nicht beobachtet)

Diese Daten können dann Bedingungen und Einschränkungen an die Theorie stellen

Beispiel:

Bestimmung der Turn-off-Zeiten aus UV, und Röntgenbeobachtungen

Zeitskala:

$$\text{Brenndauer} = \tau_{\text{nuk}} = 250 \text{ yr} \frac{\frac{M_{\text{env}}}{10^{-4} M_{\text{Sonne}}}}{\frac{L_{\text{shell-burning}}}{3 \cdot 10 L_{\text{Sonne}}}}$$

=> weitere Mechanismen die Masse auswerfen ?

Table 3. Turn-off times of the objects in the sample

Nova	UV Turn-off time (years)	X-ray Turn-off time (years)	Turn-off time (years)
V1668 Cyg	< 1.3		< 1.3
PW Vul	1.6–1.7	< 7	≈ 1.7
QU Vul	> 4.7	< 6.5	4.7–6.5
V842 Cen	≤ 3.4	< 6	≤ 3.4
OS And	≤ 0.9	< 6	≤ 0.9
QV Vul	< 3.5	< 4	< 3.5
V443 Sct	0.9–2.5	< 3	0.9–2.5
V838 Her	0.3–2.3	≈ 0.5	≈ 0.5
V351 Pup	2.1–2.9	≈ 2	≈ 2
V705 Cas	> 1.8		> 1.8
LMC 88 No. 1	> 1.2	< 4	1.2–4
LMC 88 No. 2	0.7–2.1	< 3	0.7–2.1
LMC 91	> 0.9		> 0.9

„Steckbrief“ einer Nova

Häufigkeit :	35 ± 11 pro Jahr (unsere Galaxie)
Zeitskala:	Monate
M_{ejected}	ca. $10^{-4} M_{\text{Sonne}}$
v	400 – 2000 km/s
E_{out}	$10^{45} - 10^{47}$ erg/yr

Prinzipiell bringt man Novae mit **Population I** Sternen in Verbindung

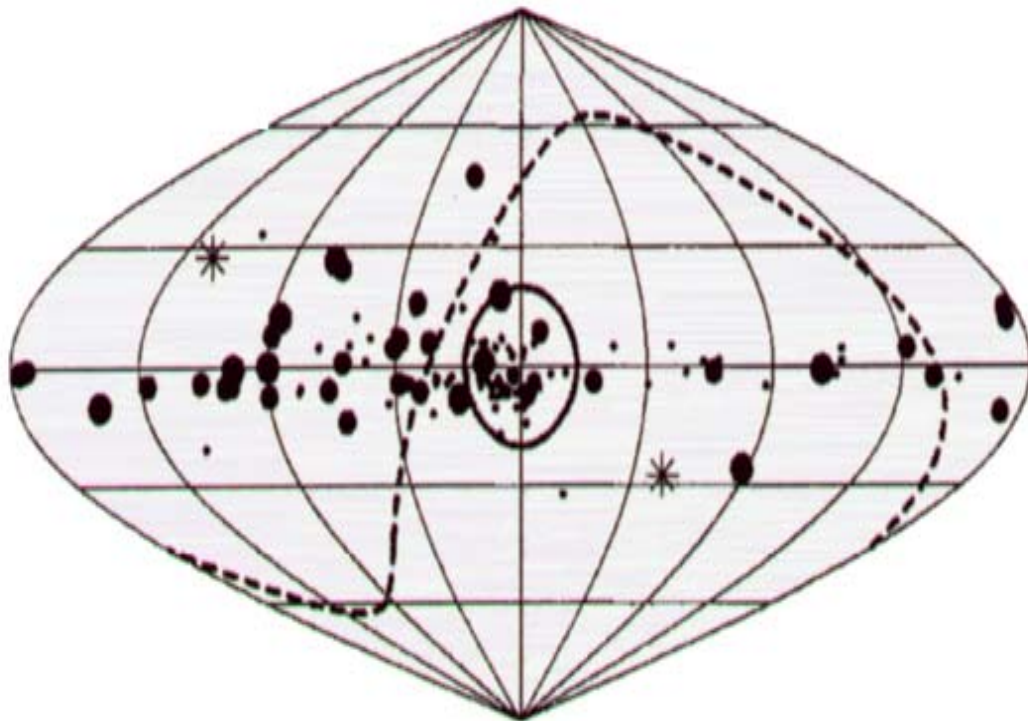
- da die WZ schwere Elemente enthalten müssen

Aber: **räumliche Verteilung unklar**

Denn:

Messungen in **M31** sprechen für Bulge

In unserer Galaxie: Scheibe?



Gemessene Verteilung von 140 klassischen Novae (Hatano et al. 1997)

2 Klassen von Novae und der Selektionseffekt

Aus spektroskopischen IR- Untersuchungen unterscheidet man zwei Arten von Novae:

CO – Novae:	Enthalten eine hohe Konzentration an C,O in den Ejecta
-------------	--

Ne – Novae:	Enthalten eine hohe Konzentration von Ne in Ejecta
-------------	--

Man geht davon aus, dass CO –Novae auf WZ stattfinden, deren Atmosphäre viel C,O enthält, entsprechend bei Ne – Novae

Wahrscheinlich gilt:

CO – Nova: $M_{WD} < 1,2 M_{Sonne}$

Ne – Nova: $M_{WD} > 1,2 M_{Sonne}$

Ca. $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$ aller beobachteten Novae sind vom Ne-Typ

Häufigkeit[WD($m < 1,2 M_{Sonne}$)] > Häufigkeit[WD($m > 1,2 M_{Sonne}$)]

aber

$$\langle m_{Nova} \rangle \cong 1,3 M_{Sonne}$$

Dies ist möglich, da ein schwerer WZ weniger Masse akkretieren muss, bis P_{crit} erreicht wird:

$$M_{WD}^{1/3} \cdot R_{WD} = const.$$

$$\Rightarrow M_{envl} \propto P_{crit} \cdot M_{WD}^{-7/3}$$

wenn gilt:

$$P_{crit} = \frac{GM_{WD}M_{ENV}}{4\pi R_{WD}^4}$$

Phänomenologische Entwicklung der CO-, und Ne - Novae

CO – Novae

Ne – Nova

Akkretion von Materie bis
zum kritischen Druck

Zündung des TNR =>

Rapider Anstieg der Luminosität
(oft über Eddington Limit)

Heiße Ejecta sind als „Feuerball“ zu sehen

Viel Masse in Schale

=> langsamere Ejecta

=> Staub Bildung

Bildung eines C-„Kokons“

=> thermische IR
(Einbruch der visuellen Lichtkurve)

- „Grain“ - Bildung

=> Messung von Isotopenhäufigkeiten
in Novae in Meteoriten?

weniger Masse

=> schnelle Ejecta

=> kein Staub

hochionisierte Gase

Rekombination
=> verbotene IR - Linien

New Novae

TABLE 1
Heavy Element Abundances (by Mass Fraction) in Novae from Optical Spectroscopy

Object	Year	Ref.	He	He	C	N	O	Ne	Na-Fe	Z	(Z/Z _⊙)	(Ne/N _⊙)	[Ne/Z]
T Aur	1891	4	0.47	0.40	0.0039	0.079	0.051	0.011		0.13	6.8	6.3	13.5
RR Pic	1925	13	0.53	0.43	0.0058	0.022	0.0058			0.043	2.3		
DQ Her	1934	15	0.34	0.095	0.045	0.23	0.29			0.57	30.		
DQ Her	1934	7	0.27	0.16	0.058	0.29	0.22			0.57	30.		
HR Del	1967	12	0.45	0.48	0.027	0.047	0.047	0.0030		0.077	4.1	1.7	2.0
V1500 Cyg	1975	3	0.49	0.4	0.070	0.075	0.13	0.023		0.30	16.	13.	4.0
V1500 Cyg	1975	6	0.57	0.2	0.058	0.041	0.050	0.0099		0.16	8.4	5.6	3.3
V1668 Cyg	1978	11	0.45	0.23	0.047	0.14	0.13	0.0068		0.32	17.	3.9	1.1
V1668 Cyg	1978	1	0.45	0.32	0.070	0.14	0.12			0.33	17.		
V693 CrA	1981	14	0.29	0.33	0.046	0.080	0.12	0.17	0.016	0.39	21.	97.	23.
V693 CrA	1981	1	0.16	0.18	3.5078	0.14	0.21	0.26	0.030	0.66	35.	148.	21.
V1370 Aql	1982	10	0.053	0.08	0.335	0.14	0.051	0.52	0.11	0.86	45.	296.	32.
V1370 Aql	1982	1	0.044	0.1	0.050	0.19	0.037	0.56	0.017	0.86	45.	296.	34.
GQ Mus	1983	5	0.27	0.32	0.016	0.19	0.19	0.0034	0.0068	0.41	22.	1.9	0.073
PW Vul	1984	8	0.69	0.27	0.0033	0.049	0.014	0.00066		0.067	3.5	0.38	0.52
PW Vul	1984	5	0.54	0.38	0.032	0.1	0.038			0.18	9.5		
PW Vul	1984	1	0.47	0.23	0.073	0.14	0.083	0.0040	0.0048	0.30	16.	2.3	0.70
QU Vul	1984	9	0.30	0.60	0.0013	0.018	0.039	0.040	0.0049	0.10	5.3	23.	21.
QU Vul	1984	1	0.33	0.36	0.0095	0.074	0.17	0.086	0.063	0.40	21.	40.	11.
QU Vul	1984	2	0.36	0.13	0.0095	0.071	0.19	0.18	0.0014	0.44	23.	100.	22.
V842 Cen	1986	1	0.41	0.23	0.12	0.21	0.030	0.00090	0.0038	0.36	19.	0.51	0.13
V827 Her	1987	1	0.36	0.29	0.087	0.24	0.016	0.00066	0.0021	0.35	18.	0.38	0.099
QV Vul	1987	1	0.68	0.27	0.010	0.010	0.041	0.00099	0.00096	0.053	2.8	0.56	0.98
V2214 Oph	1988	1	0.34	0.26	0.010	0.010	0.060	0.017	0.015	0.40	21.	9.7	2.2
V977 Sco	1989	1	0.51	0.3	0.042	0.042	0.030	0.026	0.0027	0.10	5.3	15.	14.
V433 Sct	1989	1	0.49	0.45	0.053	0.053	0.0070	0.00014	0.0017	0.062	3.3	0.80	0.12
V351 Pup	1991	16	0.37	0.25	0.0056	0.076	0.19	0.11		0.38	20.	63.	15.
V1974 Cyg	1992	2	0.17	0.2	0.051	0.073	0.25	0.10	0.066	0.54	29.	59.	10.

Σ=28

References. 1: Andreä et al. 1994; 2: Austin et al. 1996; 3: Ferland and Shields 1978; 4: Gallagher et al. 1980; 5: Hassall et al. 1990; 6: Lance et al. 1988; 7: Petitjean et al. 1990; 8: Saizar et al. 1991; 9: Saizar et al. 1992; 10: Snijders et al. 1987; 11: Stieckland et al. 1981; 12: Tylenda 1978; 13: Williams and Gallagher 1979; 14: Williams et al. 1985; 15: Williams et al. 1978; 16: Saizar et al. 1996.

Der Beitrag zur chemischen Entwicklung ?

Prinzipiell:

Man braucht ein Objekt, das in der Lage ist schwere Elemente in das ISM auszuwerfen

=> normale Sterne tragen nur über stellaren Wind bei

Streitfrage:

Inwieweit tragen Novae zur Nukleonsynthese von schweren Elementen bei?

Abschätzung der durch Novae abgegebenen Materie an ISM:

- 35 Novae pro Jahr
- konstant seit Entstehung der Galaxie (10^{10} a)
- $\text{ISM} \cong 10^{10} M_{\text{Sonne}}$

ca. $1/250 M_{\text{ISM}}$

⇒ Unwahrscheinlich das Novae allgemein Hauptbeitrag zur chemischen Entwicklung liefern (sofern Abschätzung ungefähr korrekt)

ABER:

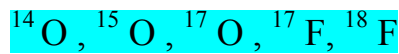
Könnten wichtigen Beitrag zur **Isotopentstehung** im **CNO – Zyklus** liefern (z.B. ^{15}N , ^{17}O)

Zur Erinnerung:

Katalysatoren im CNO – Zyklus



es sind aber auch Nebenäste möglich, die



beinhalten

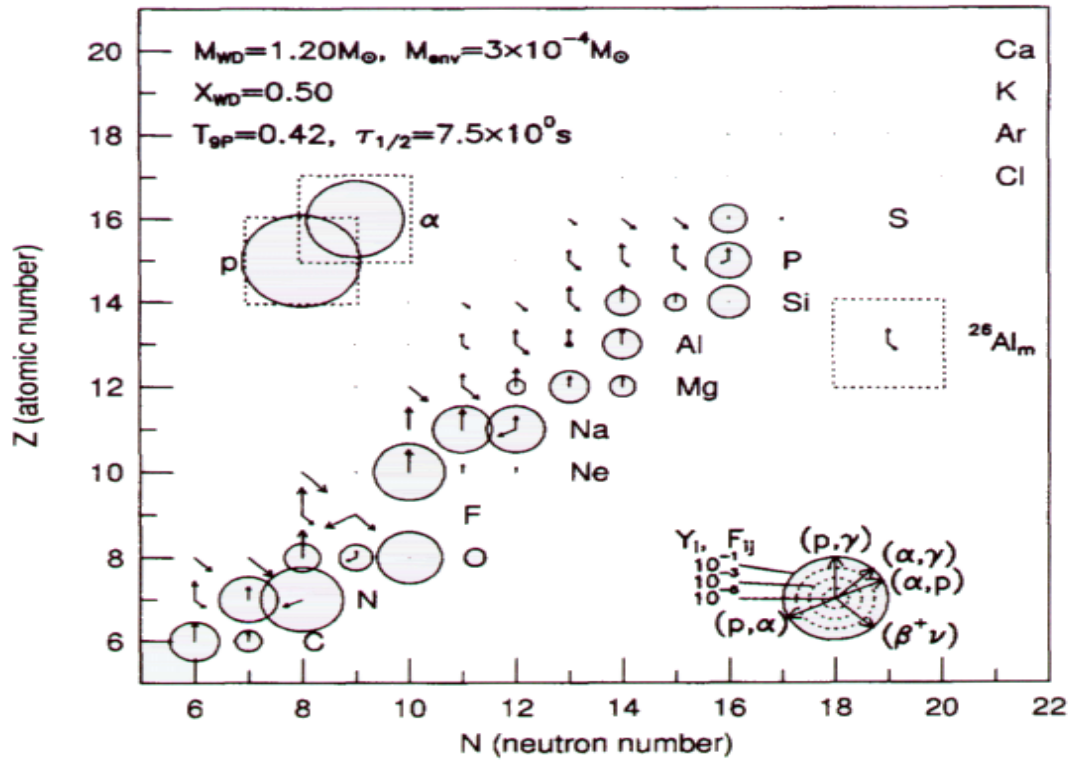
Beispiel:

Messungen derselben Nova aber mit unterschiedlicher Interpretation der Liniestärken

Element	Vorkommen 1	Vorkommen 2
He	4,5	
C	70,6	
N	50,0	282
O	80,0	110
Ne	250,0	
Na	37,4	
Mg	129,4	
Al	127,5	
Si	146,6	122,6
S	1,0	
Ar	5,0	58,2
Ca	46,8	
Fe	8,0	16
Ni	36,0	

Normiert auf Solaren Häufigkeiten

(Moro-Martin, Garonavich, The Optical Spectroscopic Evolution of V1974 Cygni, 2000)



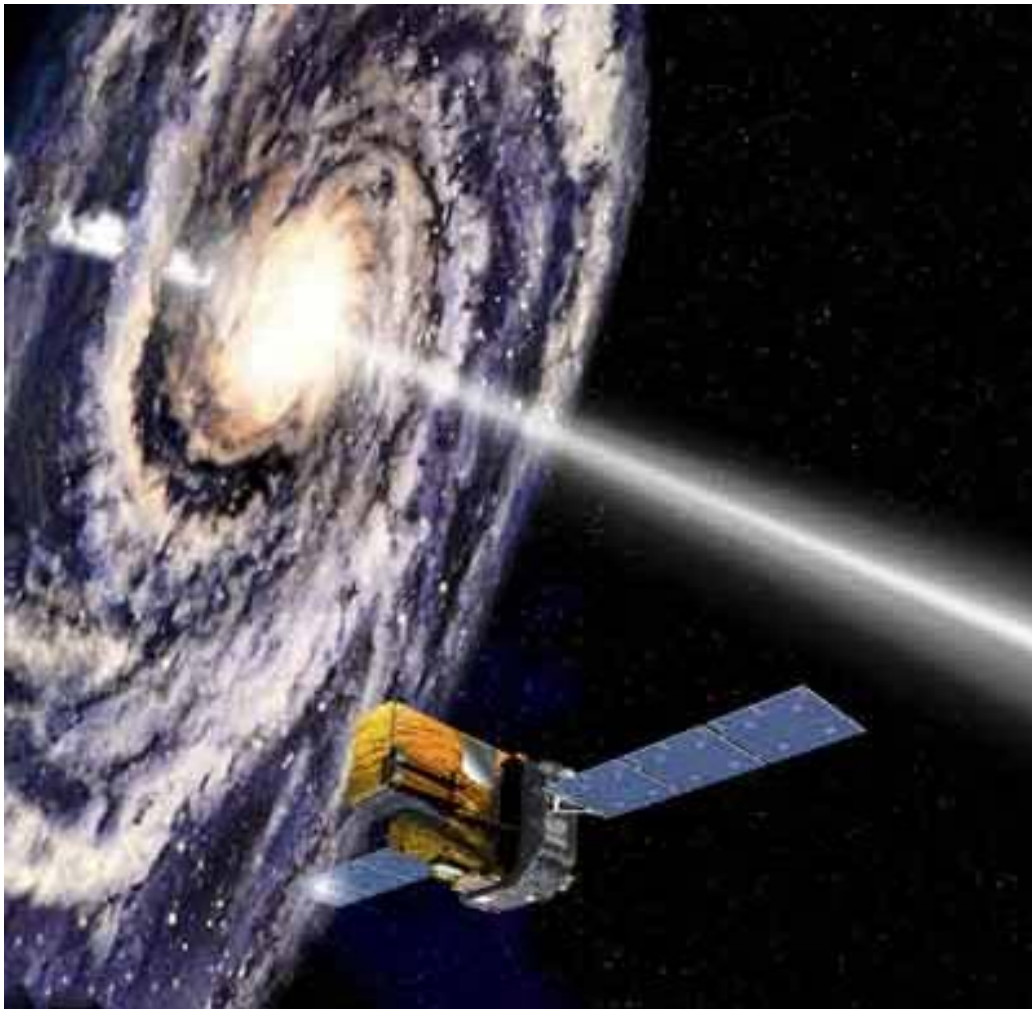
(Nuclear Physics A616 (1997) 91c-96c)

Theorie:

- beträchtliche Mengen an ${}^7\text{Be}$, ${}^7\text{Li}$,



=> Zukünftige Messungen mit INTEGRAL ?

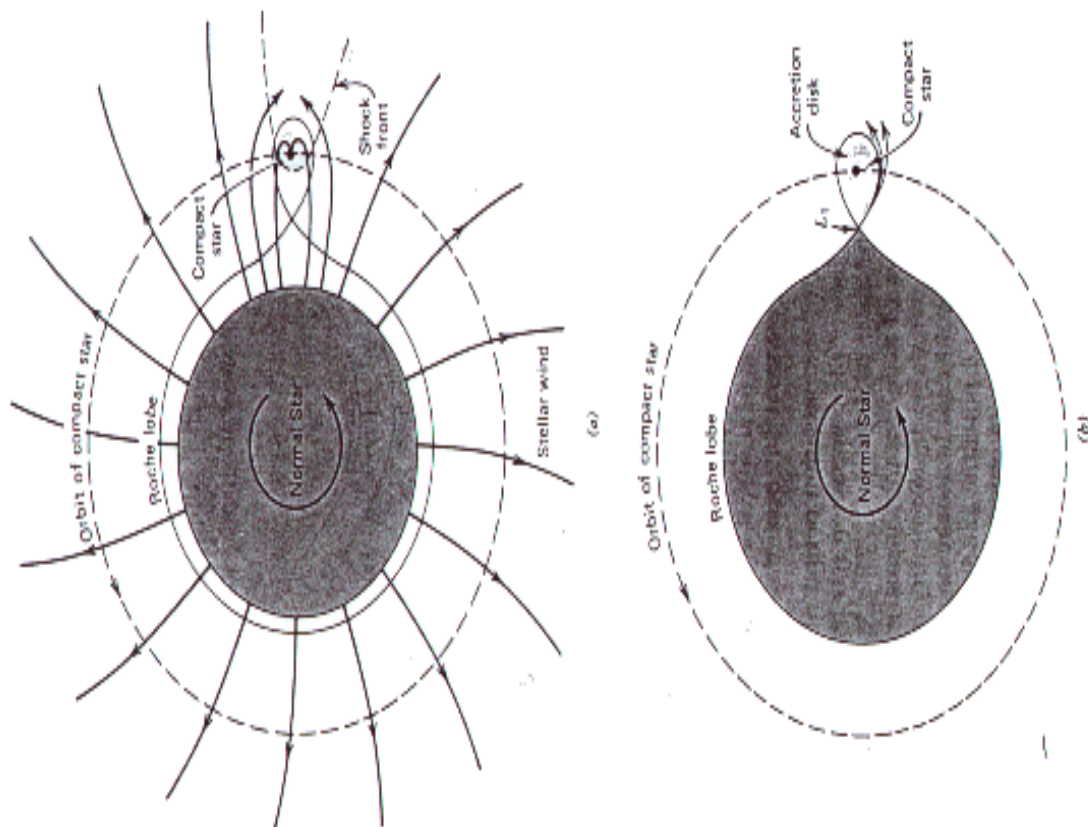


Welche Objekte erzeugen Röntgenblitze ?

Zuerst: Welche Objekte erzeugen kontinuierlich Röntgenstrahlung?

Wahrscheinlich Neutronensterne, die Materie über eine Akretionsscheibe Materie „auf sammeln“ und dabei freiwerdende Gravitationsenergie in Strahlung umsetzen

Zwei Arten der Akkretion:



(Shapiro, Teukolsky, Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars)

Einfache Abschätzung ob Neutronensterne mögliche Kandidaten sind:

Annahme

Materie fällt mit konstanter Rate $\frac{dM}{dt}$ auf einen Neutronenstern der Masse M_x und Radius R_x .

Das Gas fällt sphärisch mit der Frei-Fall-Geschwindigkeit v_{ff} ein, bis es die „harte“ Oberfläche erreicht.

In „**steady-state**“ gilt dann:
$$L_x = \frac{1}{2} \frac{dM}{dt} v_{ff}^2 = \frac{G \frac{dM}{dt} M_x}{R_x}$$

Weitere Annahme:

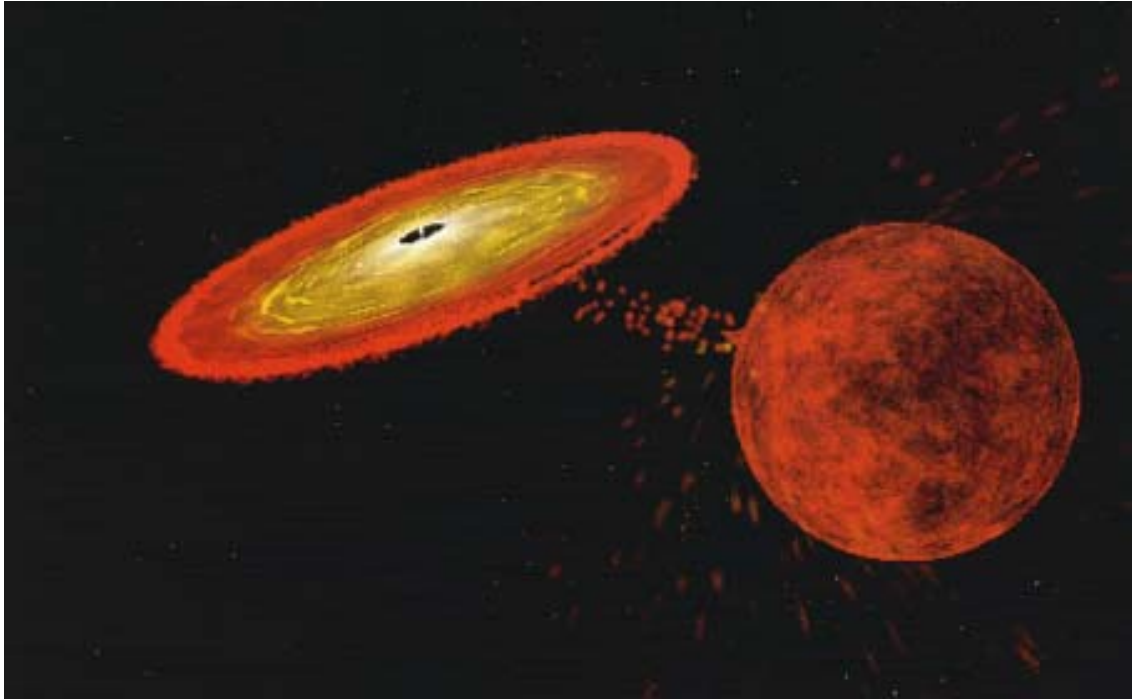
Der größte Teil der Energie wird thermisch abgegeben

$$L_x = 4\pi\sigma R_x^2 T^4$$

mit gemessenen Röntgen-Quellen Luminositäten zu 10^{37} erg/s erhält man

$T \approx 10^7$ K für einen typischen Neutronensternradius

- ⇒ Neutronensterne können über diesen Prozess Röntgenstrahlung erzeugen (Weiße Zwerge nicht)
- ⇒ Rotationsfrequenz sollte zunehmen (Drehimpuls der Scheibe)



Röntgenblitze

Es gibt zwei Arten von Röntgenblitzen: **Type I** und **Type II** Bursts

Type I:	- Zeitskala: Stunden bis Tage - Spektrum wird zum Ende des Blitzes flacher
---------	---

Type II: - Zeitskala: Sekunden
 - kein abflachen des Spektrums
 - $E_{burst} \propto t_{waiting}$
 - Type I Burst ca. alle 3 – 4 Stunden

Man geht von zwei Modellen aus:

- Instabilitäten** im Gasfluss bei der Akkretion (Type II)
- Thermonuklearer** „Flash“ auf der Oberfläche des NS (Type I)

„X-Ray Pulsars don't burst, and bursters don't pulse"

Mögliche Antwort hierauf:

LMXB und HMXB

LMXB: $m_{\text{Begleitstern}} < 2 M_{\text{Sonne}}$

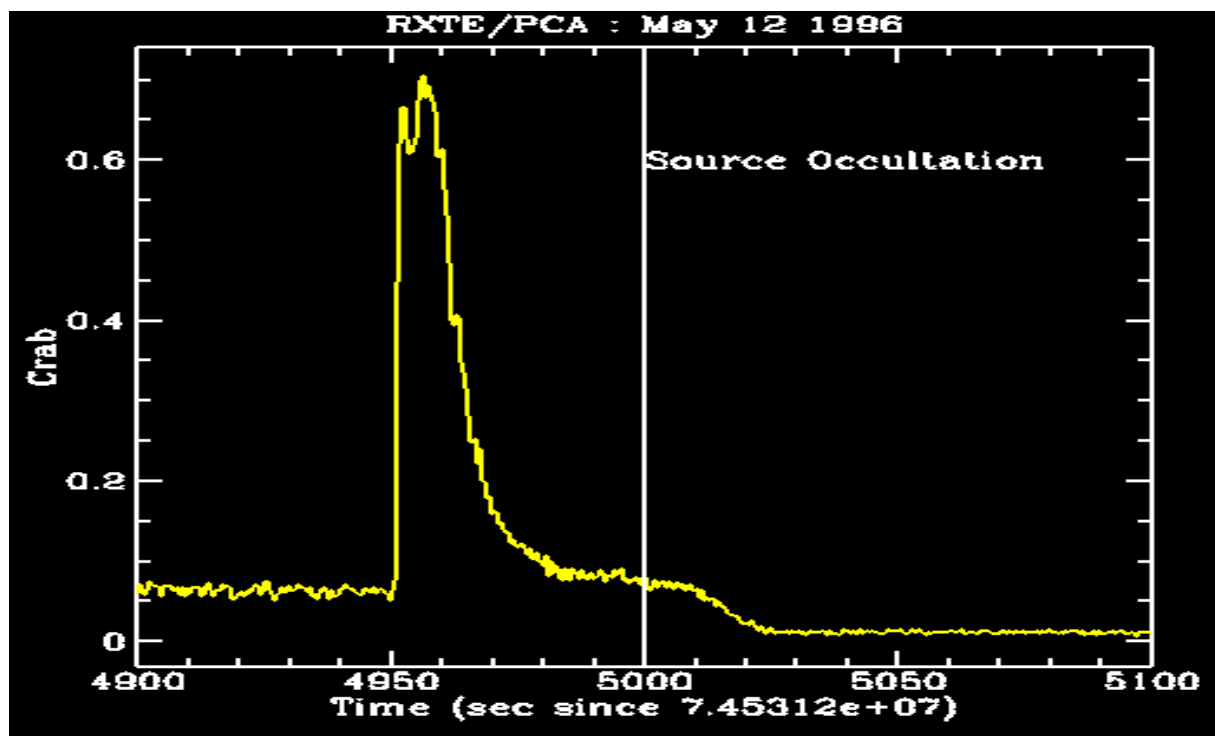
HMXB: $m_{\text{Begleitstern}} > 5 M_{\text{Sonne}}$
 $B_{\text{NS}} \cong 10^{12} \text{ G}$

- das starke Magnetfeld eines HMXB verhindert anscheinend auf noch nicht bekannte Art einen Flash (die Materie kann nur an den Polen einfallen)

Type I – Blitze:

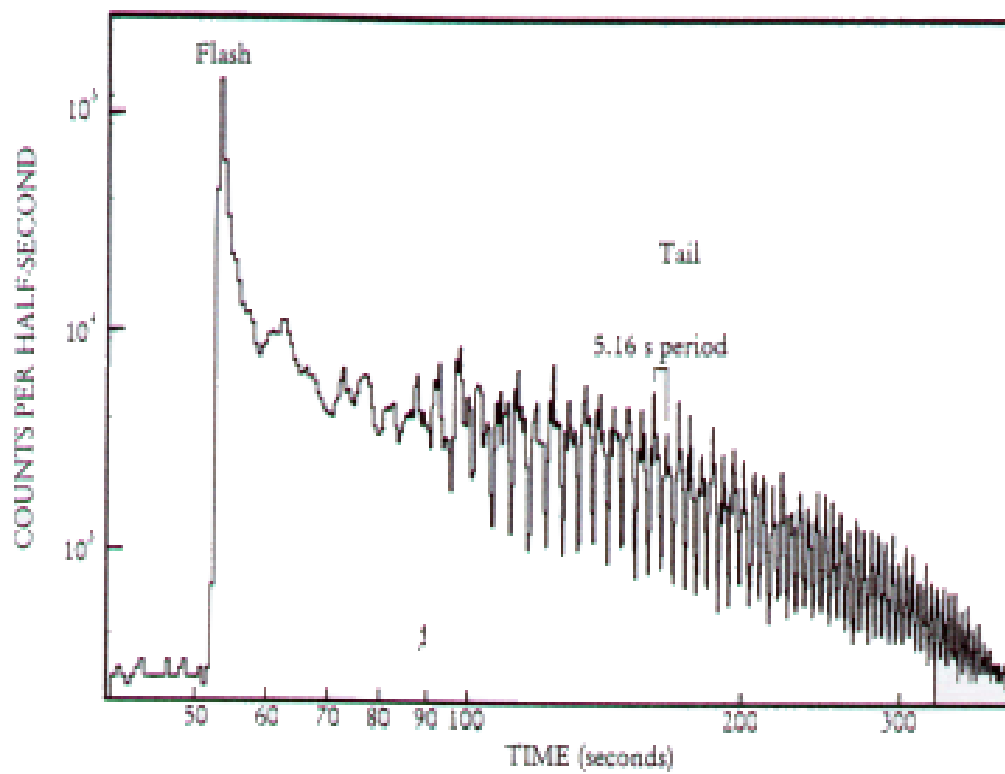
Der gemessene Fluss ist meistens sehr nahe am Eddington-Limit.

$$\Rightarrow t_{\text{burst}} \approx \frac{E_{\text{nuc}}}{L_{\text{Edd}}} \approx 20 \text{ s}$$



Akkretionszeitskala: mehrere Stunden
Pulszeitskala: ca. 10 Sekunden

- ⇒ wahrscheinlich „punktförmiger“ Flash, da ansonsten Bedingungen auf dem gesamten NS mehr als 10^{-3} identisch sein müssen
- ⇒ der „Flash“ breitet sich in dann über NS aus (mit mind. 10 Km/s)
- ⇒ könnte „aufmodulierte“ Periodizität des Blitzes erklären (Leuchtturm)



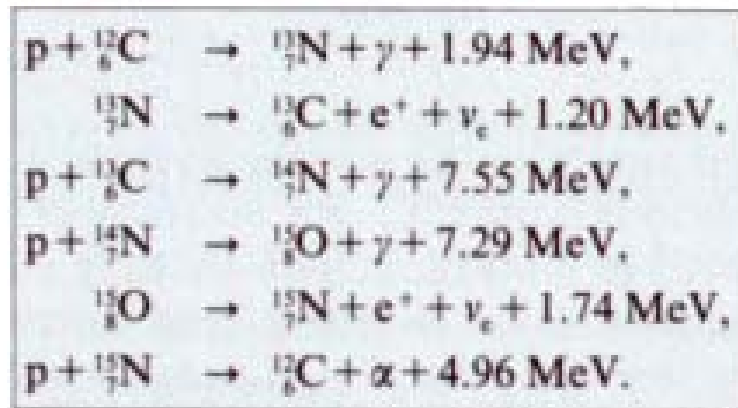
Gemessen: 6 Type I mit ca. 2,75 ms Rotationsdauer

Woher kommt der TNR?

$$T > 10^7 \text{ K}$$

=> CNO - Zyklus

The nuclear reactions of the CNO stellar cycle.



„Flaschenhals“ β -Zerfall

\Rightarrow mehrere Tage um Wasserstoff vollständig zu verbrennen

Währenddessen: He – Brennen ; da Materie stark genug komprimiert

He brennt aber nur über $5 \cdot 10^8 \text{ K}$ stabil

=> ansonsten führt eine kleine thermale Störung zum TMR

Noch nicht verstandenes Problem:

Wenn die Akkretionsrate steigt, sollte die Wiederholungsrate auch steigen, da weniger Zeit benötigt wird um die kritische Menge an Materie aufzusammeln

Aber:

Oft wird genau das Gegenteil beobachtet !!

(4U 1705-44 die „Frequenz“ sinkt auf ein viertel, wenn Rate verdoppelt)