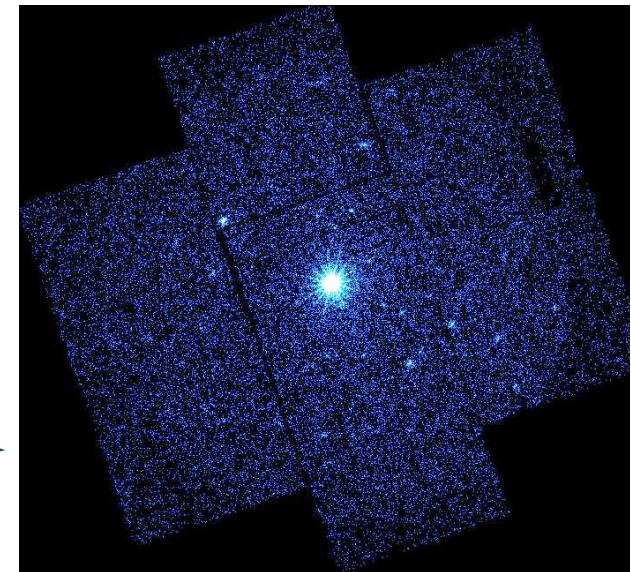
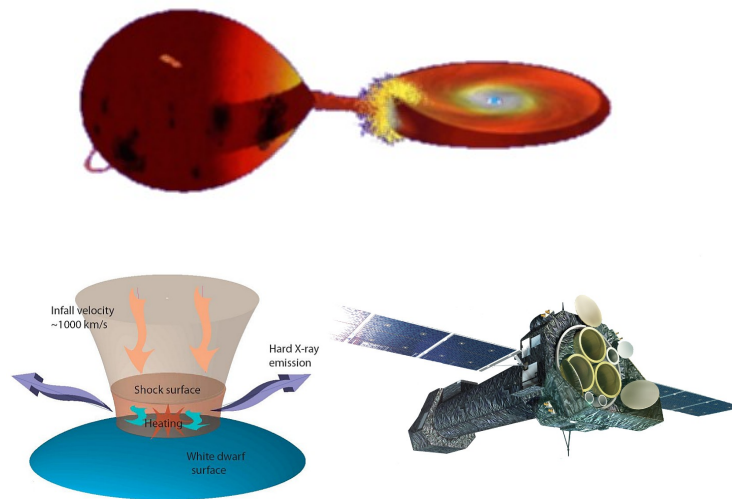
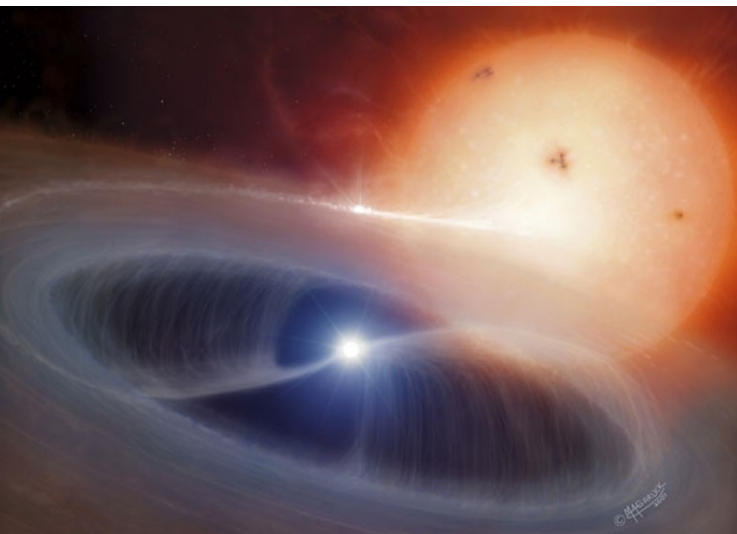


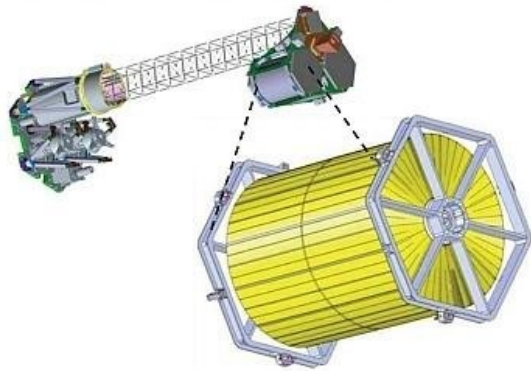
# Obhajoba diplomovej práce “Multiwavelength study of variable stars”



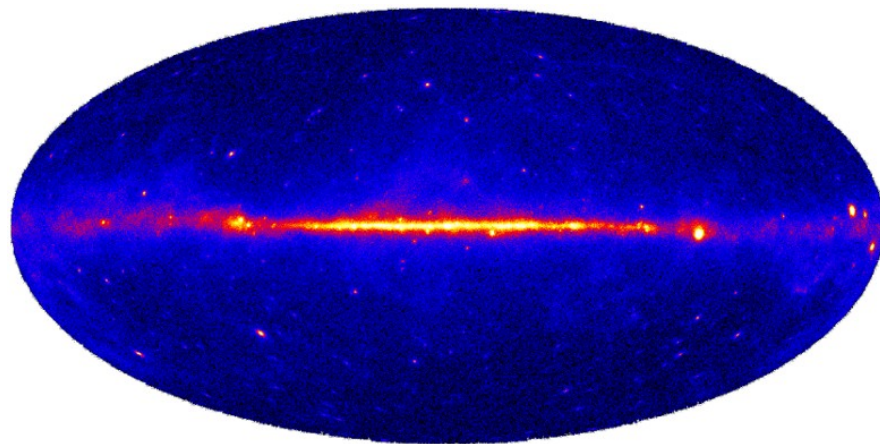
Matúš Kocka  
Ústav Teoretickej Fyziky a Astrofyziky, Prírodovedecká Fakulta,  
Masarykova Univerzita

# “High Energy Astrophysics”

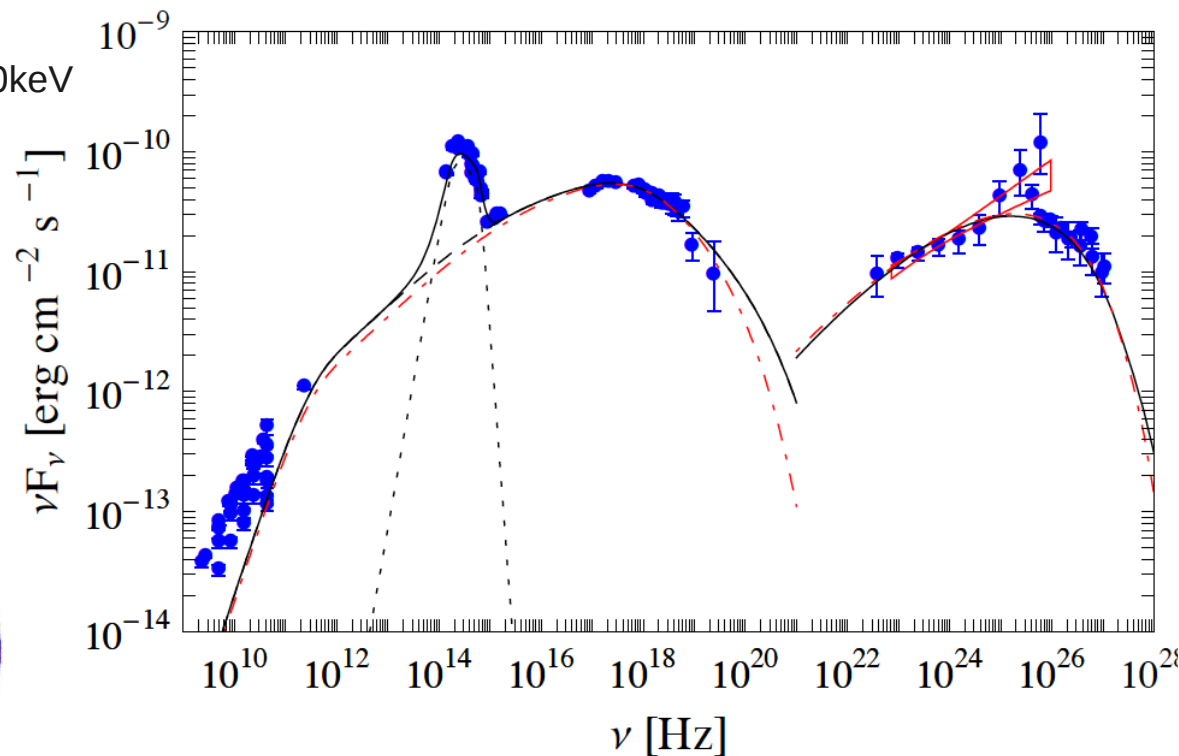
Čierne diery, neutrónové hviezdy, AGN, supernovy, GRB,  
vysokoenergetické kozmické žiarenie, neutrína ...



NASA NuSTAR  
citlivý v oblasti 6-80keV  
[nustar.caltech.edu](http://nustar.caltech.edu)

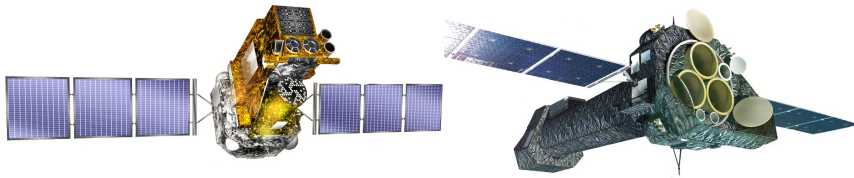


NASA Fermi LAT: 2 ročná prehliadka oblohy  
v 20MeV - 300GeV



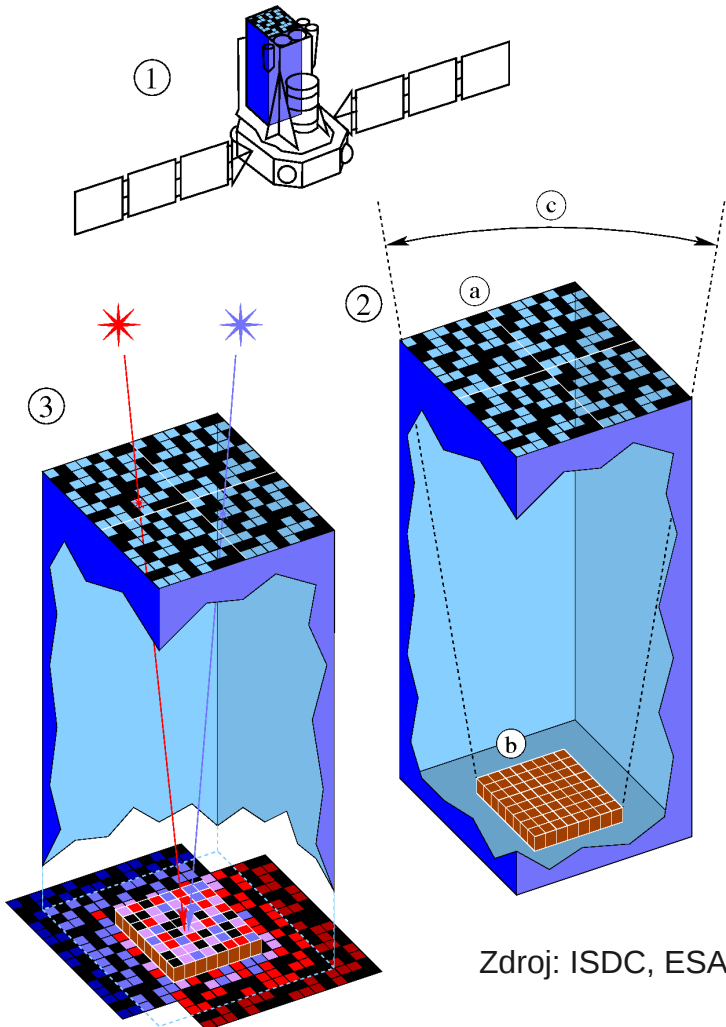
Mrk 501 “SED”, získaná z multifrekvenčnej  
observačnej kampane 15.3.2009-1.8.2009  
VERITAS.

# INTEGRAL, XMM - Newton



Problémy röntgenovej astronómie:

- Málo fotónov
- Zložité metódy fokusovania
- So zvyšujúcou sa vlnovou dĺžkou narastajúca náročnosť detekovať fotóny.



Zdroj: ISDC, ESA

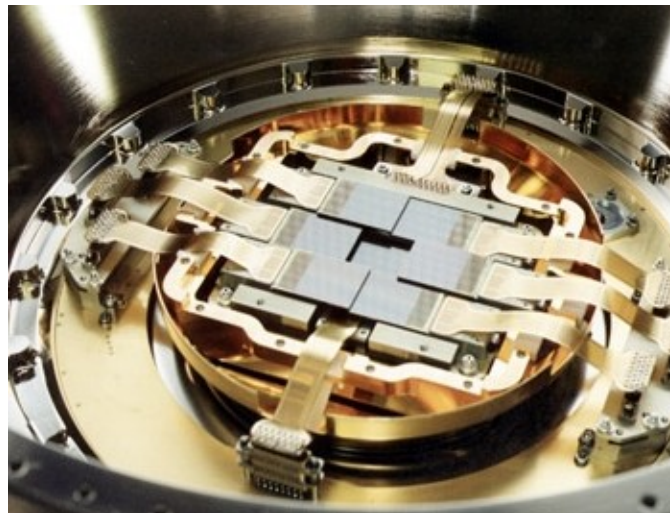
12.02.12

Mäkký röntgen: 1-10 keV

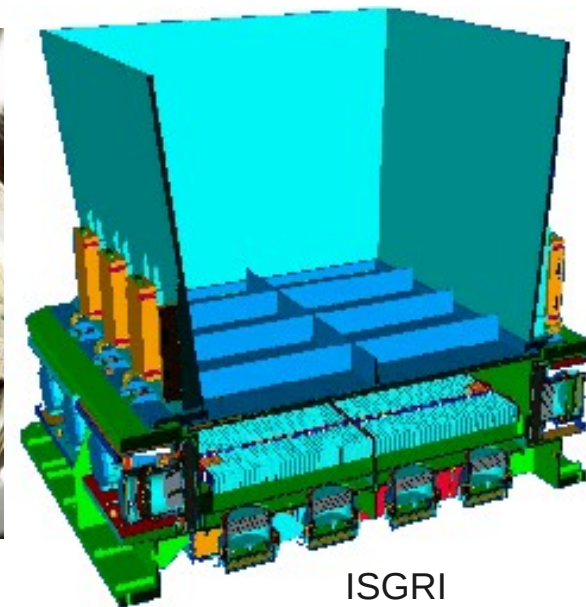
XMM – Newton, MOS a PN kamery

Tvrdý röntgen až gamma: 20 – 200 keV

INTEGRAL/IBIS, ISGRI



EPIC-MOS

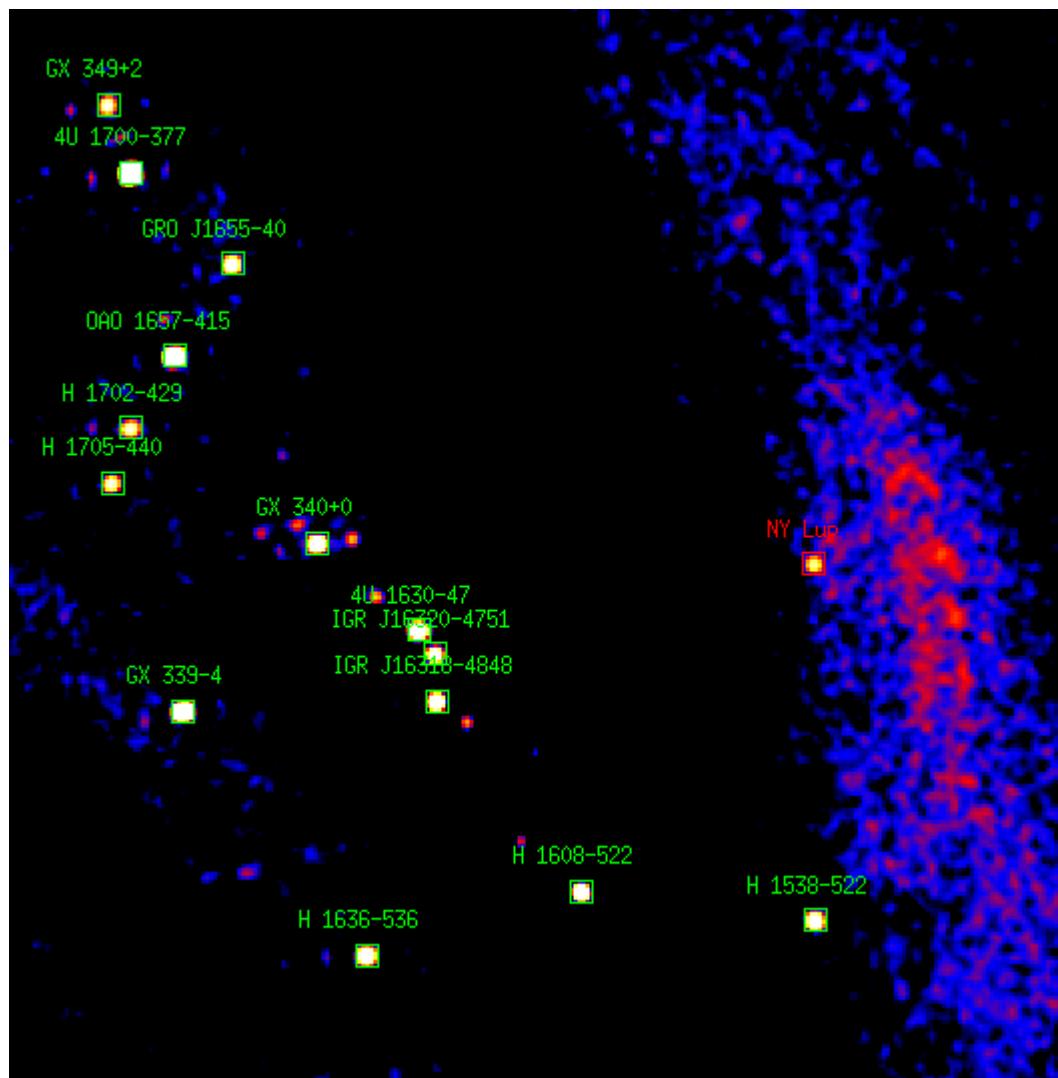


ISGRI

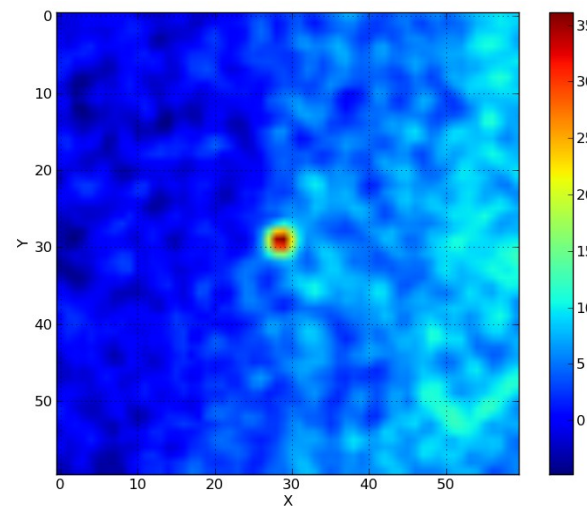
Obhajoba diplomovej práce



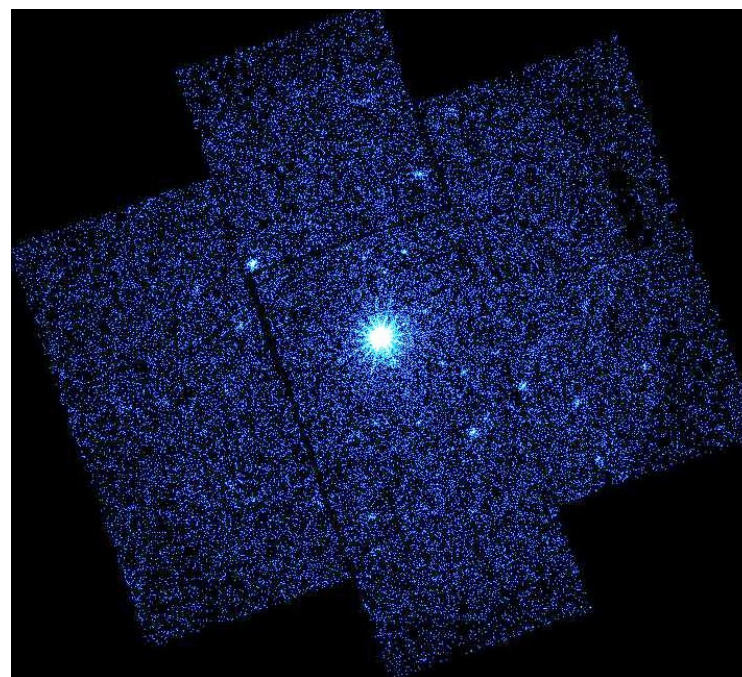
# Obloha v X-ray

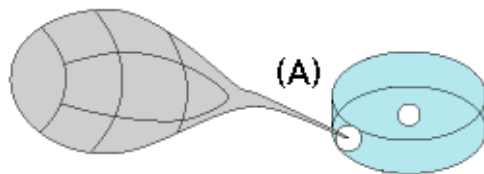


INTEGRAL/IBIS 17-80 keV



XMM/EPIC-MOS1 1-10 keV





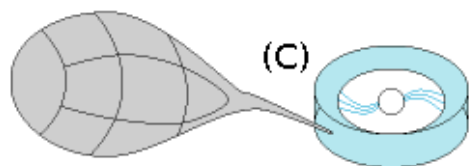
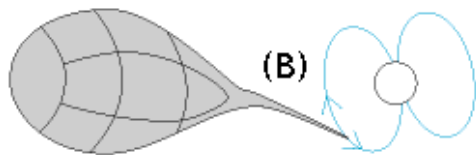
Kataklyzmické premenné hviezdy:

Nemagnetické (A):  $B < 10^5 \text{ G}$

Magnetické

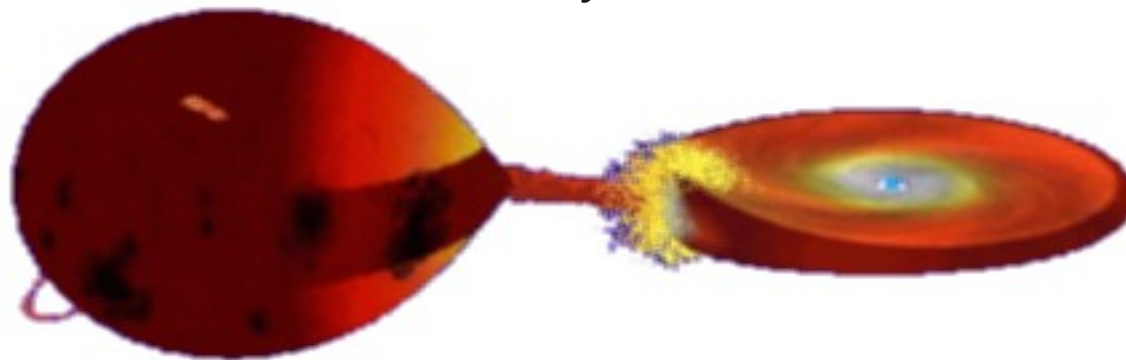
Polary (B):  $B \sim 10^7 \text{ G} - 10^9 \text{ G}$

Intermediálne polary (C):  $10^6 \text{ G} < B < 10^7 \text{ G}$

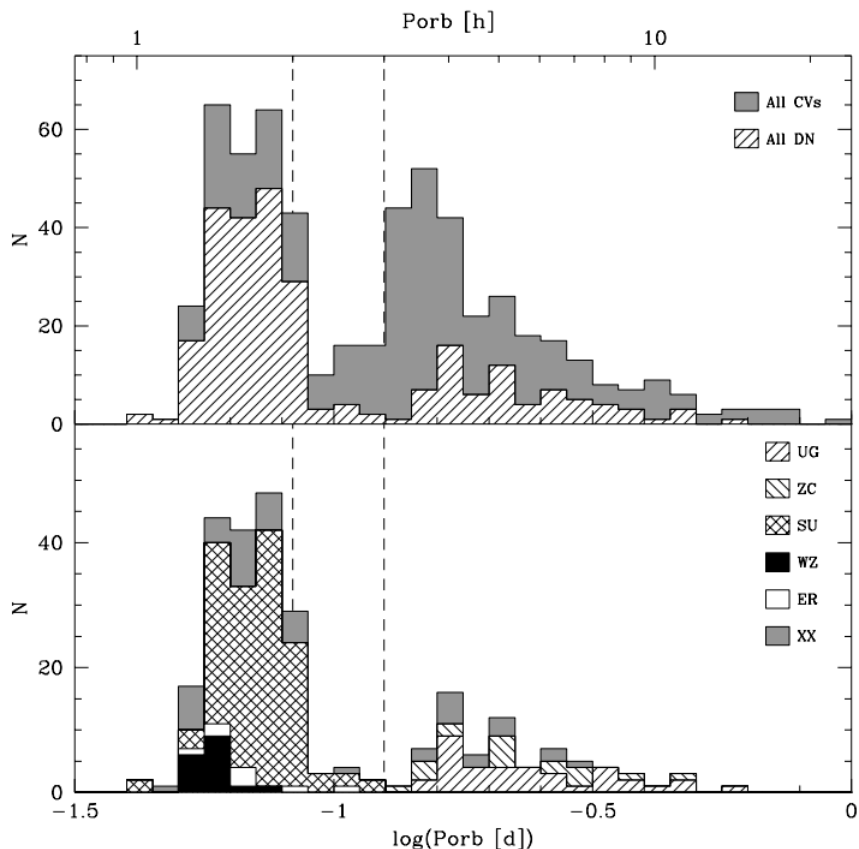


## Charakteristiky:

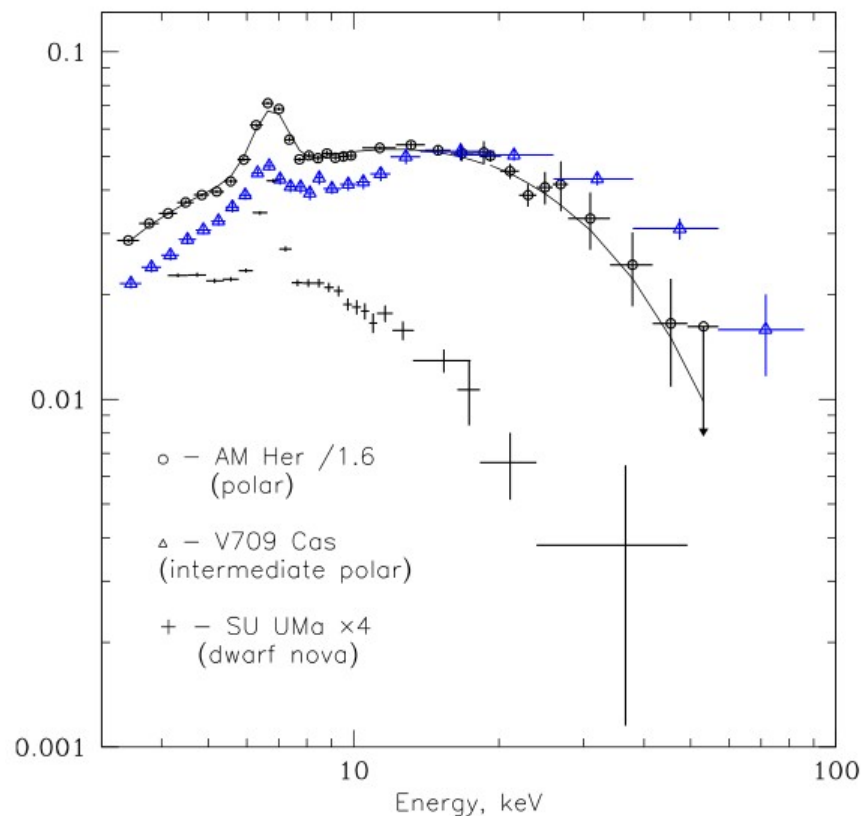
- Sekundarna zložka vypína Rocheov lalok
- Typicky málo hmotná G hviezda neskorého typu
- Primárna zložka je WD  $\sim 0.8 M_{\odot}$
- Rôzne kataklyzmické udalosti, splanutia, etc.
- Výrazné periodické, semi-periodické a neperiodické variácie v jasnosti, nielen v optickej oblasti
- Akréčný disk, horúca škvrna



# CV – hviezdy podľa orbitálnych period



Distribúcia orbitálnych period známych CV:  
U Gem (UG), Z Cam (ZC), SU UMa (SU),  
WZ Sge (WZ), ER UMa (ER), neklas. (XX).  
Čiarkovane je vyznačený 2-3h gap.  
Aungwerojwit (2007)



Spektrum CV vo vysokých energiách.  
Revnivtsev et. al. (2008)

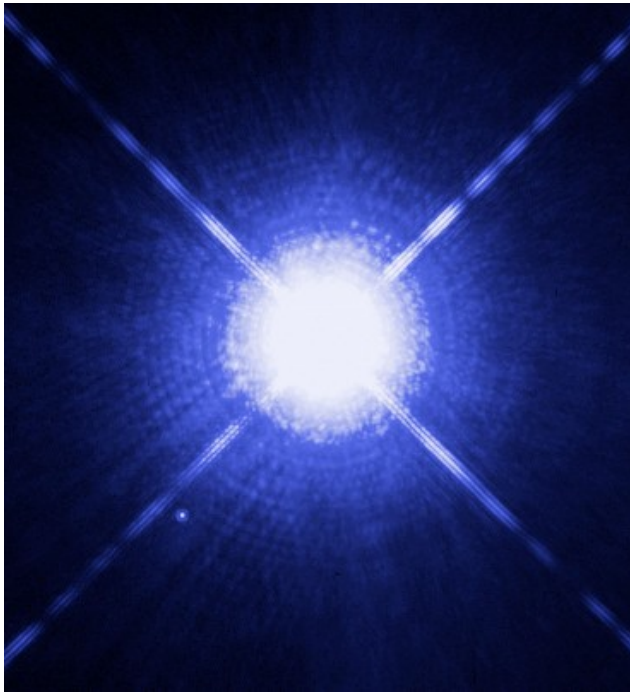


Table 2.1: Basic statistics of the compact objects Shapiro & Teukolsky (2004)

Object	Mass <sup>a</sup> [M]	Radius <sup>b</sup> [R]	Mean Density [r cm <sup>-3</sup> ]	Surface Potential [GM/Rc <sup>2</sup> ]
Sun	M <sub>☉</sub>	R <sub>☉</sub>	1	10 <sup>-6</sup>
White Dwarf	≲ M <sub>☉</sub>	~ 10 <sup>-2</sup> R <sub>☉</sub>	≲ 10 <sup>7</sup>	~ 10 <sup>-4</sup>
Neutron Star	~ 1 – 3M <sub>☉</sub>	~ 10 <sup>-5</sup> R <sub>☉</sub>	≲ 10 <sup>15</sup>	~ 10 <sup>-1</sup>
Black Hole	Arbitrary	2GM/c <sup>2</sup>	~ M/R <sup>3</sup>	~ 1

<sup>a</sup>M<sub>☉</sub> = 1.989 × 10<sup>33</sup>g

<sup>b</sup>R<sub>☉</sub> = 6.9599 × 10<sup>10</sup>cm

Biely trpaslíci sa rodia, keď normálne hviezdy zomierajú

- Už v nich neprebiehajú termonukleárne reakcie
- Pomaly chladnú (ak nemajú nejaký prísun hmoty)
- Tlak elektrónovo degenerovaného plynu pôsobí proti gravitácii
- Existuje limitná hmotnosť, tzv. Chanrasekharov limit,

$$M_{ch} = 1.457 \left( \frac{2}{\mu_e} \right)^2 M_{\odot}$$

Ilustratívny odhad Chandrasekharovho limitu pomocou odhadu centrálného tlaku WD:

$$P_c \approx \frac{2}{3} \pi G \rho^2 R_{wd}^2 \text{ s hustotou } \rho = M_{wd} / \frac{4}{3} \pi R_{wd}^3$$

$$\text{Porovnáme s tlakom elektrónovo degenerovaného plynu: } P = \frac{(3\pi^2)^{2/3}}{4} \hbar c \left[ \left( \frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{4/3}$$

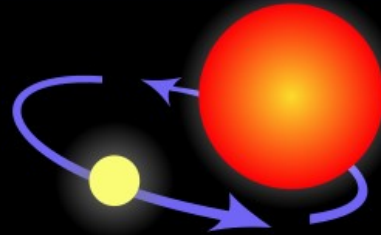
$$\text{Dostaneme odhad pre najväčšiu možnú hmotnosť: } M_{ch} \sim \frac{3\sqrt{2}\pi}{8} \left( \frac{\hbar c}{G} \right)^{3/2} \left[ \left( \frac{Z}{A} \right) \frac{1}{m_H} \right]^2 M_{\odot}$$



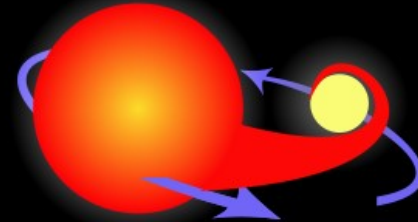
# The progenitor of a Type Ia supernova



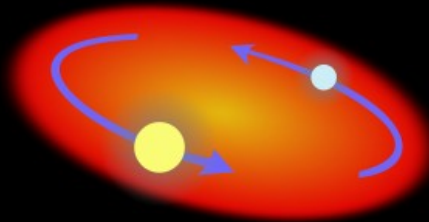
Two normal stars are in a binary pair.



The more massive star becomes a giant...



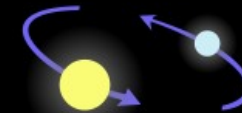
...which spills gas onto the secondary star, causing it to expand and become engulfed.



The secondary, lighter star and the core of the giant star spiral toward within a common envelope.



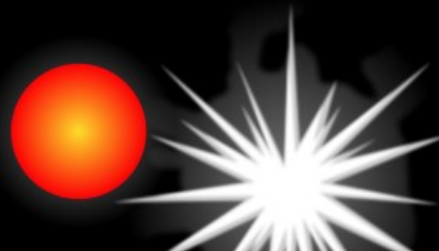
The common envelope is ejected, while the separation between the core and the secondary star decreases.



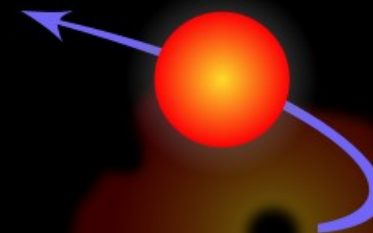
The remaining core of the giant collapses and becomes a white dwarf.



The aging companion star starts swelling, spilling gas onto the white dwarf.



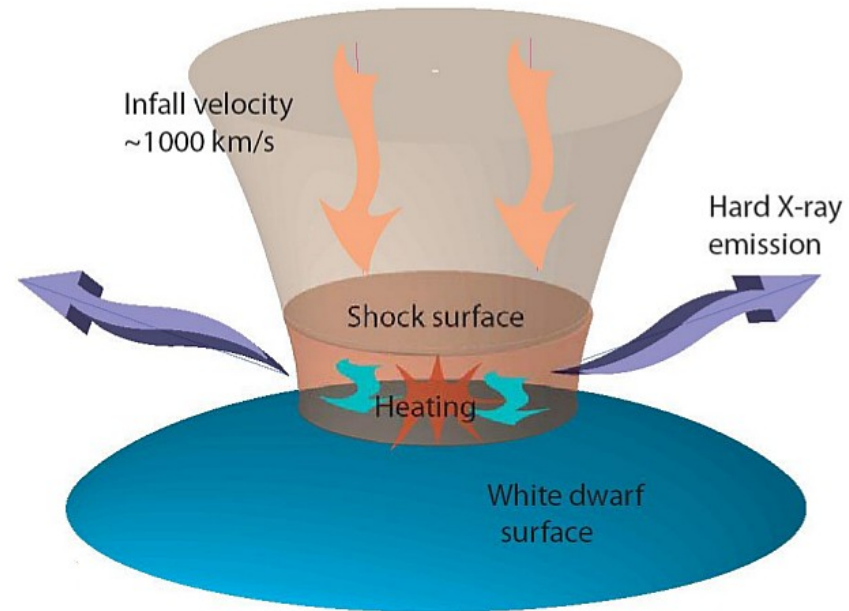
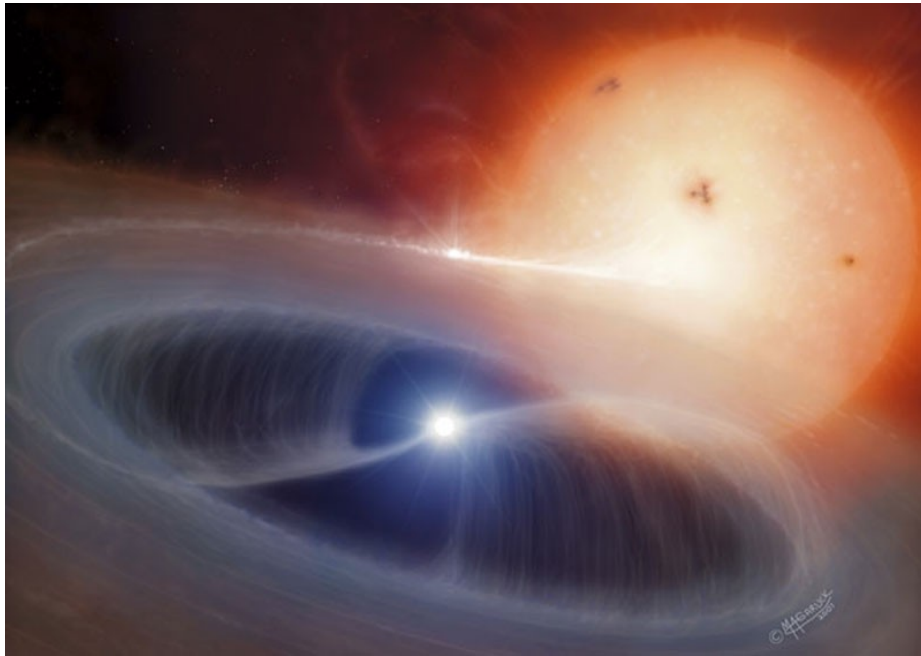
The white dwarf's mass increases until it reaches a critical mass and explodes...



...causing the companion star to be ejected away.



# IP – Intermediálne polary a PSR región

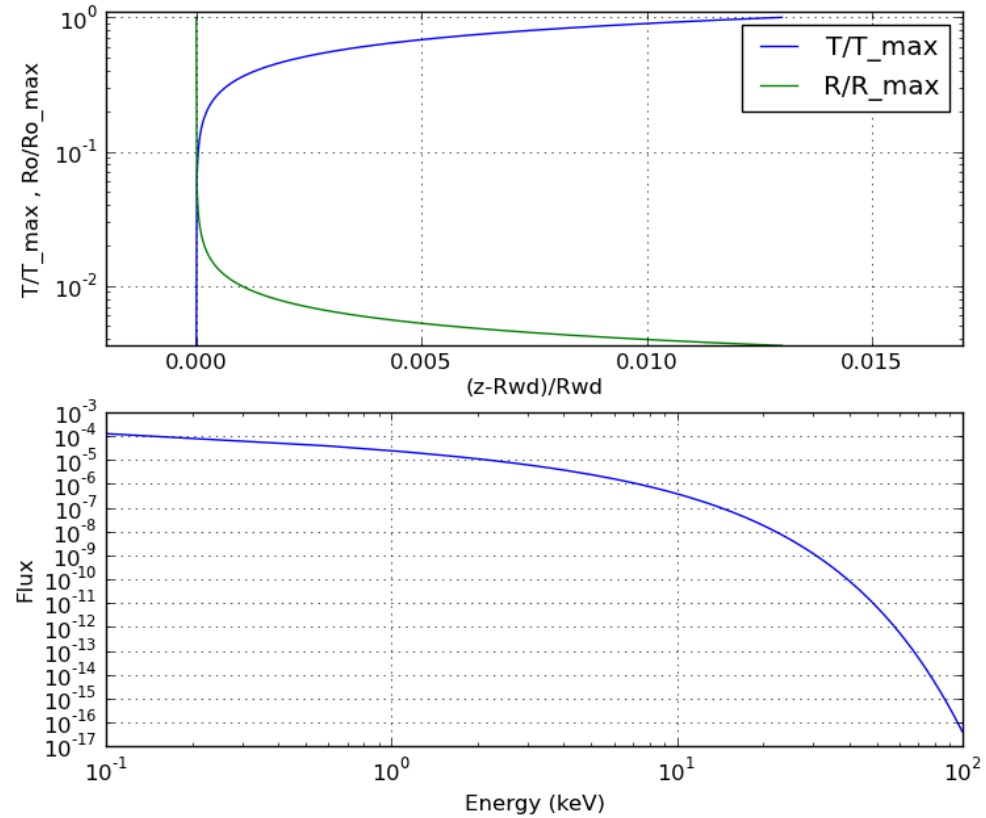
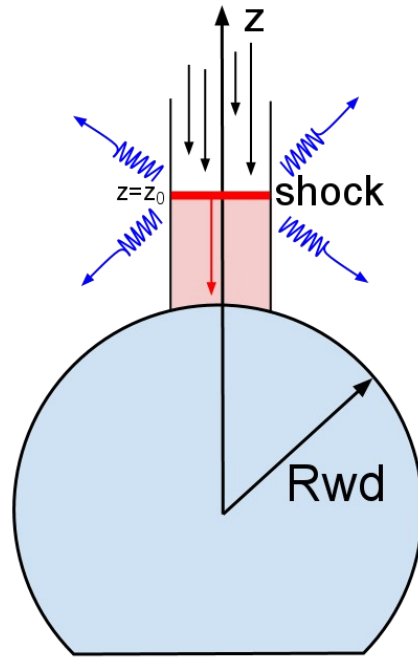


Revnivtsev et. al. (2008)

Magnetické pole v IP je natoľko silné, že spôsobí deštrukciu vnútornej časti akréčneho disku. Materiál následne padá po magnetických siločiarach v akejsi “akréčnej opone” na magnetické póly trpaslíka.

- Vytvára sa stacionárna šoková oblasť s teplotou  $> 10 \text{ keV}$
- Táto oblasť “svieti” v tvrdom röntgene
- Zabrzdenný materiál postupne chladne a padá na povrch v tzv. PSR oblasti
- Hlavným “chladiacim” mechanizmom je brzdné žiarenie (bremsstrahlung)

# PSR – Post Shock Region



Celkové spektrum tepelného brzdneho žiarenia:  $F_E = \int_{R_{wd}}^{z_0} j(z) dz$

Kde  $j(z)$  vyzerá:  $j(z) = 9.52 \times 10^{-38} \left( \frac{\rho(z)}{\mu m_H} \right)^2 T(z)^{-1/2} \left( \frac{E}{kT(z)} \right)^{-0.4} \exp \left( -\frac{E}{kT(z)} \right)$

Zombeck (1990), Suleimanov (2005)

V diplomovej práci bližšie popisujem tzv. metódu kontinua:

- Hlavný “chladiaci” mechanizmus je tepelne brzdné žiarenie.
- Comptonov jav a cyklotrónová emisia sú zanedbateľné v IP.
- Teplota PSR regiónu je stabilná.
- Vzdialenosť PSR od povrchu WD je menšia ako jeho polomer.

- Teplotu PSR je možné získať vhodným modelu brzdného žiarenia na data, napr v XSPECu.
- Využiť nasledovných vzťahov:

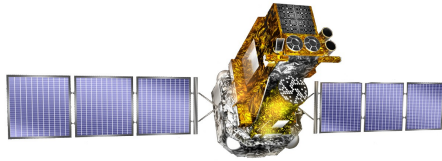
$$R_{wd} = 7.8 \times 10^8 \left[ \left( \frac{1.44 M_{\odot}}{M_{wd}} \right)^{2/3} - \left( \frac{M_{wd}}{1.44 M_{\odot}} \right)^{2/3} \right]^{1/2} \text{ cm}$$

$$kT_s = 16 \times \left( \frac{M}{0.5 M_{\odot}} \right) \left( \frac{R}{10^9 \text{ cm}} \right)^{-1} \text{ keV}$$

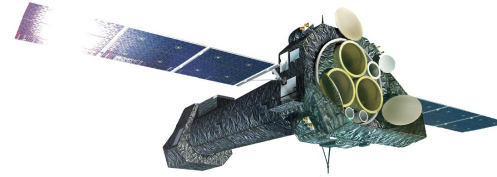
$$\frac{M_{wd}}{M_{\odot}} = 1.44 \times \left[ \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + 4 \times \left( \frac{59}{kT_s} \right)^2} \right) \right]^{-3/4}$$

Nauenberg (1972)





- Získanie dát: ISDC data archív ~1.8 TB  
<http://www.isdc.unige.ch/integral/archive>
- ISDC Off-line Scientific Analysis (OSA) ver. 9
- HEAsoft 6.11.1
- *og\_create*
- *ibis\_science\_analysis*
- *mosaic\_spec*
- Získané mozaiky v: 20-100keV pre 10 binov



- Získanie dát: XMM-Newton Science Archive ~ 5GB  
<http://xmm.esac.esa.int/xsa/>
- XMM-Newton SAS
- HEAsoft 6.11.1
- Príprava dát: *cifbuild*, *odfingest*, *emchain*, *mos-filter*
- Spektrum zdroja a pozadia: *evselect*
- *rmfgen*, *arfgn*, *specgroup*
- Získané spektrá v 1-10 keV

Na spracovanie som používal:

INTEGRAL - eddie : 2x Xeon E5420 2.5GHz (2x4 core), 10GB RAM, 8.1T disk array  
XMM -Troll: (moj notebook) Core i7 M620 2.67GHz (4core), 4GB RAM, 3T disk array

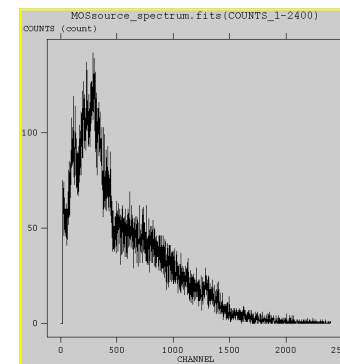
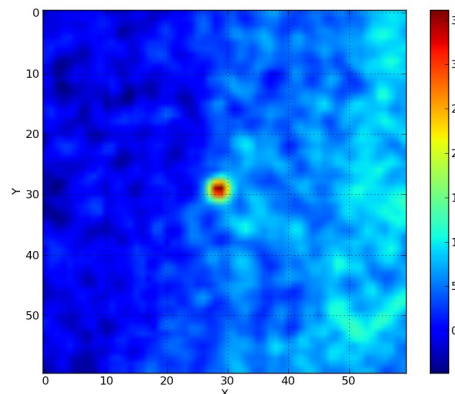
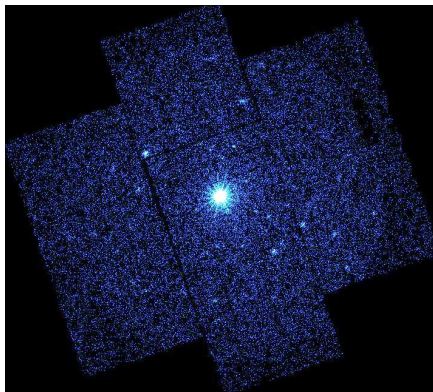


Table 5.2: Summary of the observations. Columns give the object name, coordinates of the source, its orbital period and distance, XMM-Newton observation ID, total exposures times for MOS1 and MOS2, total exposures for IBIS/ISGRI, and period of INTEGRAL observations, the IPs are ordering according to their RA.

obj.	Ra [°]	Dec [°]	P <sub>orb</sub> (min)	Dist (pc)	XMM obs. ID	Exp. time [ks] MOS1	Exp. time [ks] MOS2	Exp. time [ks] IBIS/ISGRI	Last obs. IBIS/ISGRI
IGR J15094-6649	227.358	-66.823	353.4	–	0551430301	31.61	31.62	592.46	2008-07-24
NY Lup	237.060	-45.479	574.2	540-840	0105460301	21.40	21.40	1589.29	2005-04-08
V2400 Oph	258.152	-24.245	205.8	300	0105460101	10.07	10.12	1368.89	2009-03-07
IGR J17195-4100	259.899	-41.014	240.3	110	0601270201	33.62	33.62	878.12	2008-10-23
IGR J17303-0601	262.589	-5.992	924	–	0302100201	13.28	13.28	248.62	2008-04-21
V1223 Sgr	283.759	-31.163	201.9	527	0145050101	38.66	38.67	264.66	2006-11-09
IGR J21335+5105	323.375	51.092	431.6	1400	0302100101	16.59	16.40	1589.68	2009-05-22

Table 5.4: Estimations of the WD masses for the 7 IPs studied in this work from previous reports.

System	Suzaku <sup>a</sup> XIS+HXD $M_{WD}$	Swift <sup>b</sup> BAT $M_{WD}$	RXTE <sup>c</sup> PCA+HEXTE $M_{WD}$	RXTE <sup>d</sup> PCA $M_{WD}$	ASCA <sup>e</sup> SIS $M_{WD}$	This work XMM & Integral $M_{WD}$
NY Lup	$1.15^{+0.08}_{-0.07}$	$1.09 \pm 0.07$				$0.84 \pm 0.17$
V2400 Oph	$0.62^{+0.06}_{-0.05}$	$0.81 \pm 0.10$	$0.59 \pm 0.05$	$0.71^{+0.07}_{-0.03}$	$0.68^{+0.42}_{-0.24}$	$0.59 \pm 0.34$
V1223 Sgr	$0.75^{+0.05}_{-0.05}$	$0.65 \pm 0.04$	$0.95 \pm 0.05$	$1.07^{+0.08}_{-0.09}$	1.28(>0.84)	$0.71 \pm 0.67$
IGR J17195-4100	$0.38^{+0.05}_{-0.05}$					$0.30 \pm 0.11$
IGR J21335+5105	$0.91^{+0.19}_{-0.17}$	$0.91 \pm 0.06$				$0.71 \pm 0.60$
IGR J15094-6649						$0.40 \pm 0.83$
IGR J17303-0601	$1.06^{+0.19}_{-0.14}$	$1.08 \pm 0.07$				$0.97 \pm 1.0$

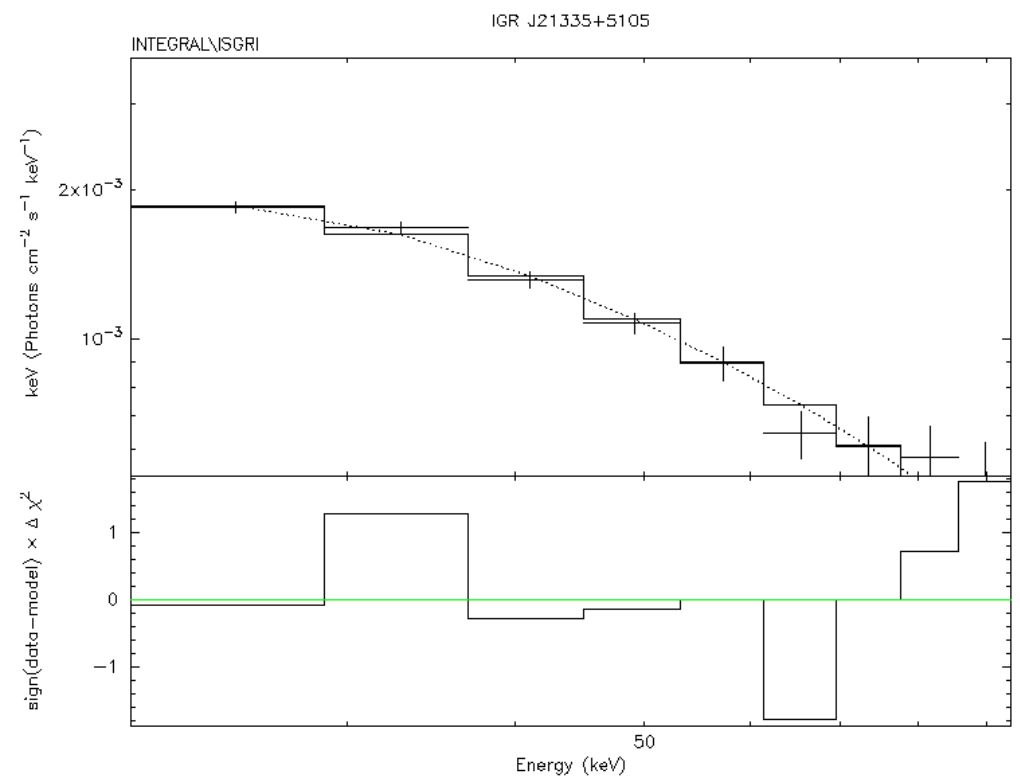
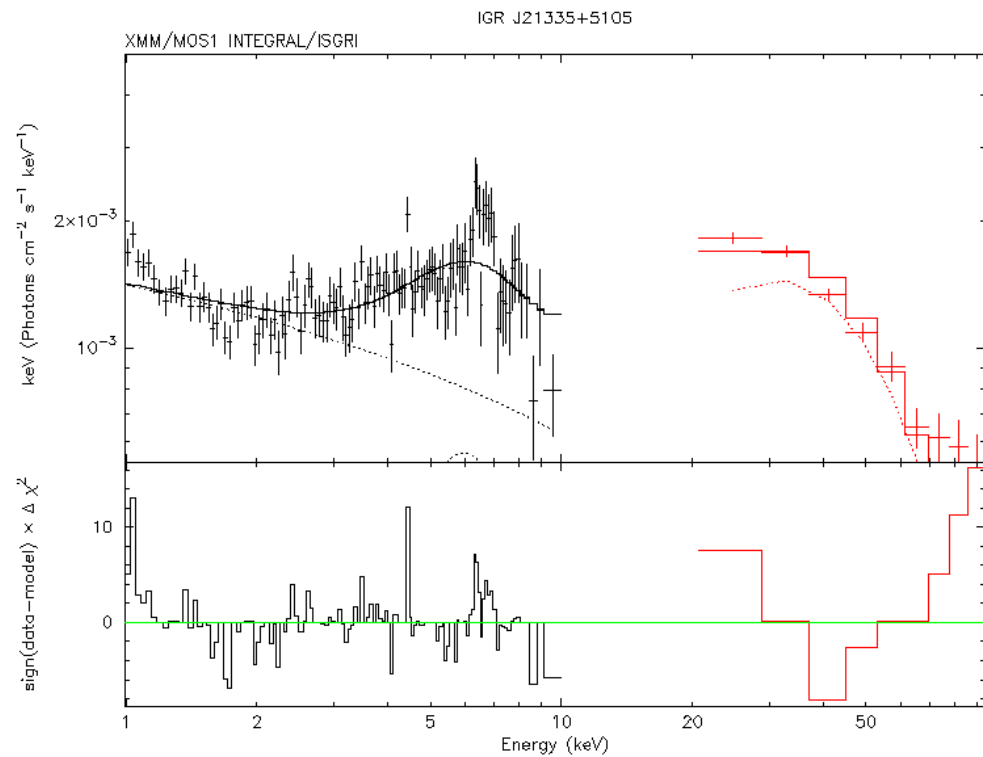
<sup>a</sup> Yuasa et al. (2010)

<sup>b</sup> Brunschweiler et al. (2009)

<sup>c</sup> Suleimnaov et al. (2004)

<sup>d</sup> Ramsay (2000)

<sup>e</sup> Ezuka & Ishida (1999)

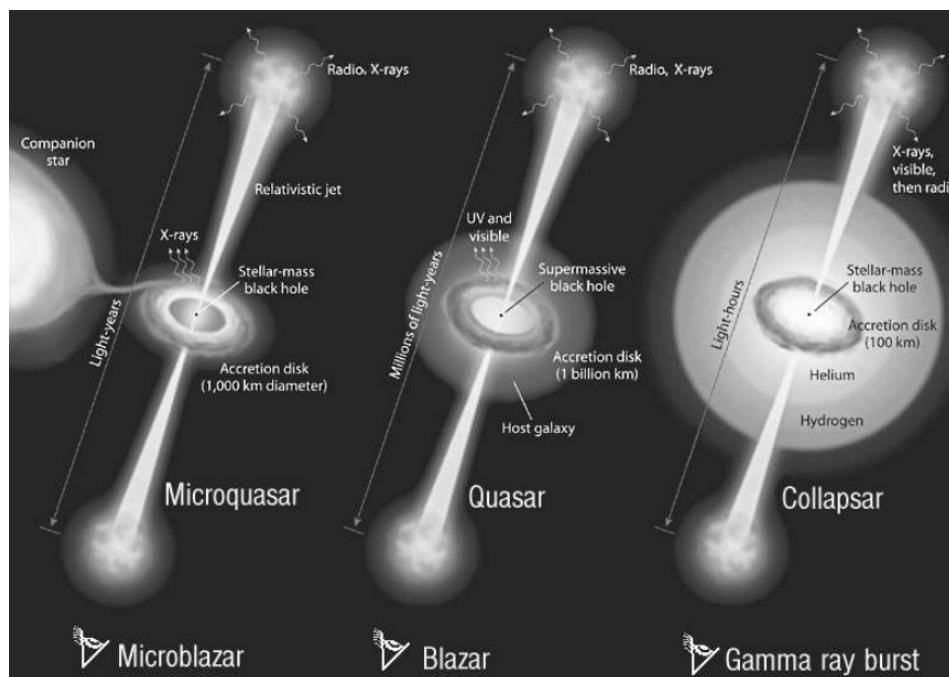


Zobrazenie spektier IGR J21335+5105, výsledná hmotnosť WD  
v tomto prípade:  $0.7 \pm 0.6 M_{\odot}$

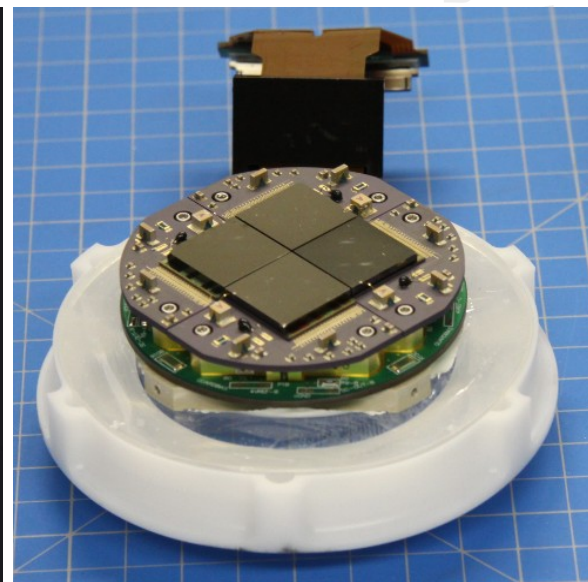
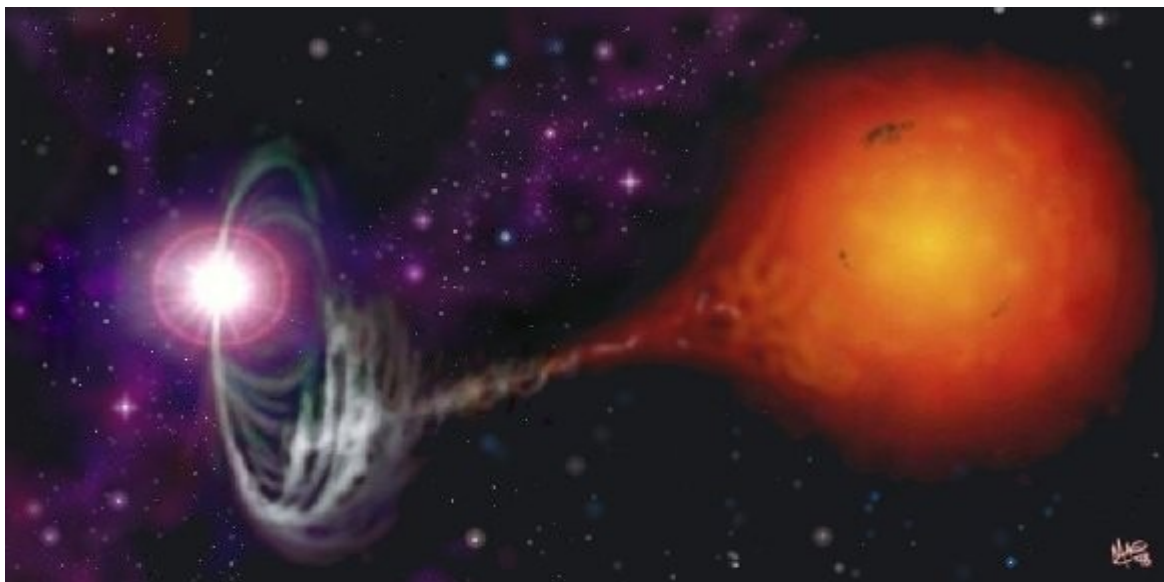


# Záver

- Opísaná a vyskúšaná metóda určovania hmotnosti bieleho trpaslíka v IP je jednou z mála možností ako určiť jeho hmotnosť v takýchto systémoch.
- Hmotnosť WD je fundamentálny parameter, distribúcia ich hmotností a výskum akréčneho toku majú široké dôsledky nie len v štúdiu dynamiky týchto systémov, ale aj v kozmologických úvahách.
- Akrécia hmoty na kompaktné objekty je jedným z najdôležitejších zdrojov energie vo vesmíre.
- V mojej práci som určil hmotnosti 7 bielych trpaslíkov. Výsledky korešpondujú s doteraz známimi hmotnosťami. Žiaľ sú zaťažené relatívne veľkými chybami. Tie sú spôsobené prevažne zložitou kalibráciou.



Mirabel (2002)



Ďakujem za pozornosť

Prácu je možné nájsť v databáze is.muni alebo  
<https://github.com/kockam/dipl>