

Мультиволновые наблюдения классических новых

Кирилл Соколовский

University of Illinois Urbana-Champaign

и

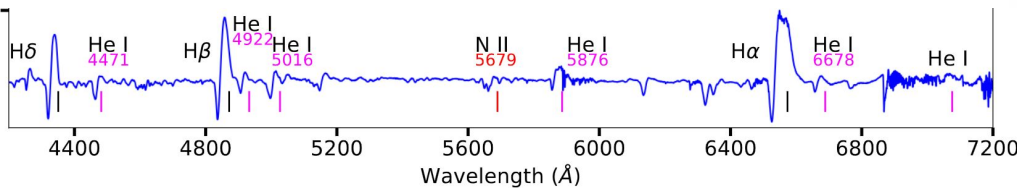
ГАИШ МГУ



Рисунок: черенковский телескоп HESS
смотрит на новую RS Змееносца ([DESY](#))

Новые звёзды - первые транзиенты

Первые спектры новых
полученные в конце XIX века
показали профили Р Суг и
навели на мысль что это
какой-то взрыв



Спектр новой V339 Del ([Aydi et al. arXiv:2309.07097](https://arxiv.org/abs/2309.07097))

The New Star in Carina.

GENTLEMEN,—

As announced in Circular No. 1 of the Harvard College Observatory, a new star has appeared in Carina. Its spectrum is practically identical with that of Nova Aurigæ and Nova Normæ. In 'Astronomy and Astro-Physics,' 1894, p. 201, I called attention to the improbability of two successive collisions between stars, occurring nearly in the line of sight, in both cases a bright- and a dark-line star being involved, and in each case the bright-line star being the one to recede from us. The same remarks apply to the theory of the collision of a star and a nebula. As a substitute I offered an explosion hypothesis, in which a dark sun suddenly gave out in all directions large quantities of hydrogen in an incandescent state. This would of course merely produce a spectrum with bright lines. But if the expulsion of hydrogen continued, the outer layers of gas would cool, producing absorption lines in the spectrum of the approaching hydrogen, but still leaving the spectrum lines of the receding hydrogen bright. Finally, when the expulsion ceased, we should find a heated spherical mass of gas, similar to a planetary nebula. It was shown that the velocities which were observed in the cases of these two novæ were less than 50 per cent. greater than what had occasionally been observed in our own Sun. The discovery of this third nova, with a spectrum identical with that of the two others, increases many times the improbability of the collision theories, and thereby strengthens the explosion hypothesis. If the latter is correct, we must look upon the phenomena presented by a nova not as indicating the birth of a new star, but rather as a cataclysm testifying to the death and final disrapture of an old one.

Yours truly,

Harvard College Observatory,
1895, Nov. 5.

WILLIAM H. PICKERING.

Что такое вспышка новой

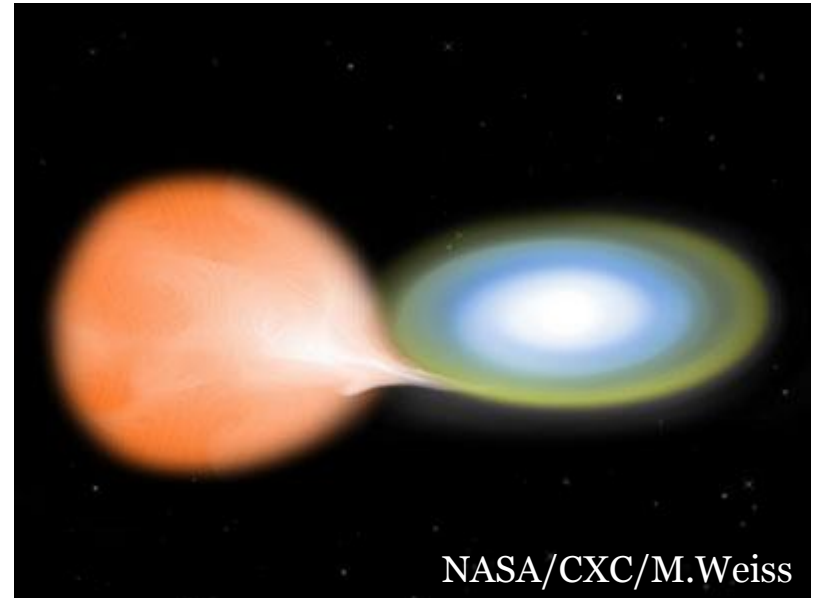
Резкое возобновление термоядерных реакций
в обогащенной водородом оболочке аккрецирующего
белого карлика

Двойня система ярчает

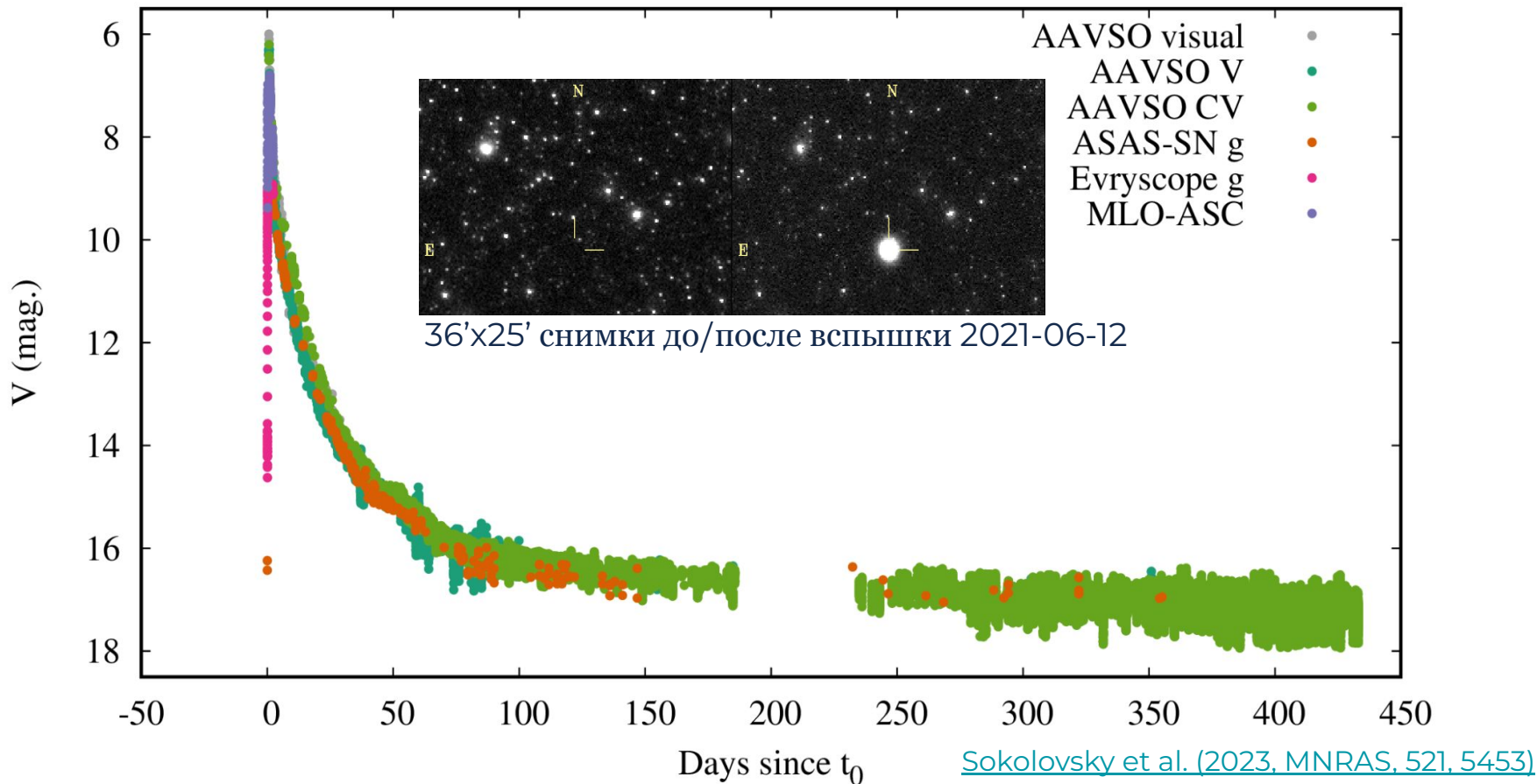
на **$8-15^m$** достигая

$M_V \sim -4^m$ до -10^m

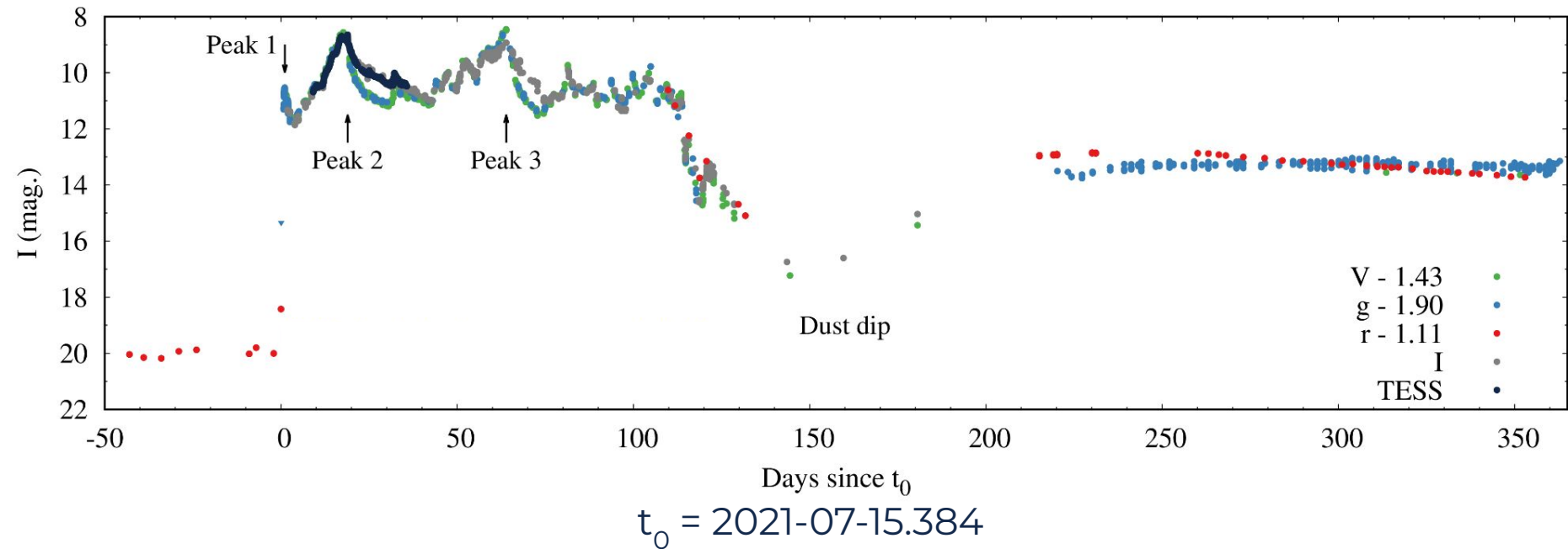
длится дни-месяцы



Кривая блеска (очень быстрой) новой V1674 Her



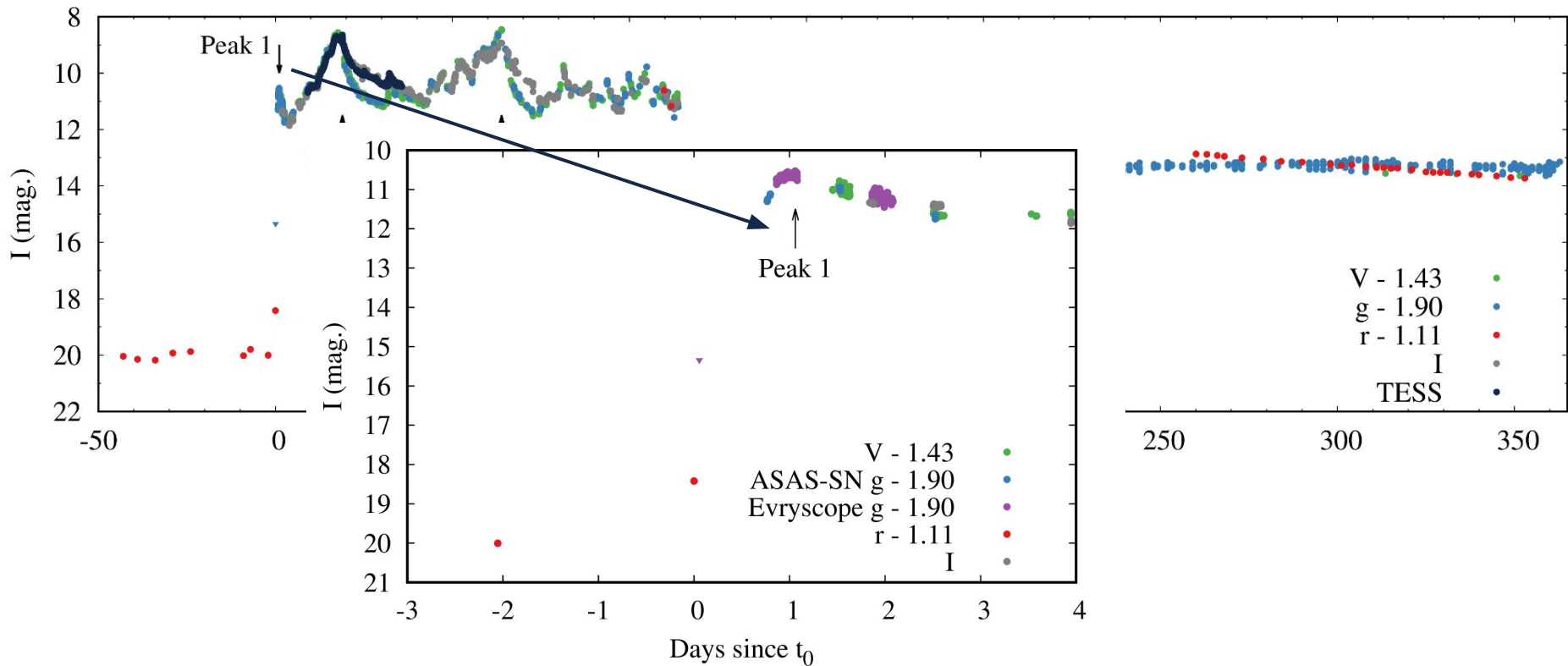
Кривая блеска медленной новой V606 Vul



Фотометрия ZTF, ASAS-SN, Evryscope, AAVSO и TESS

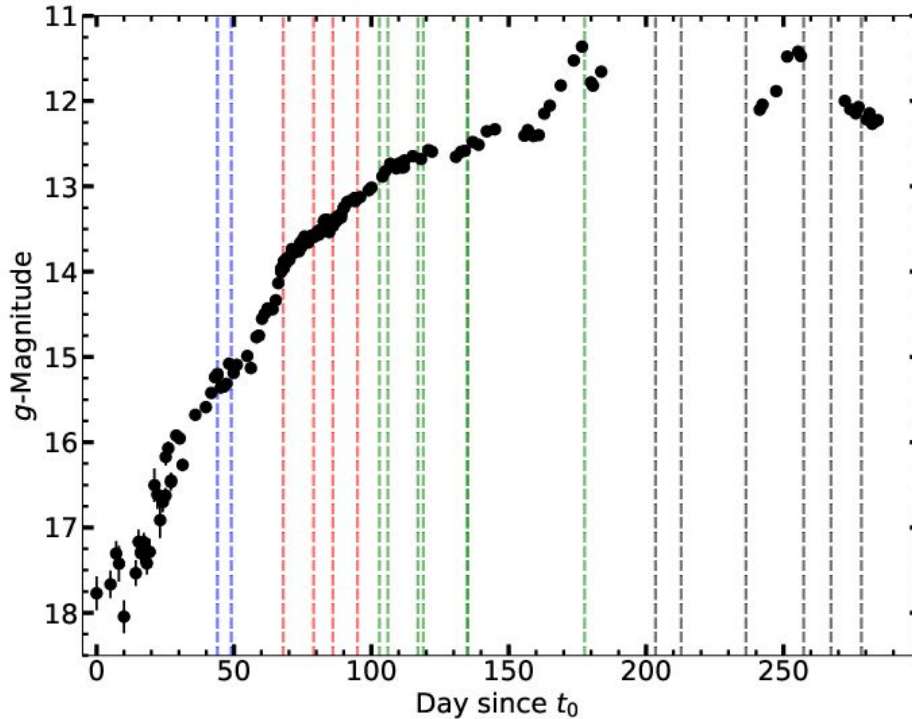
У медленной новой подъём всё равно быстрый

9.5 mag за 25 часов



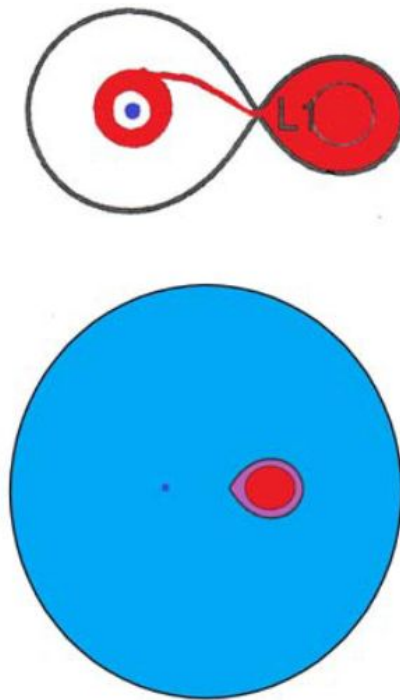
Бывают исключения: медленная новая Gaia22alz

6.5 mag за 180 дней



Что такое вспышка новой

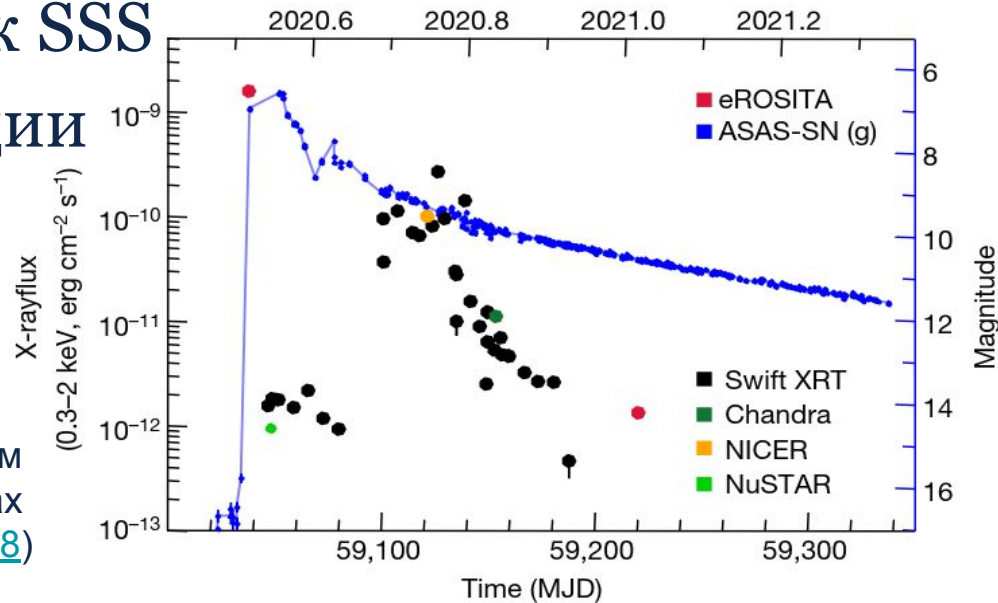
- Извержение, не взрыв
- Похоже на стадию с **общей оболочкой**
- Мультиволновой транзиент:
от ТэВ до радио



Рентгеновское излучение новой - стадии

- Рентгеновская вспышка (fireball)
- Ударные волны в оболочке новой
- Супермягкий источник SSS
- Возобновление аккреции

Кривая блеска новой YZ Ret в рентгеновском
и оптическом диапазонах
([Konig et al. 2022, Nature, V.605, I.7909, p.248](#))

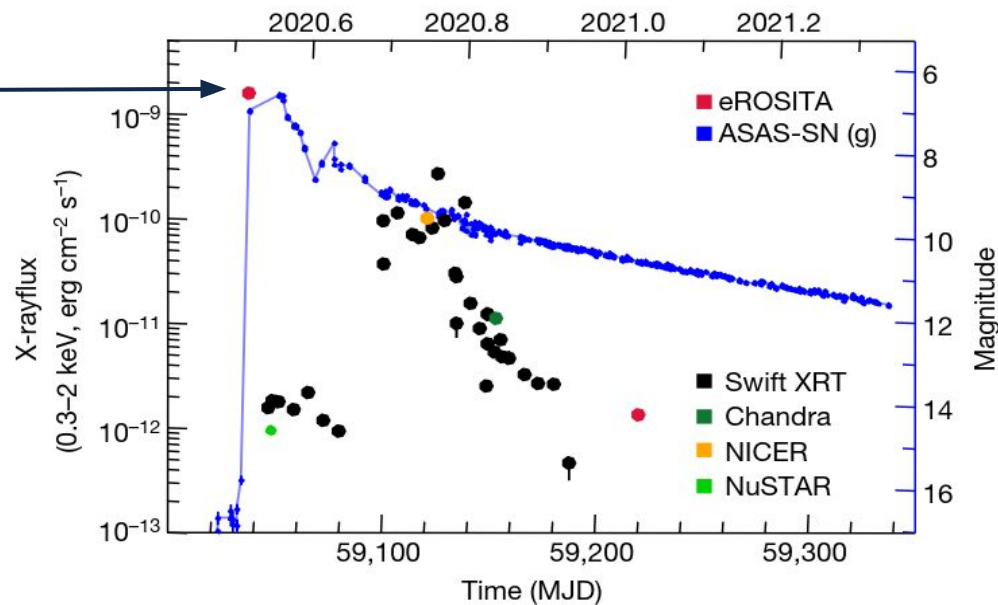


Первое наблюдение рентгеновской вспышки

Спектр-РГ/eROSITA, новая YZ Ret

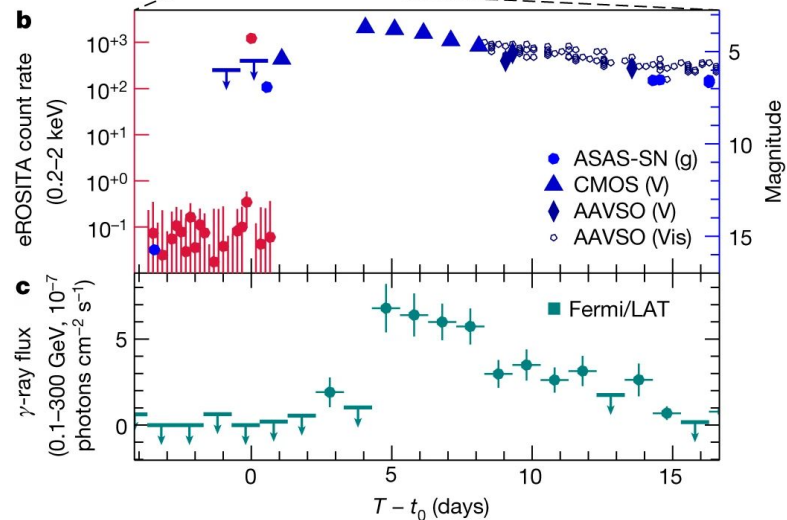
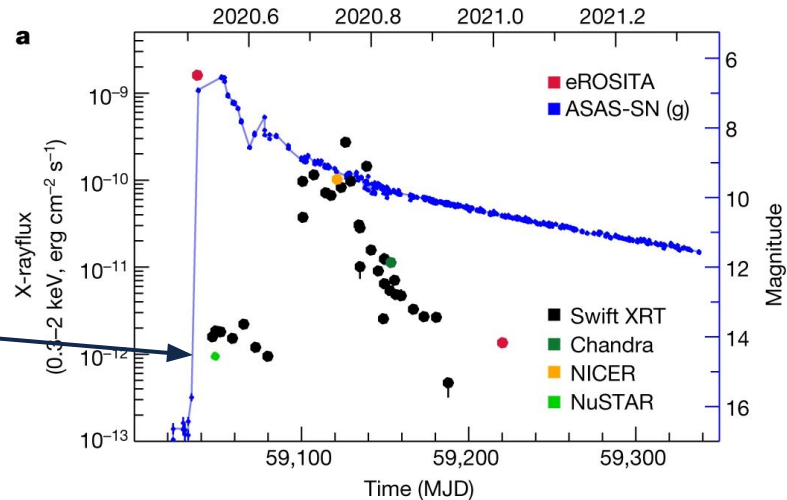
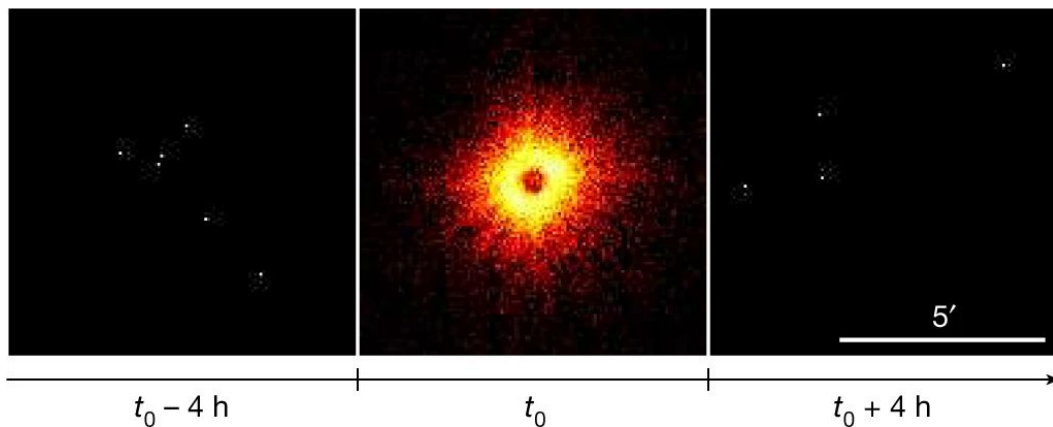


[Konig et al. 2022, Nature, V.605, I.7909, p.248](#)



За рентгеновская вспышкой следуют ударные волны

[Konig et al. 2022, Nature, V.605, I.7909, p.248](#)

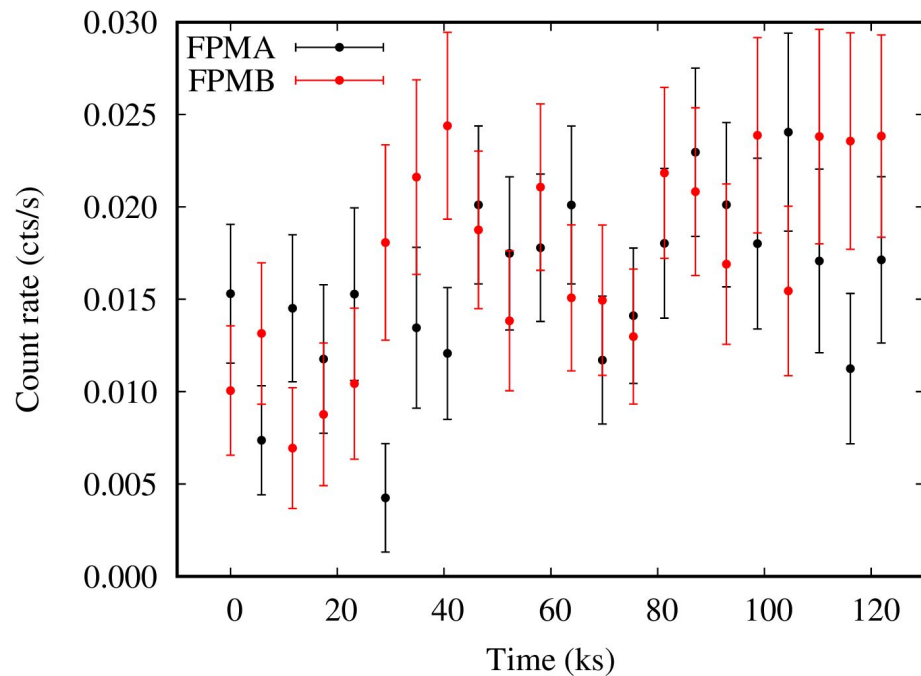
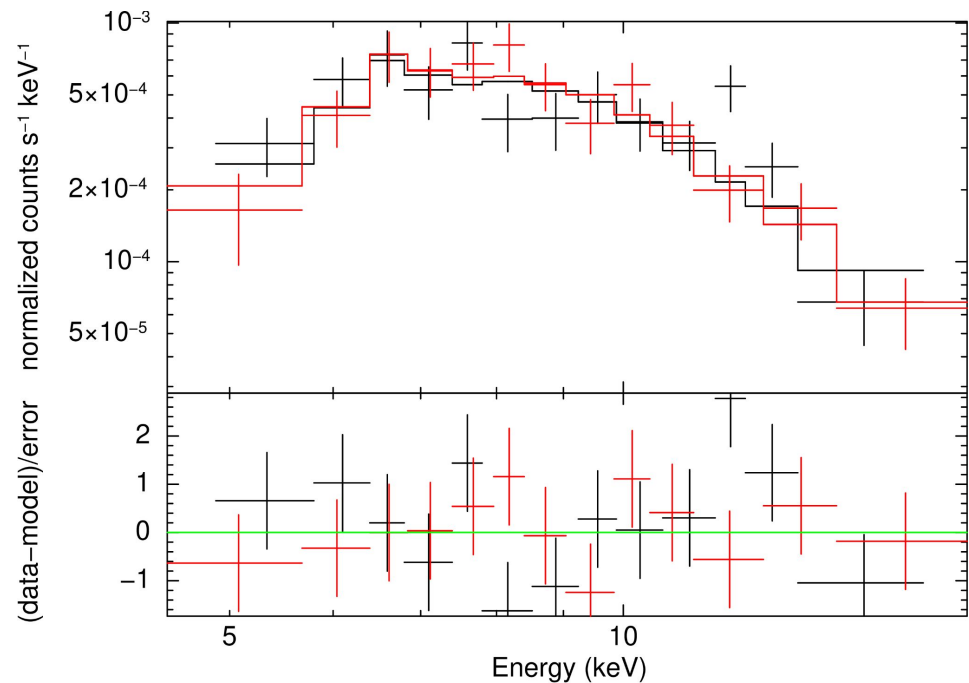


Ударные волны: наблюдения NuSTAR

Тепловой спектр с большим поглощением и избытком

CNO элементов

[Sokolovsky et al. \(2022, MNRAS, 514, 2239\)](#)



Ударные волны в YZ Ret: наблюдения NuSTAR

Тепловой спектр с большим поглощением и избытком CNO элементов

[Sokolovsky et al. \(2022, MNRAS, 514, 2239\)](#)

$vphabs N_H$ (10^{22} cm^{-2})	kT (keV)	Γ	Fe/Fe_{\odot}	N/N_{\odot} O/O_{\odot}	3.5–78.0 keV Flux $\log_{10}(\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$	unabs. 3.5–78.0 keV Flux $\log_{10}(\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$	p	χ^2	d.o.f.
4.7 ± 33.2		3.3 ± 0.7	1*		constant*phabs*vphabs*powerlaw 250 ± 4300 -12.22 ± 0.07 -11.73 ± 0.11		0.20	26.20	21
6.1 ± 5.7	4.5 ± 0.9	1.2*	1*	72 ± 66	-12.10 ± 0.06	-11.96 ± 0.09 vapec < -12.47^* powerlaw	0.05	42.19	29
71.7 ± 14.0	11.4 ± 2.1		1*	1*	-12.18 ± 0.05	-11.91 ± 0.05	0.00	43.93	22
131.3 ± 25.8	5.6 ± 1.2		0.2 ± 0.1	1*	-12.32 ± 0.04	-11.84 ± 0.09	0.31	23.58	21
7.3 ± 7.3	6.5 ± 1.5		1*	52 ± 53	-12.30 ± 0.05	-11.96 ± 0.06	0.29	24.12	21

NuSTAR: почему не степенной спектр?

И почему избыток CNO элементов, а не недостаток Fe?

[Sokolovsky et al. \(2022, MNRAS, 514, 2239\)](#)

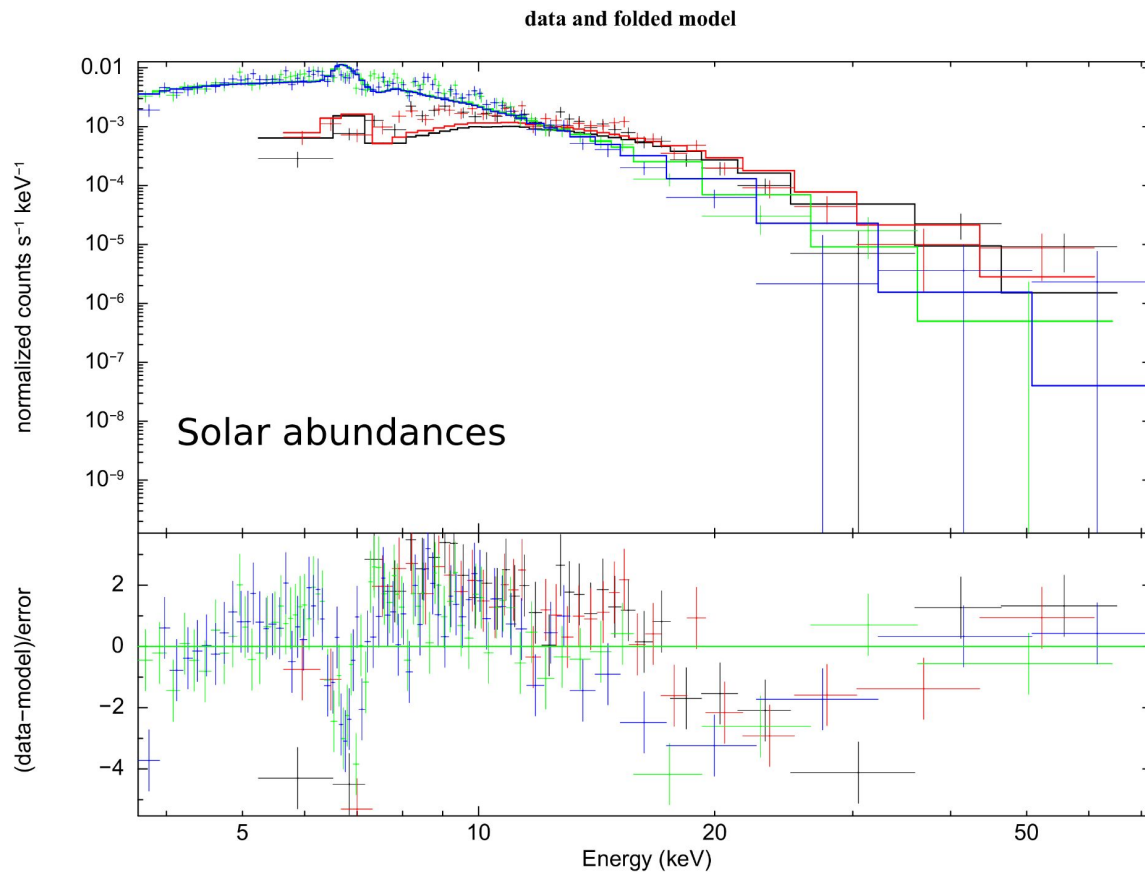
$vphabs N_H$ (10^{22} cm^{-2})	kT (keV)	Γ	Fe/Fe_{\odot}	N/N_{\odot} O/O_{\odot}	3.5–78.0 keV Flux $\log_{10}(\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$	unabs. 3.5–78.0 keV Flux $\log_{10}(\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$	p	χ^2	d.o.f.	
4.7 ± 33.2		3.3 ± 0.7	1*	constant*phabs*vphabs*powerlaw 250 ± 4300 -12.22 ± 0.07			-11.73 ± 0.11	0.20	26.20	21
6.1 ± 5.7	4.5 ± 0.9	1.2*	1*	constant*phabs*vphabs(vapec+powerlaw) 72 ± 66 -12.10 ± 0.06			-11.96 ± 0.09 vapec < -12.47^* powerlaw	0.05	42.19	29
71.7 ± 14.0	11.4 ± 2.1		1*	bad model constant*phabs*vphabs*vapec 1* -12.18 ± 0.05			-11.91 ± 0.05	0.00	43.93	22
131.3 ± 25.8	5.6 ± 1.2		0.2 ± 0.1	constant*phabs*vphabs*vapec 1* -12.32 ± 0.04			-11.84 ± 0.09	0.31	23.58	21
7.3 ± 7.3	6.5 ± 1.5		1*	preferred model constant*phabs*vphabs*vapec 52 ± 53 -12.30 ± 0.05			-11.96 ± 0.06	0.29	24.12	21

NuSTAR: почему не степенной спектр?

И почему избыток CNO элементов, а не недостаток Fe?

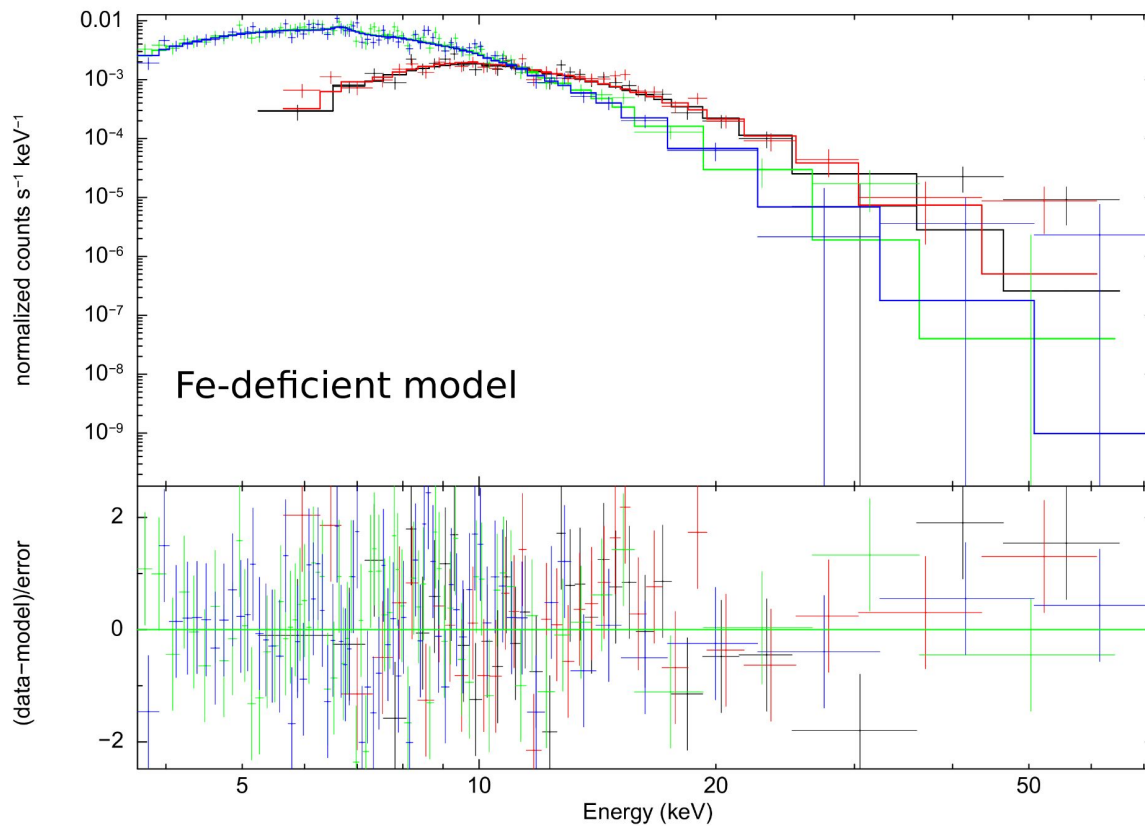
- Теоретические ожидания что нетепловые процессы не должны давать мягкий спектр ([Gomez-Gomar et al. 1998](#); [Vurm & Metzger 2018](#))
- Наблюдения более яркой новой V906 Car с NuSTAR и XMM-Newton/RGS
- Оптическая спектроскопия

V906 Car - 2 наблюдения NuSTAR



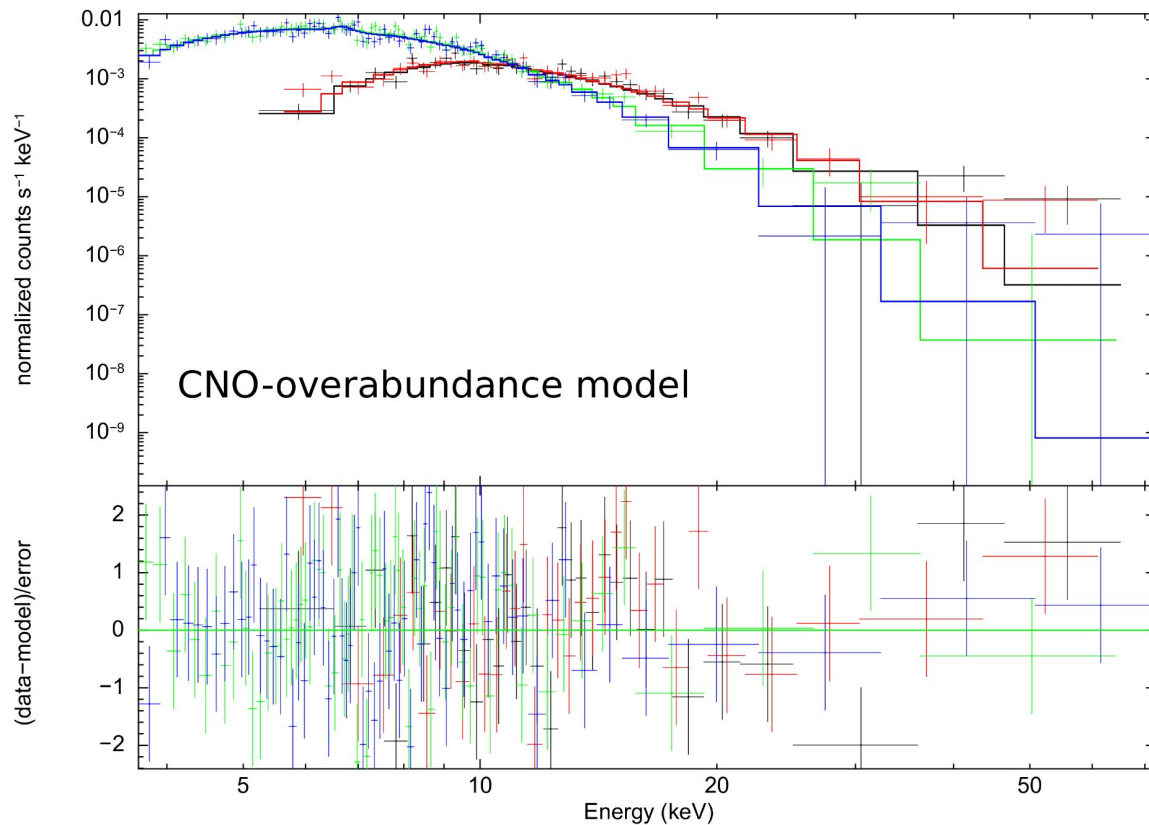
V906 Car - 2 наблюдения NuSTAR

data and folded model

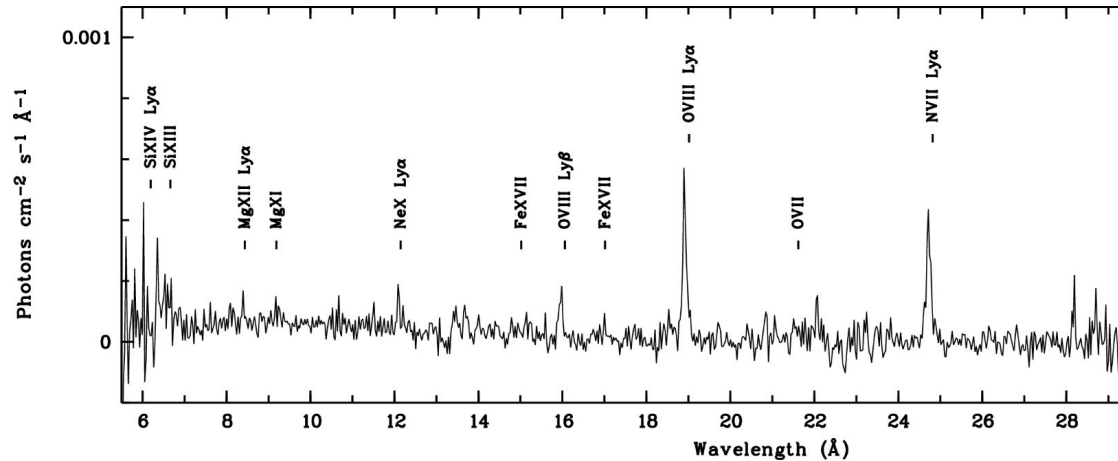


V906 Car - 2 наблюдения NuSTAR

data and folded model

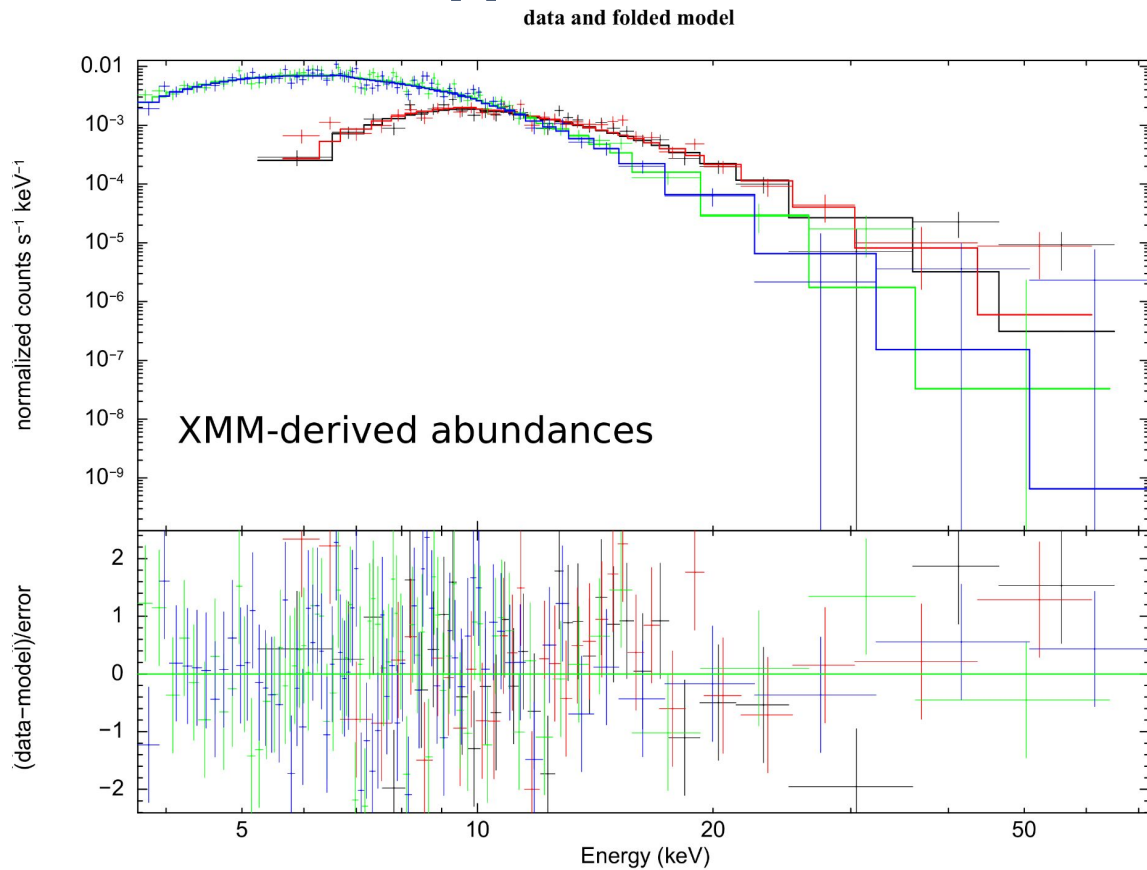


V906 Car - спектроскопия с XMM-Newton/RGS



Parameter	Value	Comment
phabs		
$N_{\text{H}} (\times 10^{21} \text{ cm}^{-2})$	$2.4^{+0.4}_{-0.3}$	
vphabs		
$N_{\text{H}} (\times 10^{21} \text{ cm}^{-2})$	$0.12^{+0.03}_{-0.03}$	
bvapec		
kT (keV)	$1.07^{+0.04}_{-0.01}$	
redshift	-2.9×10^{-3}	fixed
velocity (km s^{-1})	378	fixed
N/N_{\odot}	345^{+93}_{-70}	
O/O_{\odot}	29^{+7}_{-5}	
$\text{Ne}/\text{Ne}_{\odot}$	$2.2^{+0.6}_{-0.5}$	
$\text{Mg}/\text{Mg}_{\odot}$	$0.6^{+0.2}_{-0.1}$	
$\text{Si}/\text{Si}_{\odot}$	$1.1^{+0.2}_{-0.2}$	
$\text{Fe}/\text{Fe}_{\odot}$	<0.1	
χ^2_{ν}	1.15	
d.o.f.	1837	

V906 Car - 2 наблюдения NuSTAR

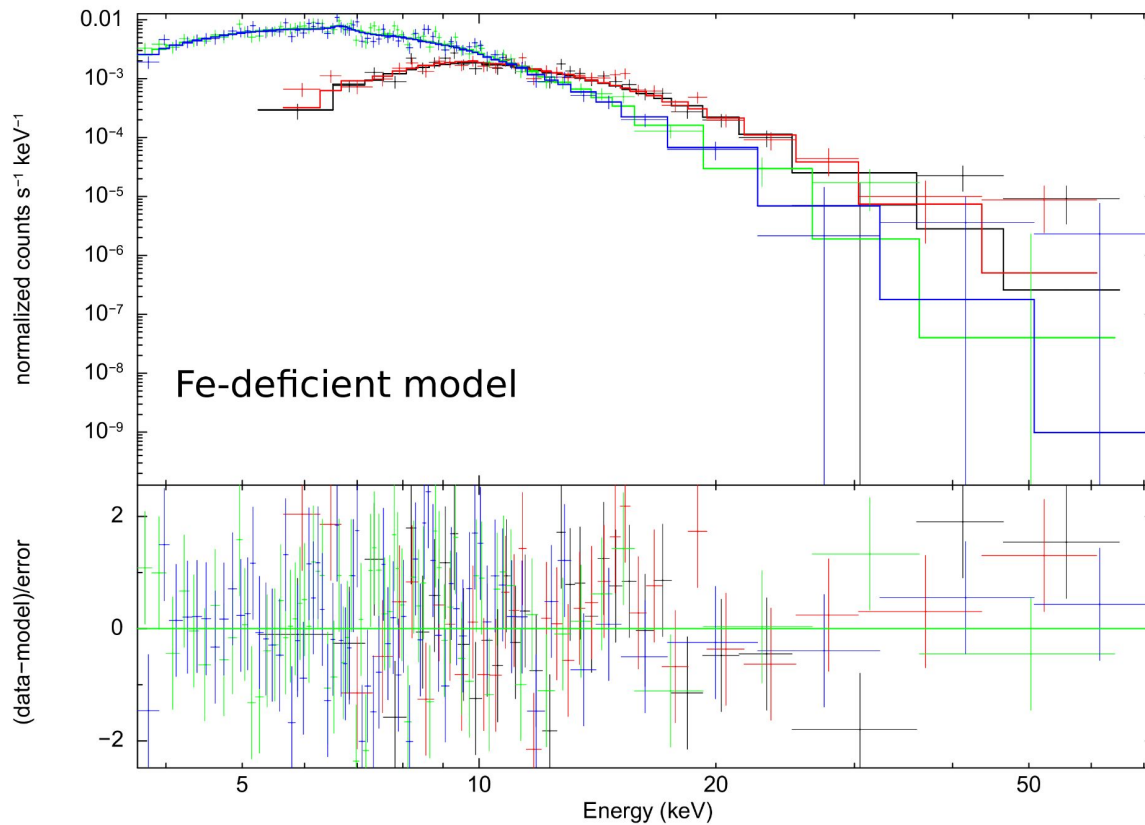


V906 Car - 2 наблюдения NuSTAR

$t - t_0$ (days)	vphabs N_{H} (10^{22} cm^{-2})	kT (keV)	FeCoNi abundances	CNO abundances	C_{FPMB}	3.5–78.0 keV Flux $\log_{10}(\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$	3.5–78.0 keV Flux ₀ $\log_{10}(\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$
Solar abundances model: $\chi_{\text{red}}^2 = 3.1047$, d.o.f. = 200, $p = 0.00$							
36	165 ± 14	13.7 ± 1.7	1.0	1.0	1.23 ± 0.08	-11.570 ± 0.012	-11.068 ± 0.012
57	16.4 ± 1.6	7.5 ± 0.3	—	—	1.01 ± 0.04	-11.454 ± 0.007	-11.179 ± 0.007
Fe-deficient model: $\chi_{\text{red}}^2 = 1.0281$, d.o.f. = 199, $p = 0.38$							
36	293 ± 20	8.0 ± 0.9	0.09 ± 0.03	1.0	1.11 ± 0.06	-11.570 ± 0.012	-11.068 ± 0.012
57	44.8 ± 2.7	4.4 ± 0.2	—	—	1.01 ± 0.03	-11.454 ± 0.007	-11.179 ± 0.007
CNO-overabundance model: $\chi_{\text{red}}^2 = 1.0457$, d.o.f. = 199, $p = 0.31$							
36	4.3 ± 2.3	8.6 ± 0.9	1.0	210 ± 110	1.11 ± 0.06	-11.564 ± 0.012	-11.143 ± 0.012
57	0.6 ± 0.3	4.4 ± 0.2	—	—	1.01 ± 0.03	-11.454 ± 0.007	-11.221 ± 0.007
<i>XMM</i> -derived abundances model: $\chi_{\text{red}}^2 = 1.0552$, d.o.f. = 200, $p = 0.28$							
36	19.3 ± 1.3	8.6 ± 0.8	0.10	C = 0, O = 29,	1.10 ± 0.06	-11.566 ± 0.012	-11.143 ± 0.012
57	2.6 ± 0.2	4.3 ± 0.2	—	N = 345	1.01 ± 0.03	-11.455 ± 0.007	-11.210 ± 0.007
<i>XMM</i> abundances and fixed Galactic column model: $\chi_{\text{red}}^2 = 1.0547$, d.o.f. = 200, $p = 0.28$							
36	19.3 ± 1.3	8.6 ± 0.8	0.10	C = 0, O = 29,	1.11 ± 0.06	-11.566 ± 0.012	-11.141 ± 0.012
57	2.64 ± 0.16	4.3 ± 0.2	—	N = 345	1.01 ± 0.03	-11.455 ± 0.007	-11.209 ± 0.007
Two-temperature plasma model: $\chi_{\text{red}}^2 = 1.0292$, d.o.f. = 196, $p = 0.37$							
36	27.6 ± 4.3	$6.9 \pm 0.7, 0.57 \pm 0.07$	0.10	C = 0, O = 29,	1.12 ± 0.06	-11.582 ± 0.012	-9.624 ± 0.012
57	3.5 ± 1.5	$4.1 \pm 0.4, 0.58 \pm 0.17$	—	N = 345	1.01 ± 0.03	-11.456 ± 0.007	-11.074 ± 0.007
Power-law model: $\chi_{\text{red}}^2 = 1.2667$, d.o.f. = 200, $p = 0.006$							
36	24.4 ± 1.8	$\Gamma = 3.30 \pm 0.18$	0.10	C = 0, O = 29,	1.10 ± 0.06	-11.500 ± 0.012	-10.833 ± 0.012
57	4.5 ± 0.2	$\Gamma = 3.92 \pm 0.10$	—	N = 345	1.01 ± 0.03	-11.426 ± 0.007	-10.949 ± 0.007

V906 Car - 2 наблюдения NuSTAR

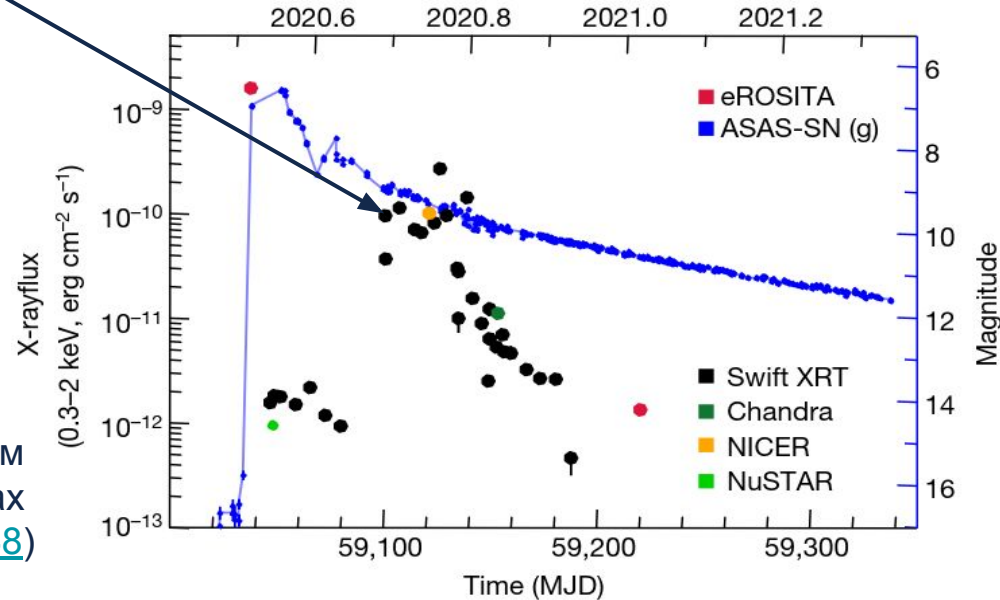
data and folded model



Стадия супермягкого источника - SSS

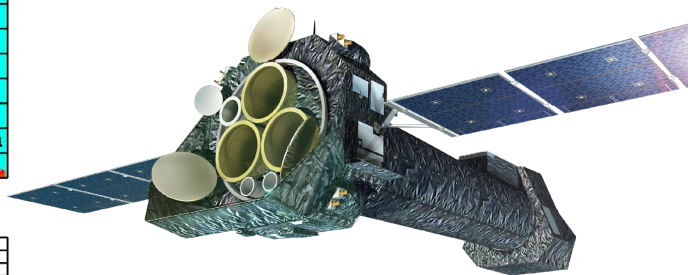
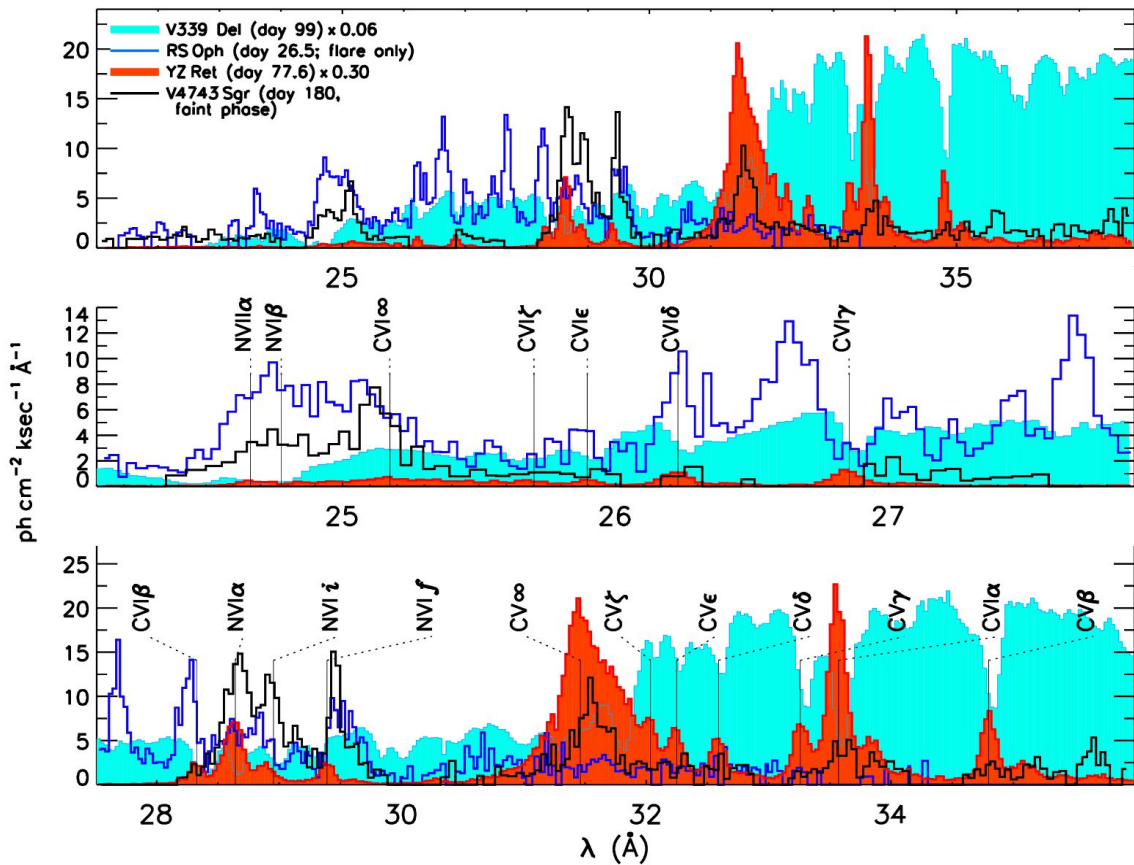
Оболочка новой рассеивается, поглощение падает и мы начинаем видеть SSS.

Кривая блеска новой YZ Ret в рентгеновском и оптическом диапазонах
([Konig et al. 2022, Nature, V.605, I.7909, p.248](#))



SSS из линий в YZ Ret - XMM-Newton/RGS

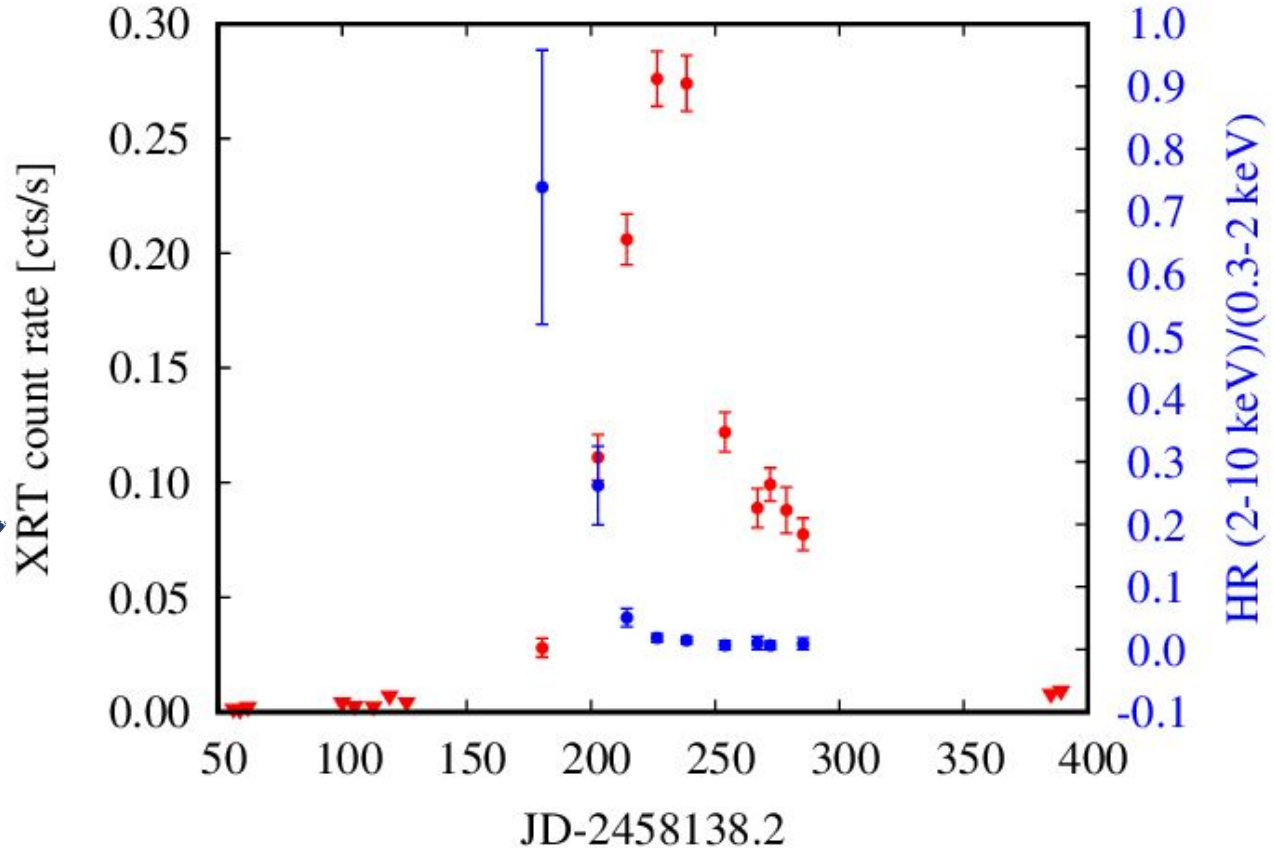
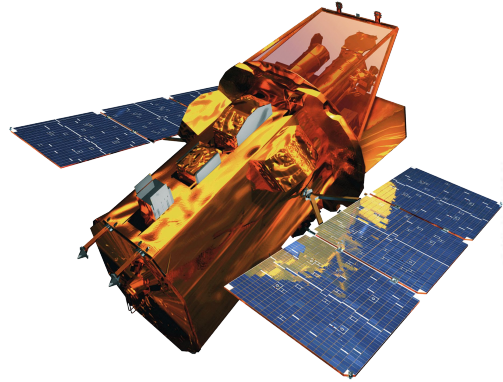
[Sokolovsky et al. \(2022, MNRAS, 514, 2239\)](#)



В рентгене новую хорошо видно в стадии SSS

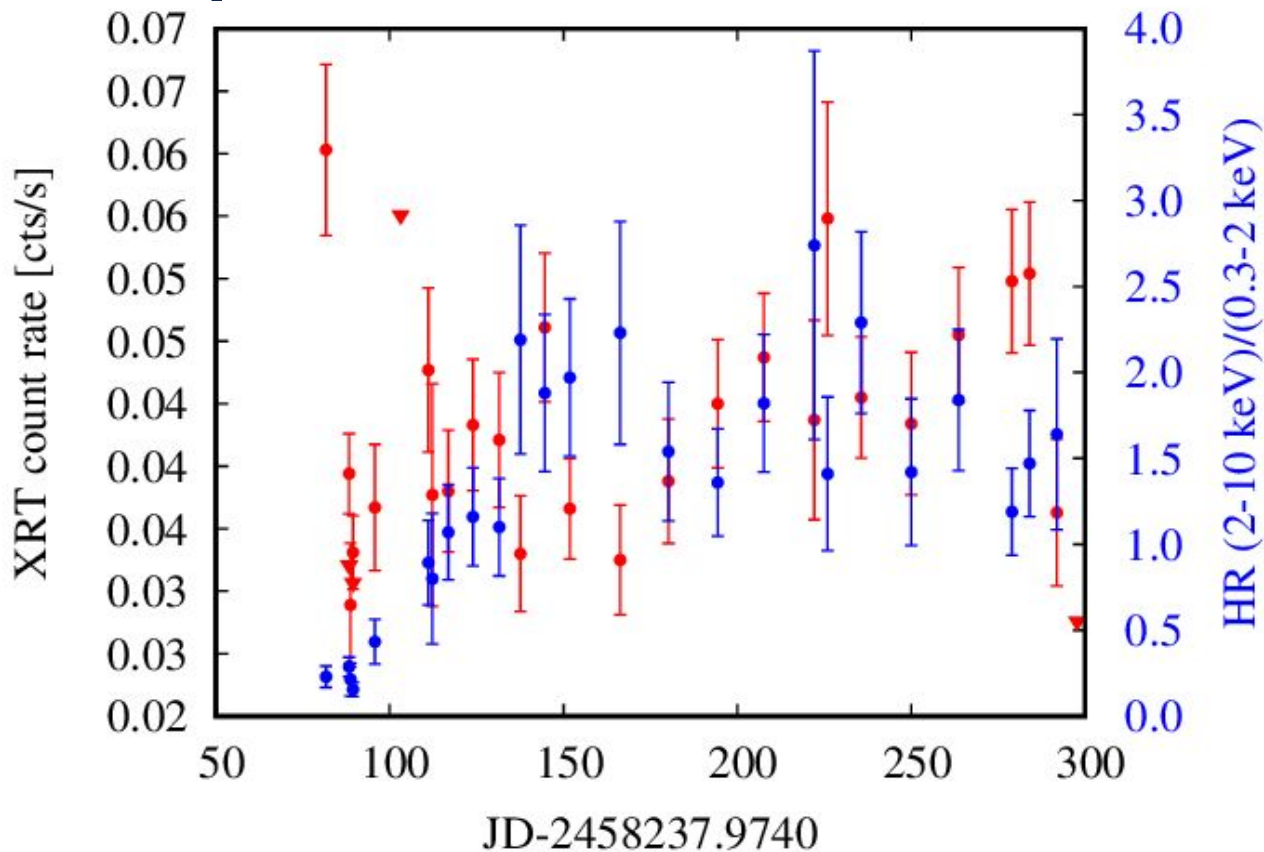
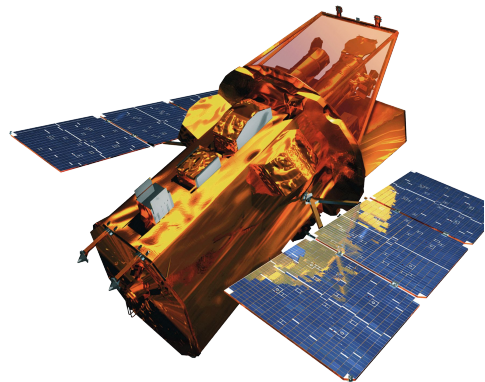
FM Cir -

Swift/XRT



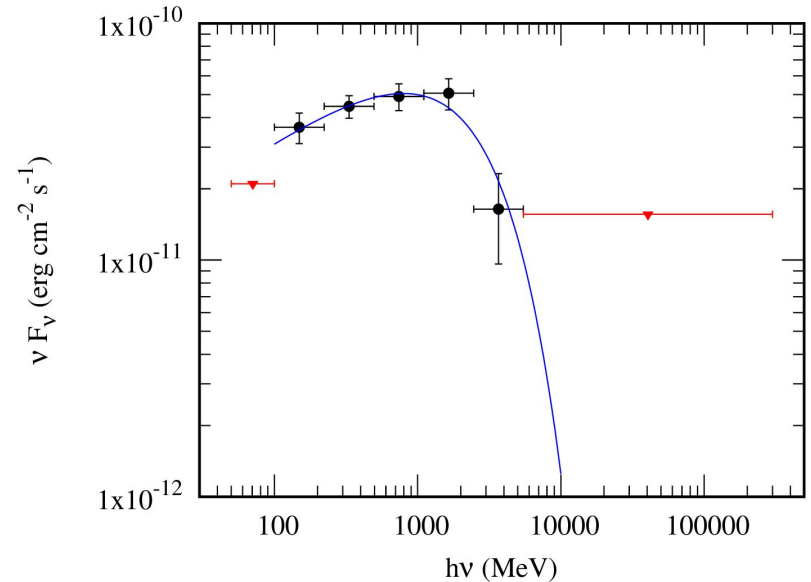
SSS затухает, аккреция возобновляется

V392 Per -
Swift/XRT



Возвращаясь к ударным волнам - ГэВ излучение YZ Ret - Fermi/LAT

Band	Luminosity
γ -ray/optical peak at $t_0 + 3.6$ d:	
0.1–300 GeV	$3.3 \times 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$
bolometric optical	$8.1 \times 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$
<i>NuSTAR</i> epoch at $t_0 + 10$ d:	
0.1–300 GeV	$1.4 \times 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$
3.5–78 keV	$1 \times 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$
extrapolated 0.3–78 keV	$2 \times 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$
bolometric optical	$2.7 \times 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$



Моделирование L_{γ}/L_x - [Metzger et al. \(2015, MNRAS, 450, 2739\)](#)

Поиск нейтрино с IceCube - [Abbasi et al. \(2023, ApJ, 953, 160\)](#)

Embedded novae: V407 Cyg и RS Oph

А что во что врезается?

Отдельная история - новые,
погруженные в ветер
красного гиганта.

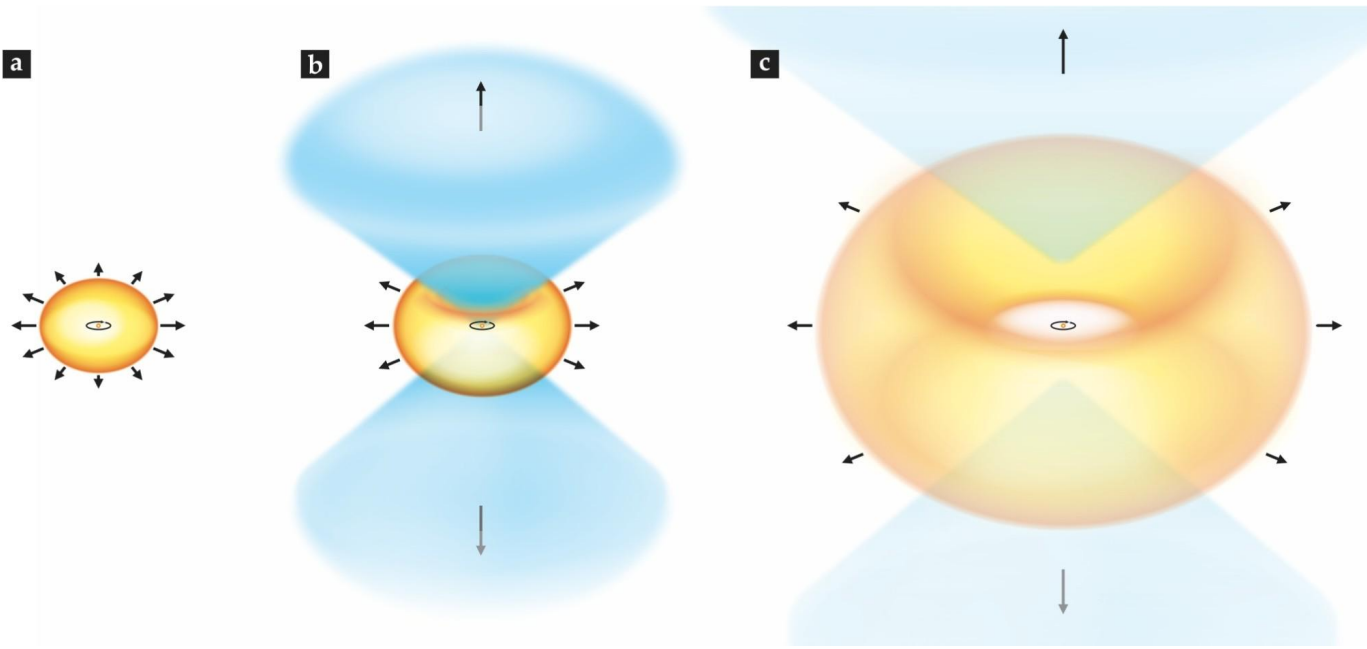
Но большинство - не такие!



Рисунок: черенковский телескоп HESS
смотрит на новую RS Змееносца ([DESY](#))

Медленный тор и быстрый ветер?

- Оптические спектры показывают системы линий с 2 и более скоростями ([Aydi et al. 2020, ApJ, 905, 62](#))
- Моделирование профиля линии и ИК/радио изображения.



Fermi/LAT видит V1674 Her

через 6 ч после начала вспышки новой, а $P_{orb} = 3.67$ ч

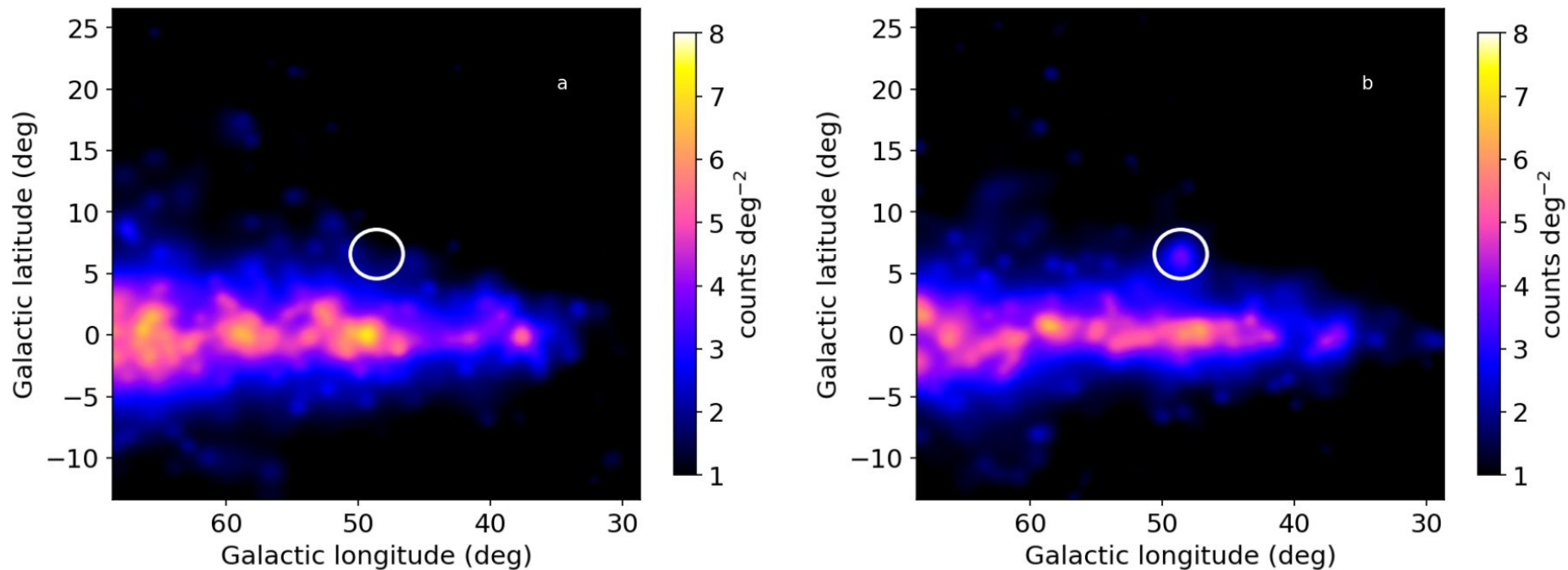
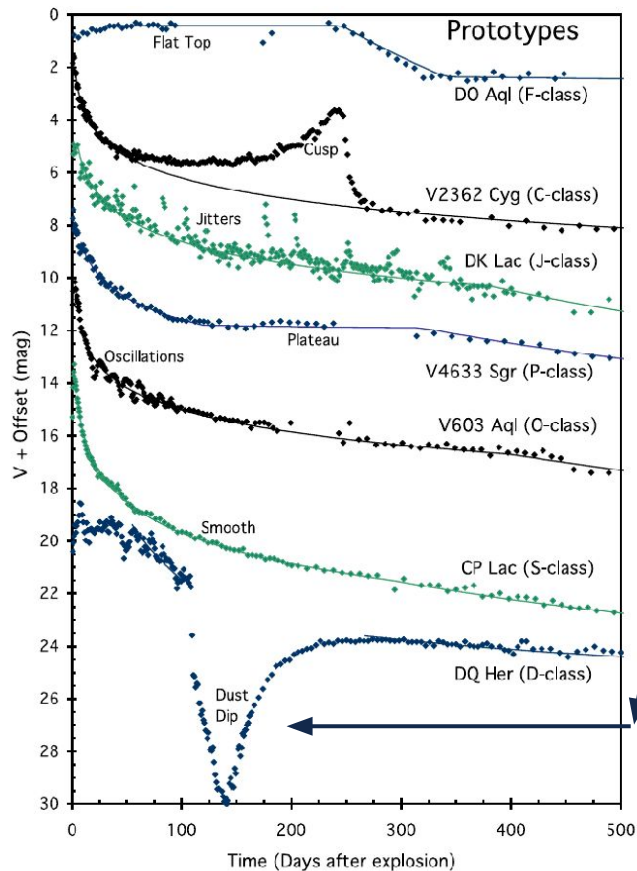


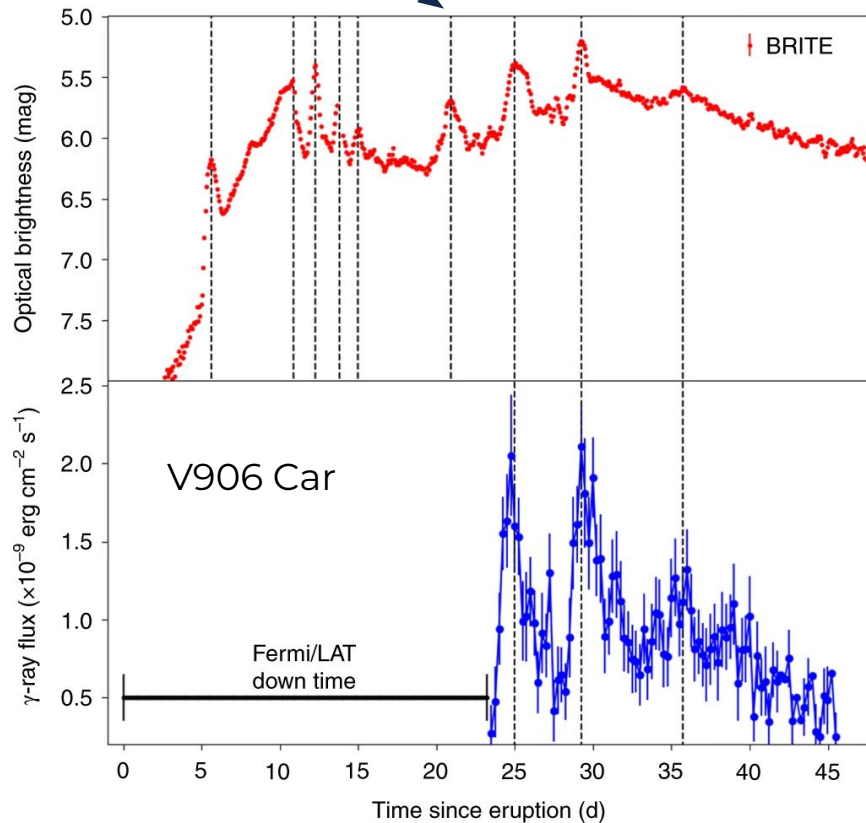
Figure 5. The *Fermi*/LAT smoothed 0.1–2 GeV count images centered on V1674 Her. The left image (a) covers the time interval 2021-06-10 10:34 to 2021-06-11 08:34 UT before the eruption. The right image (b) covers the 18 h interval when the γ -ray emission was detected. The white circle marks the optical position of the nova.

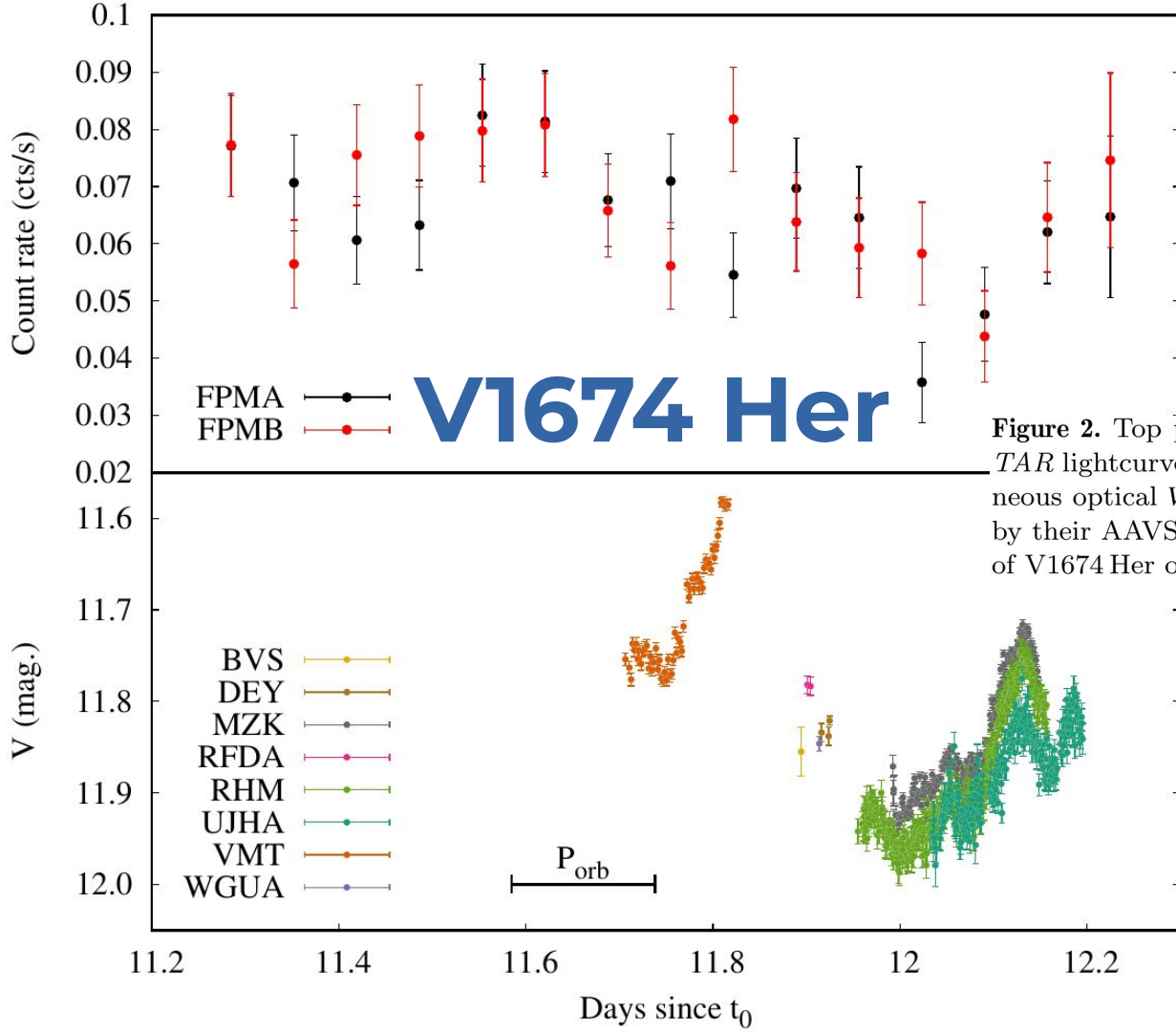
Ударные волны и вспышки в оптике

dust dips + shock-powered flares + unexplained features



Prototypes of light curves classes. The seven binned light curves show the distinct features of each class





NuSTAR

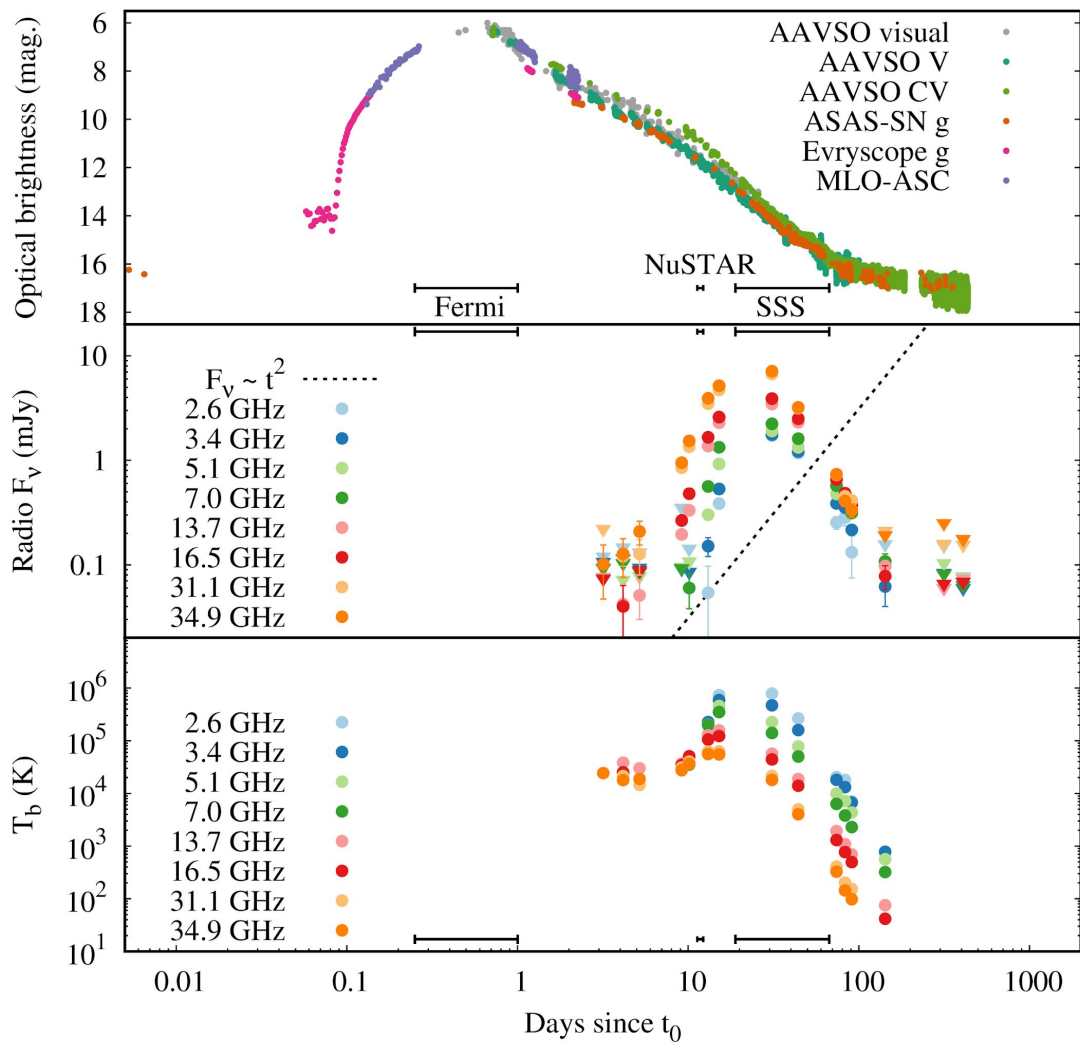
X-ray 3-30 keV

Figure 2. Top panel: the background-subtracted 3.0–30 keV *NuSTAR* lightcurve of V1674 Her (see § 2.1.1). Bottom panel: simultaneous optical V band photometry by multiple observers identified by their AAVSO codes. The horizontal bar indicates the duration of V1674 Her orbital period.

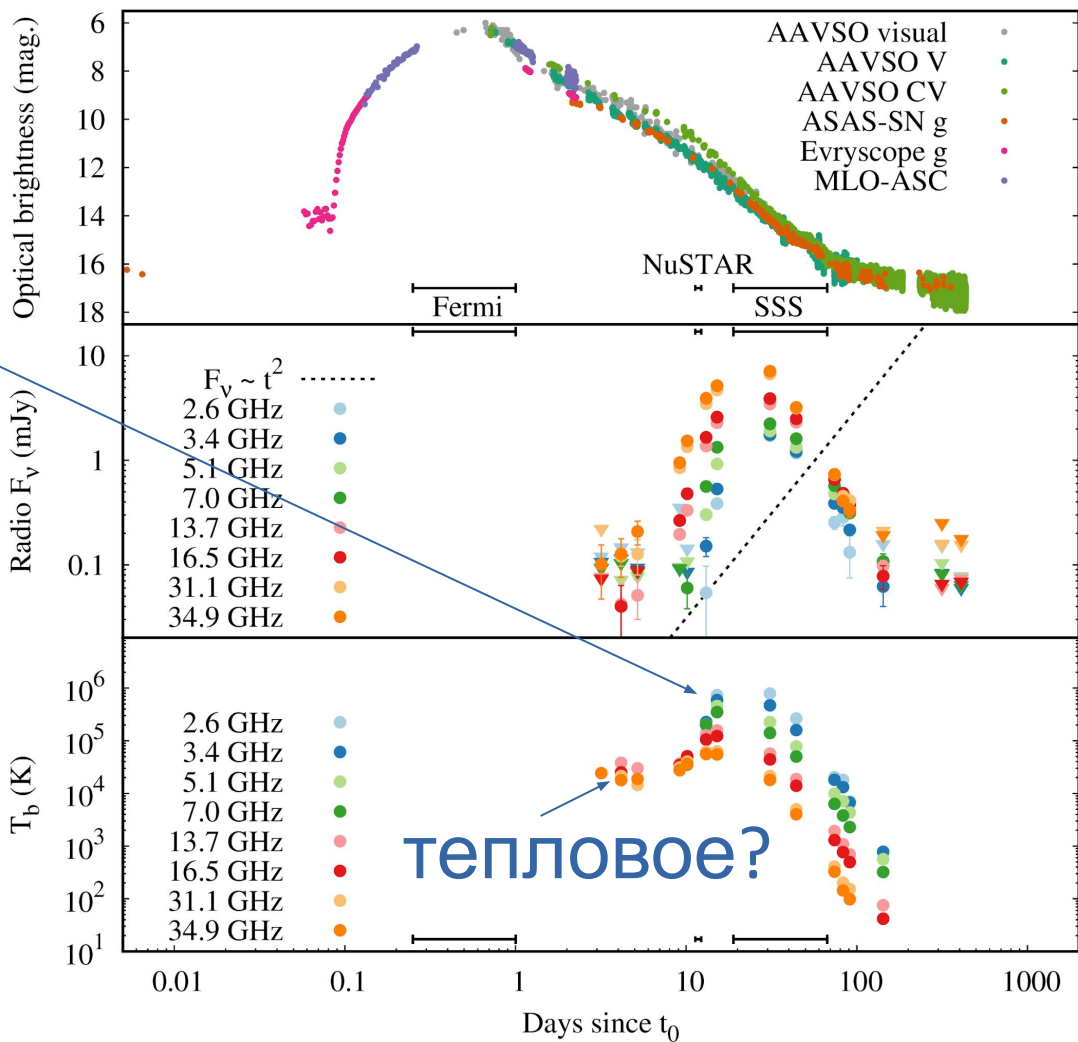
AAVSO

optical V filter

V1674 Her - VLA



Высокая T_b
указывает на
синхротрон



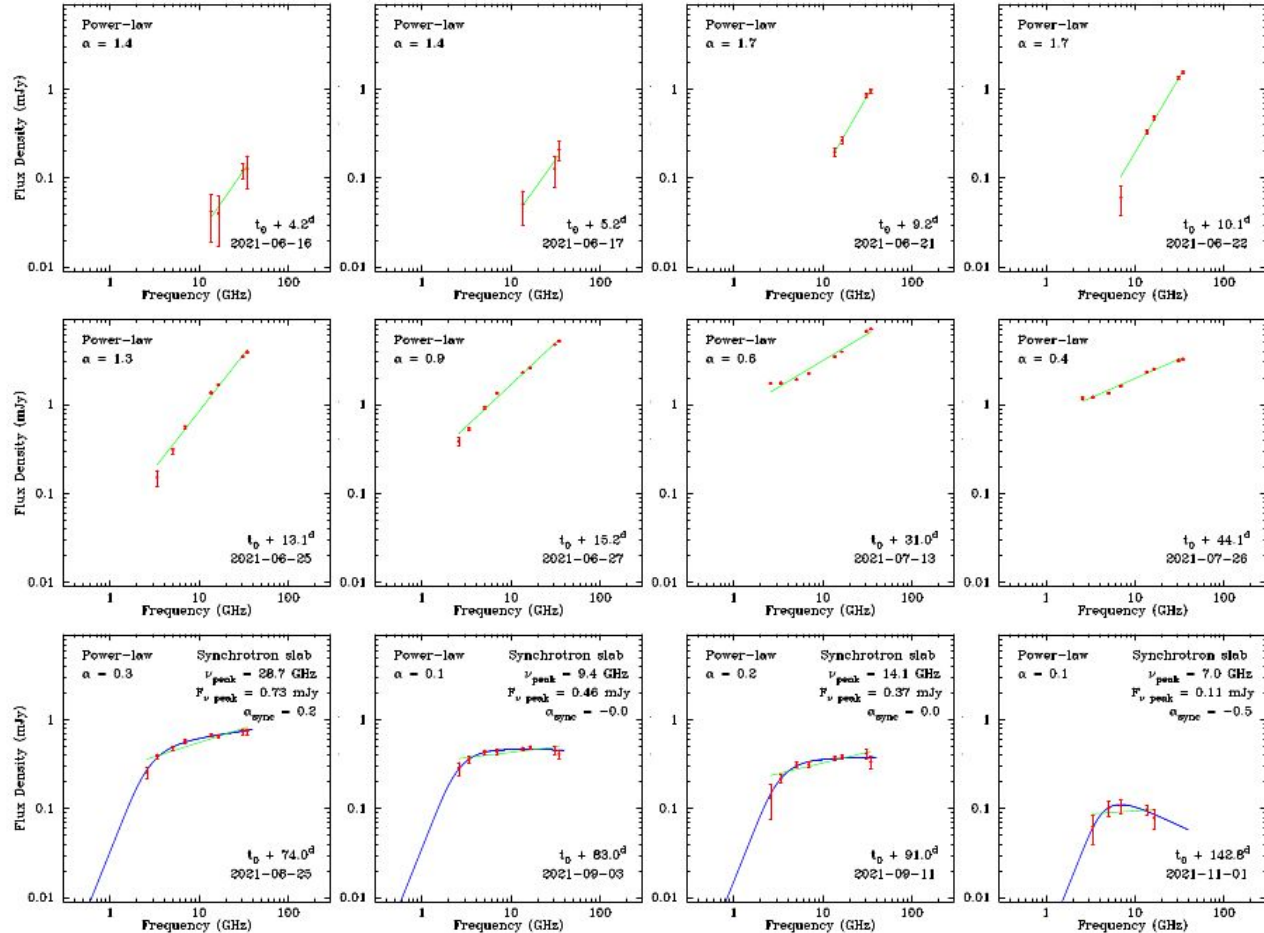


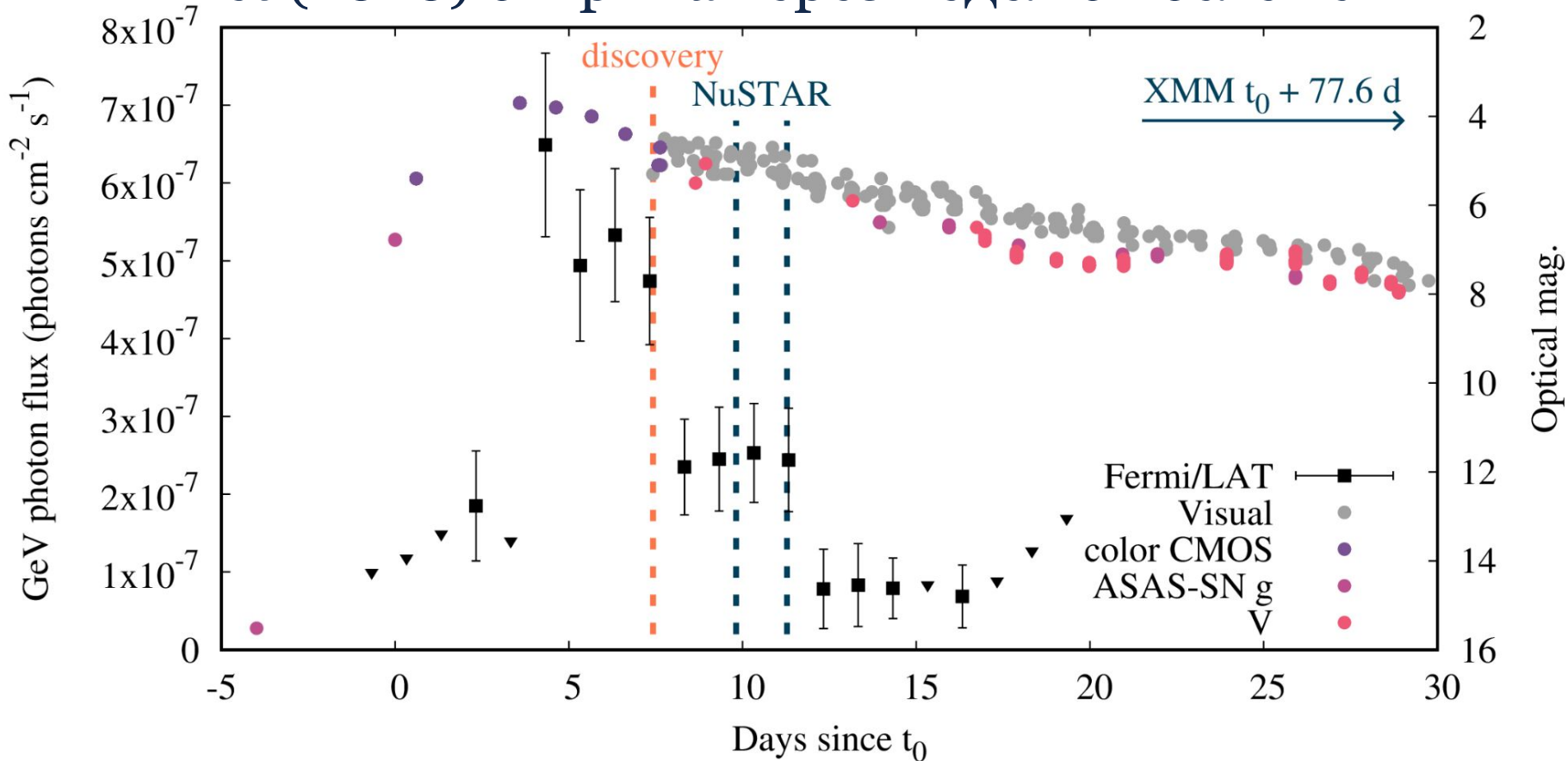
Figure 8. The evolution of the radio spectrum of V1674 Her. The VLA flux density measurements (red) are compared to the simple power-law fit (green line) and a spectrum of a uniform synchrotron-emitting slab. The uncertainty on the reported spectral index values is ~ 0.3 for the power law fits on 2021-06-16, 2021-06-17, 2021-11-01 and $\lesssim 0.1$ in all other cases. The synchrotron slab spectrum can approximate the observations only at late epochs. The spectrum shape is most likely determined by the non-uniform optical depth effects across the source.

Интерпретация радио спектров

- Высокая T_b - **синхротрон**
- Инвертированный (жесткий) спектр - **поглощение**
- **Не синхротронное** самопоглощение - нужно слишком мощное магнитное поле
- Возможно **свободно-свободное** поглощение или даже **эффект Разина-Цитовича** (подавление синхротрона в плотной плазме)
- **Рентгеновской плазмы** наблюдаемой NuSTAR **слишком мало** чтобы тепловым образом светить или поглощать в радио

Обнаружение новых - не вполне решенная задача

YZ Ret (2020) открыта через неделю после вспышки

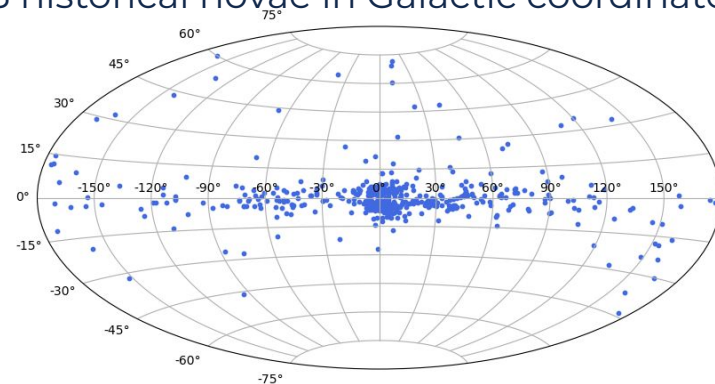


Должно быть 25 новых/год (находят 10/год)

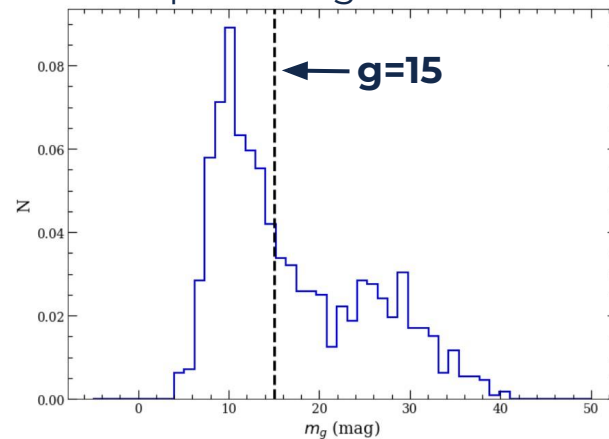
Зачем нам столько новых?

- Правильно ли мы понимаем **популяцию** новых и их вклад в химическую эволюцию Галактики? (Литий в батарейках? [Kemp et al. 2022, ApJ, 933, L30](#))
- Максимально **быстро** узнать о появлении яркой новой удобной для мультиволновых исследований

493 historical novae in Galactic coordinates



Simulated peak magnitudes of novae



Новые открывают обзоры и любители

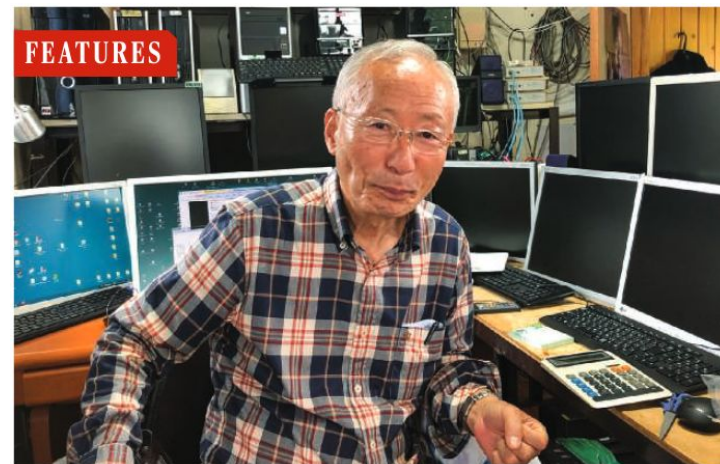


ASAS-SN



Gaia Alerts

Любители из Японии,
Австралии, Бразилии



Коичи Итагаки

Наш любительский обзор - [New Milky Way](#)

- Станислав Короткий - автор и двигатель обзора
- 135мм телеобъектив и ПЗС камера (2 комплекта)
- Весь видимый Млечный Путь до ~13mag каждую ясную ночь
- Автоматизированное управление съемкой и поиск кандидатов

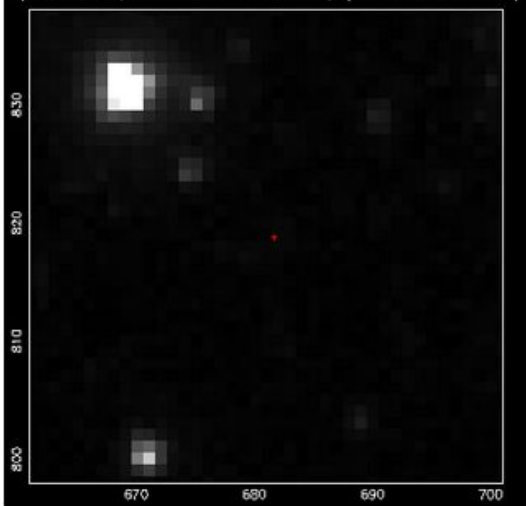


Наш любительский обзор - [New Milky Way](#)

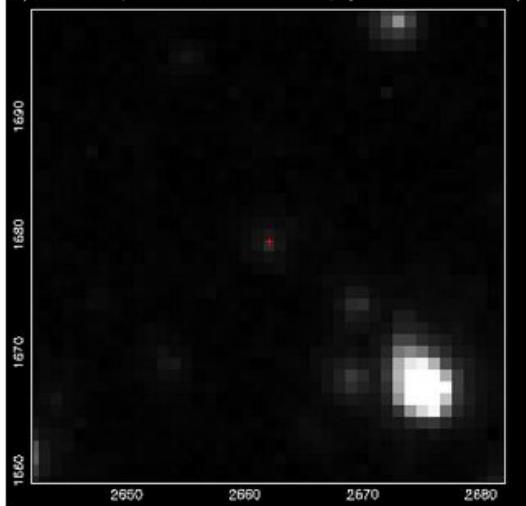
Пример кандидата - ранее известная новая V1405 Cas

[21707_Cas7_2023-9-18_20-1-46_002](#)

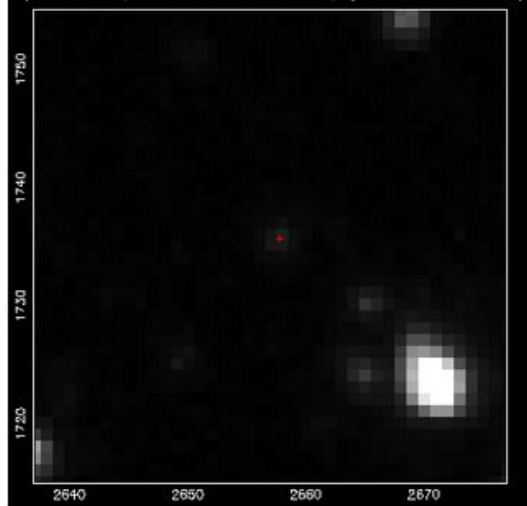
Exposure 30 sec, 03.02.2012 17:05:11 UT = JD(UT) 2455961.21211 mid. exp.



Exposure 20 sec, 18.09.2023 20:00:37 UT = JD(UT) 2460206.33388 mid. exp.



Exposure 20 sec, 18.09.2023 20:01:17 UT = JD(UT) 2460206.33434 mid. exp.



	Date (UTC)	JD(UTC)	mag.	R.A. & Dec.(J2000)	X & Y (pix)	Image
Discovery image 1	2023 09 18.8339	2460206.3339	12.46	23:24:47.97 +61:11:12.2	2662 1679	/dataX/kirx/NMW_NG_rt3_autumn2019/web_upload/img_2023-09-18_Cas7_230231_Stas_23579_SwogRBa5/Cas7
Discovery image 2	2023 09 18.8343	2460206.3343	12.53	23:24:47.94 +61:11:12.6	2658 1736	/dataX/kirx/NMW_NG_rt3_autumn2019/web_upload/img_2023-09-18_Cas7_230231_Stas_23579_SwogRBa5/Cas7

Mean magnitude and position on the discovery images:

2023 09 18.8341 2460206.3341 12.49 23:24:47.96 +61:11:12.4

112.68525 0.05053 galactic Cas Second-epoch detections are separated by 0.5" and 56.4 pix This object is listed in [tccp_transients_list.txt](#) 3.1" PNV J23244760+6111140 2021-03-18.4236 9.6

The object was found in [VSX](#)

3" V1405 Cas

Type: NB:

#	Max.	Min./Amp.	JD0	Period	
5.200	V	15.600	V	2458859.06880	0.18839070000

The object was not found in [astcheck](#).

[Check this position in TNS.](#)

[Search this object in SIMBAD.](#)

[Search this object in VizieR catalogs.](#) [WISE atlas](#) [Aladin Lite](#) [SNAD ZTF viewer](#)

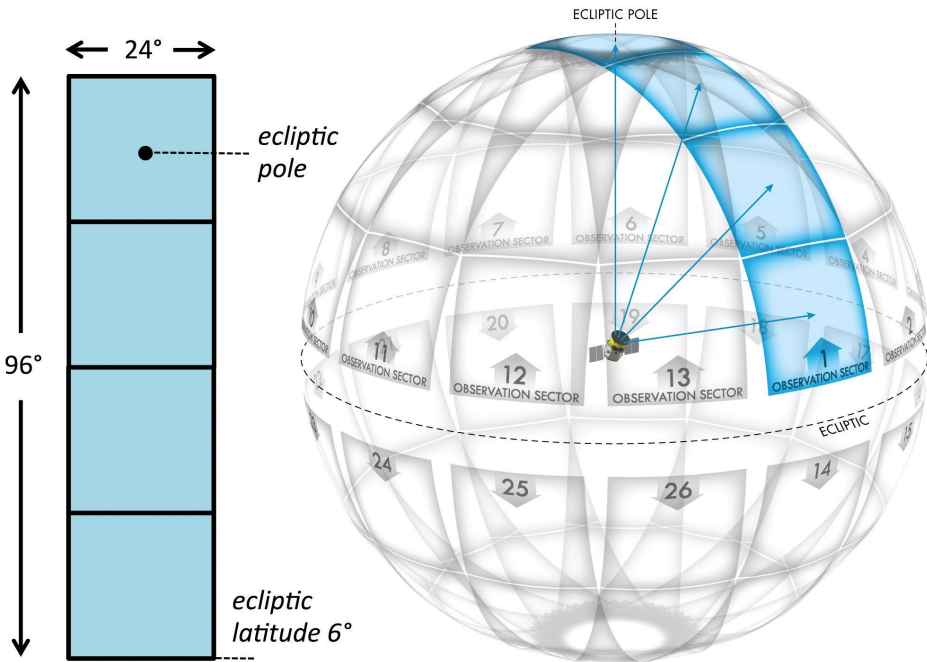
Online MPCchecker may fail to identify bright comets! Please manually check the [Seiichi Yoshida's](#) and [Gideon van Buitenen's](#) pages.

[Manually check the ASAS-SN list of transients!](#)

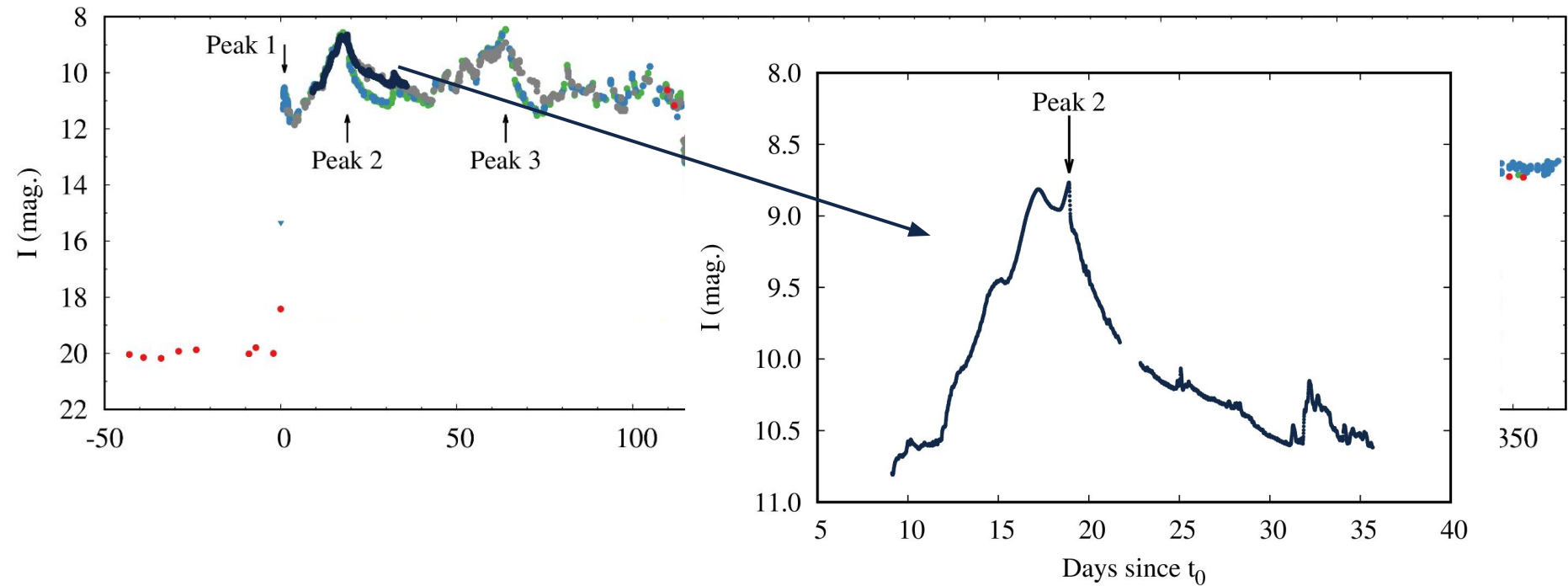
Summary

- Ударные волны играют важную роль в формировании излучения новых в диапазоне от гамма до радио
- Что конкретно создает ударные волны и где именно в оболочке новой они образуются - не ясно
- Быстрое обнаружение новых важно для мультиволновых наблюдений с нацеливаемыми инструментами (такими как NuSTAR, VLA)

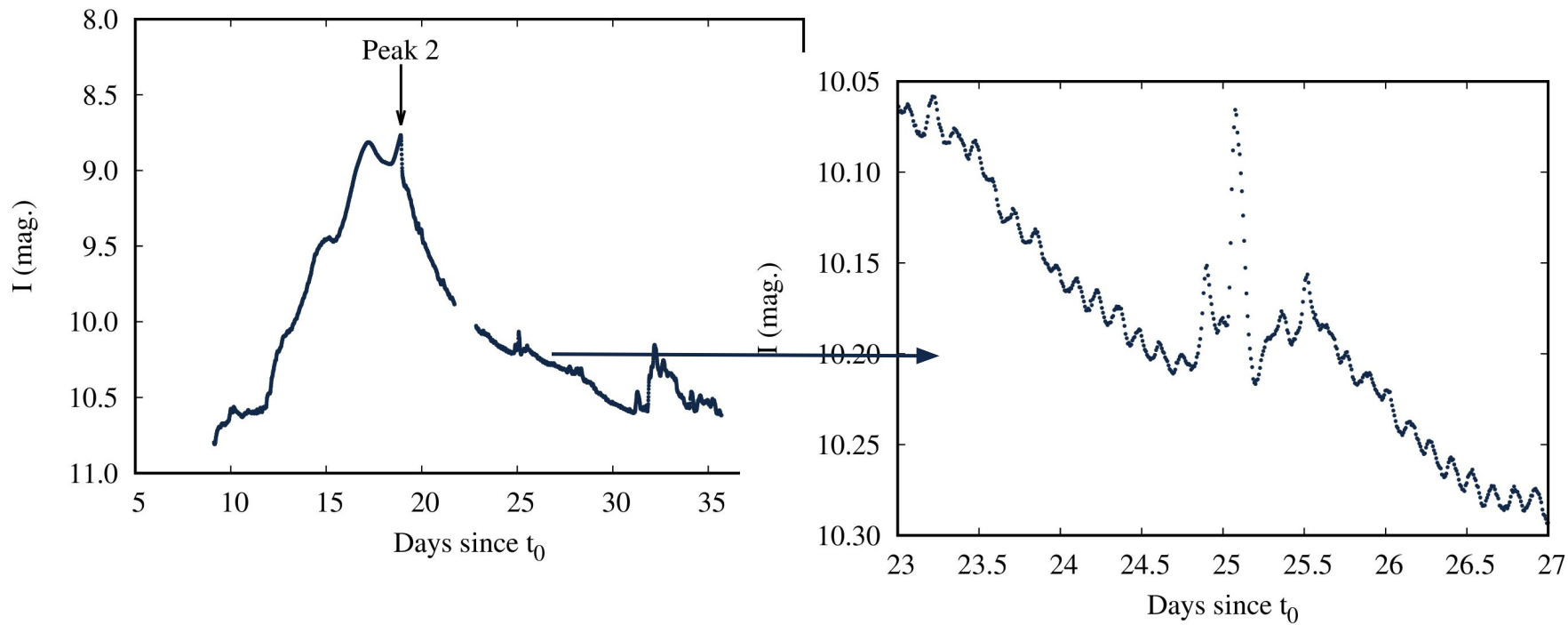
Дополнение - новые и TESS



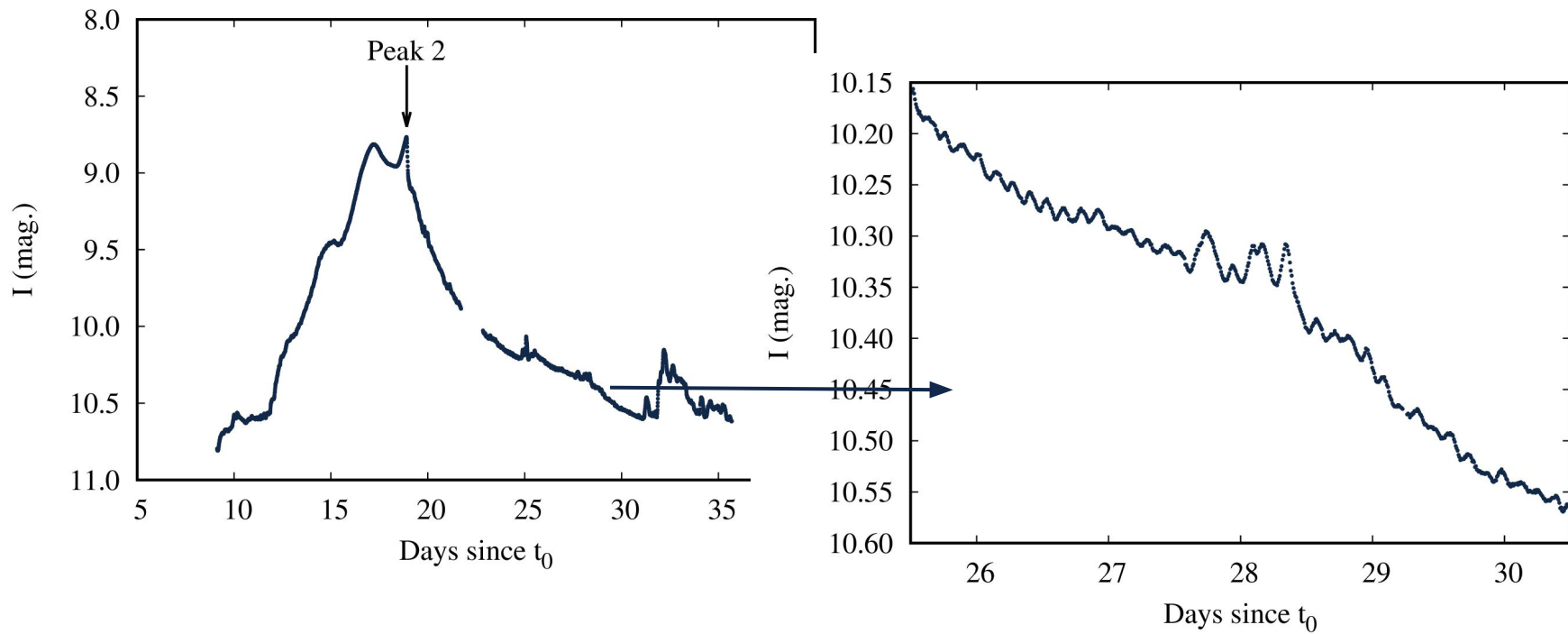
V606 Vul: TESS sector covers Peak 2



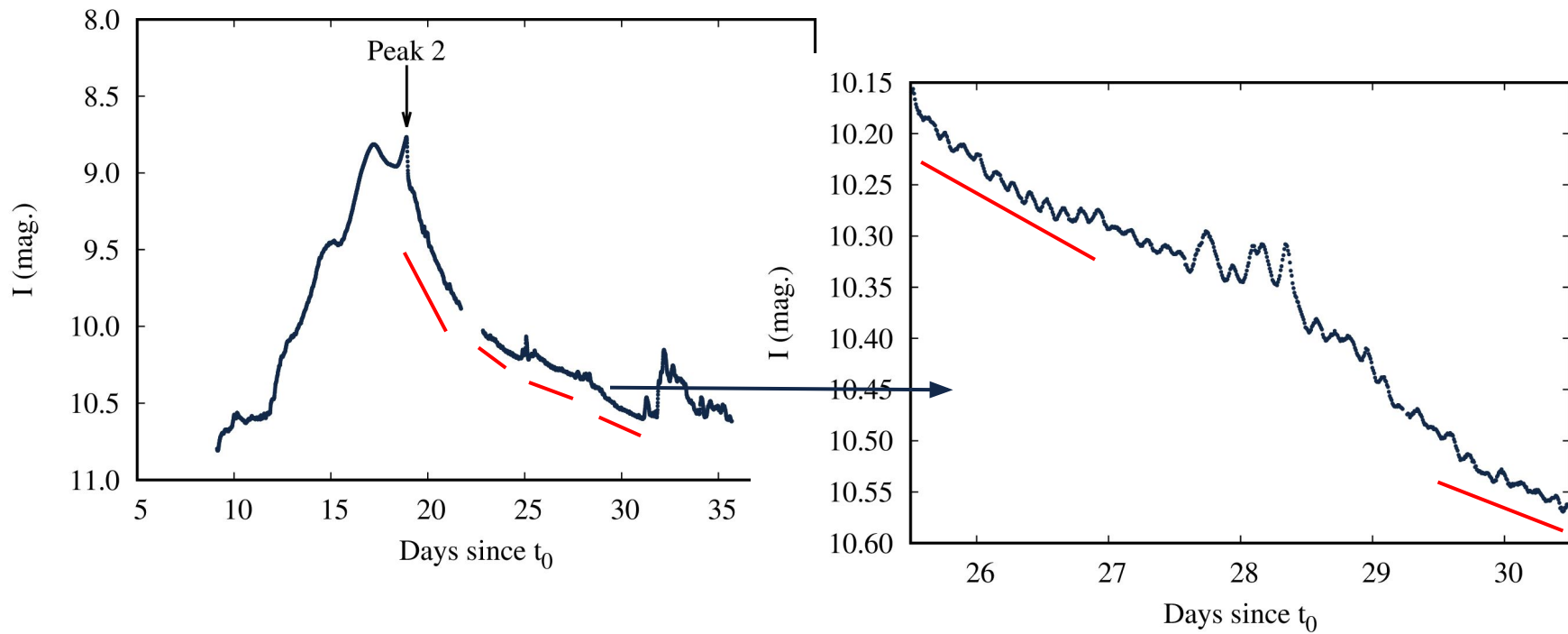
Mini-flares and oscillations



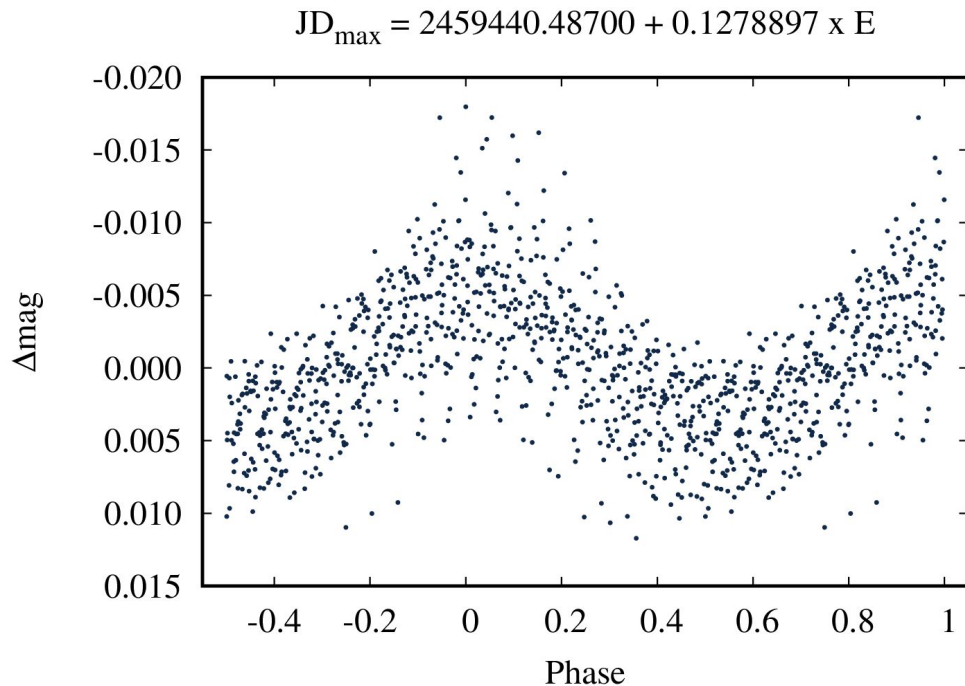
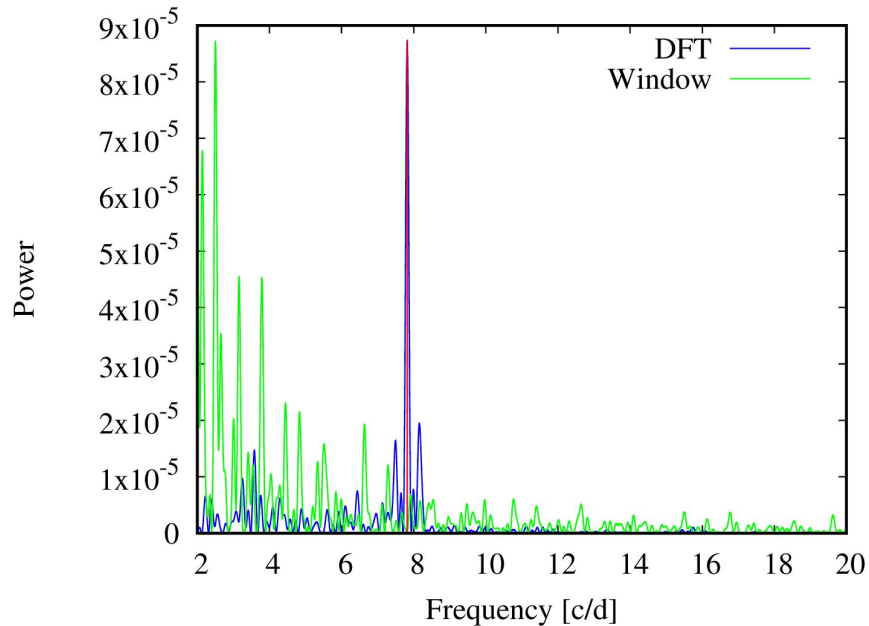
Mini-flares and oscillations



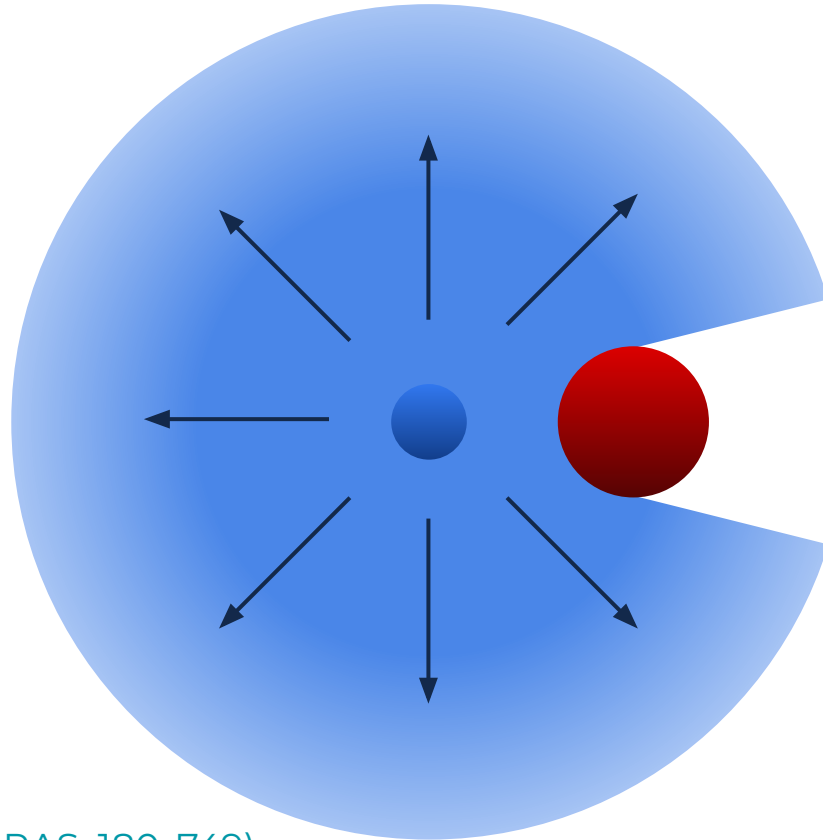
Mini-flares and oscillations



Oscillations are periodic - 3 h 04m

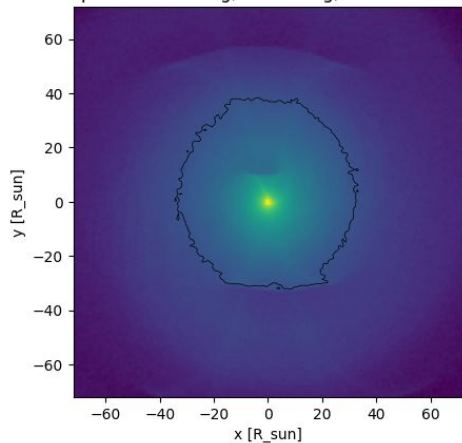


Azimuthal asymmetry in nova photosphere?

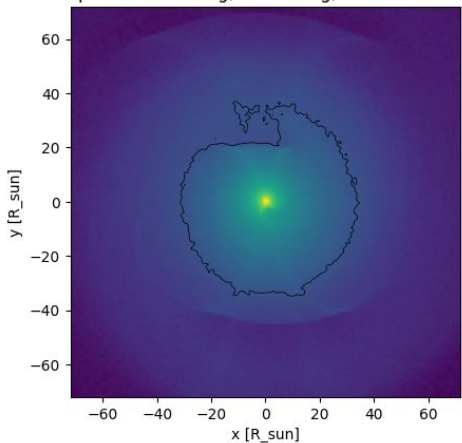


Azimuthal asymmetry in nova photosphere?

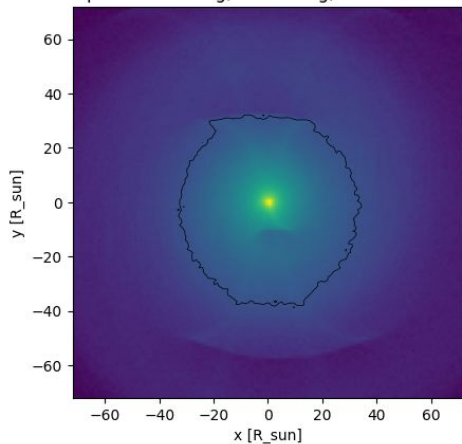
phase = 270 deg, i = 60 deg, area = 2839



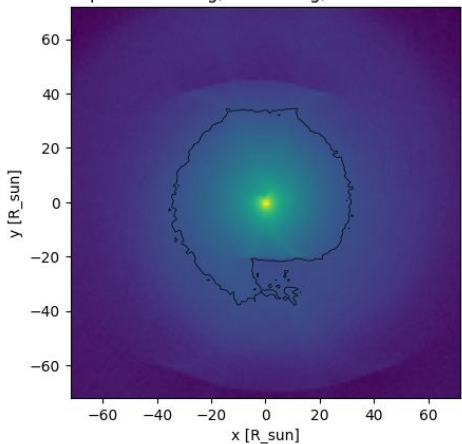
phase = 180 deg, i = 60 deg, area = 2562



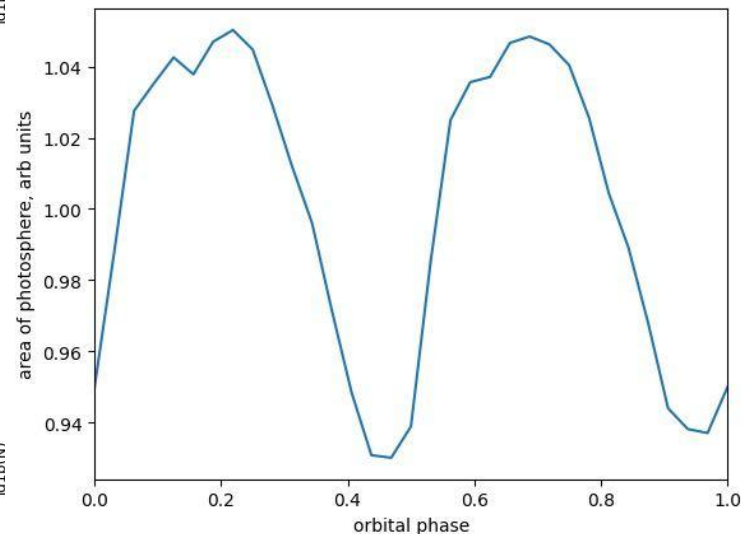
phase = 90 deg, i = 60 deg, area = 2851



phase = 0 deg, i = 60 deg, area = 2592

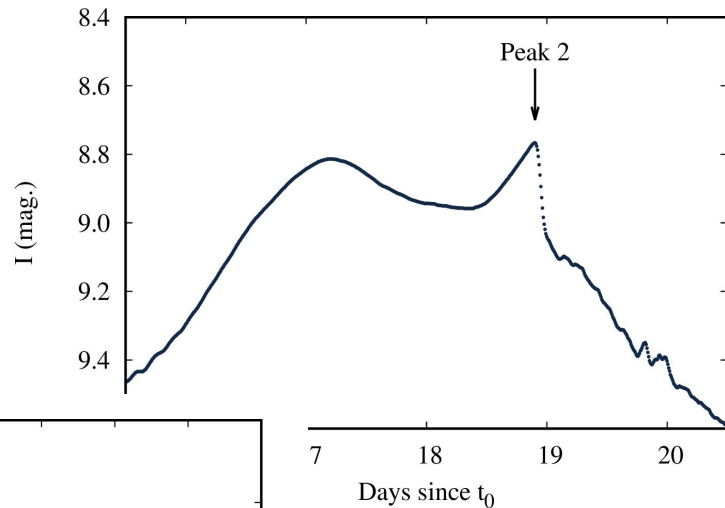
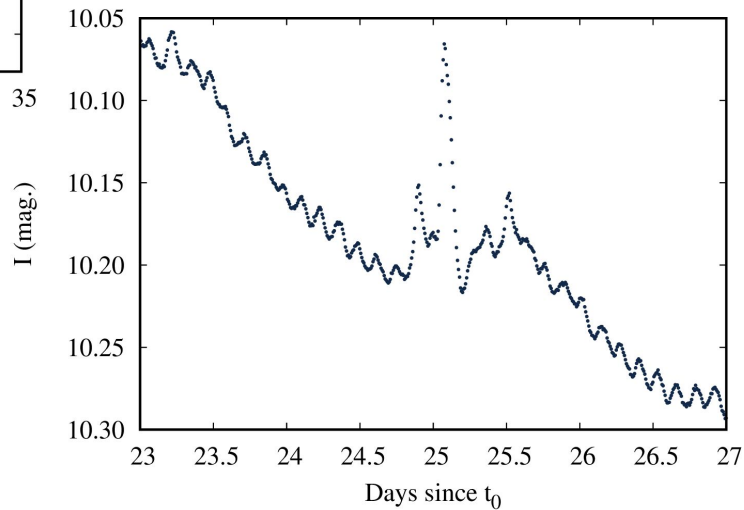
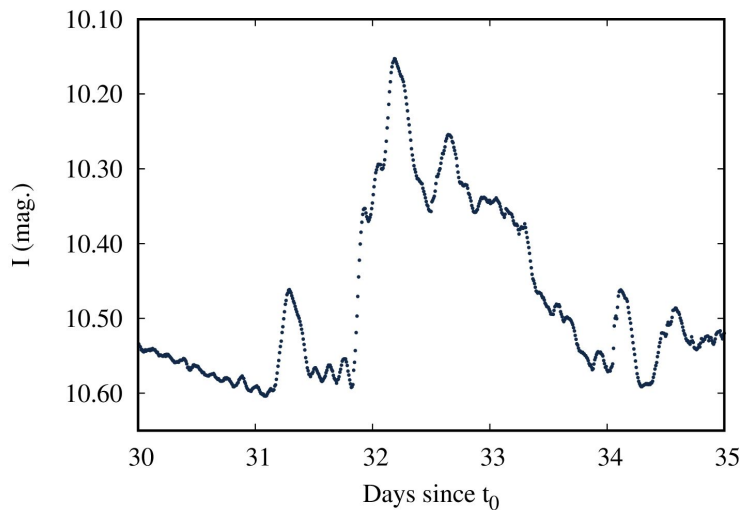


Disturbed nova wind model
by **Konstantin Malanchev**

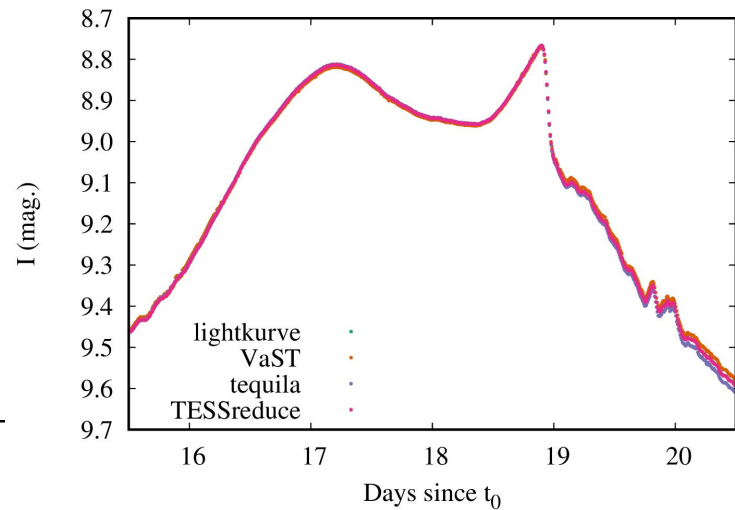
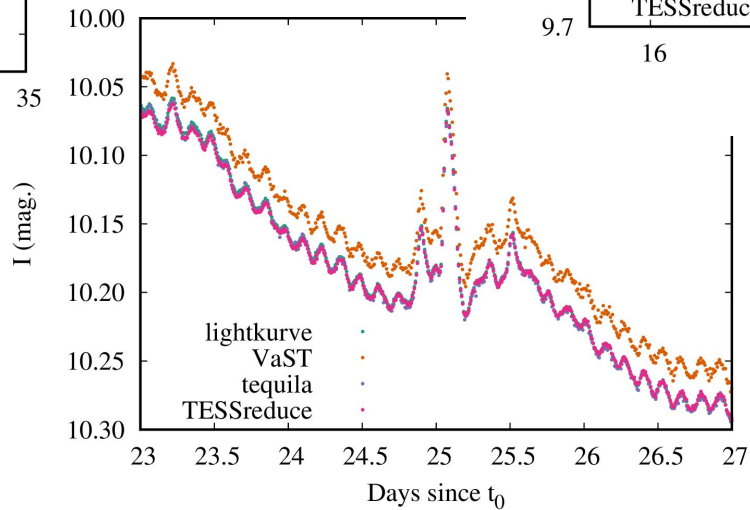
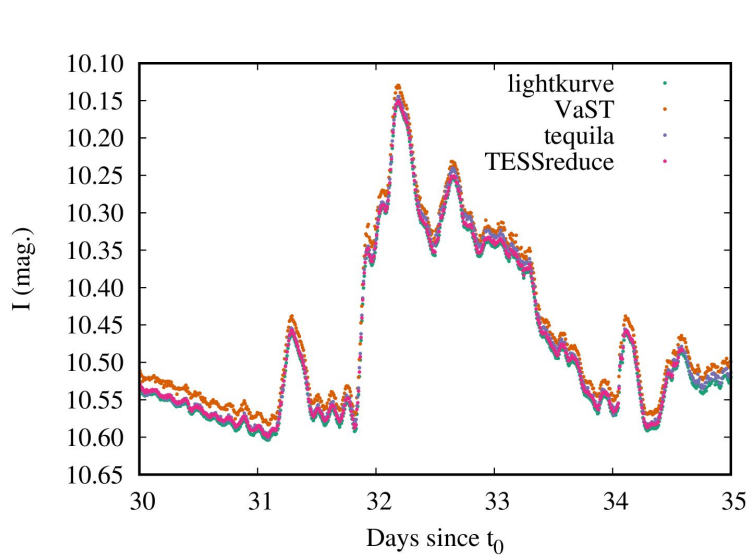


Preliminary!

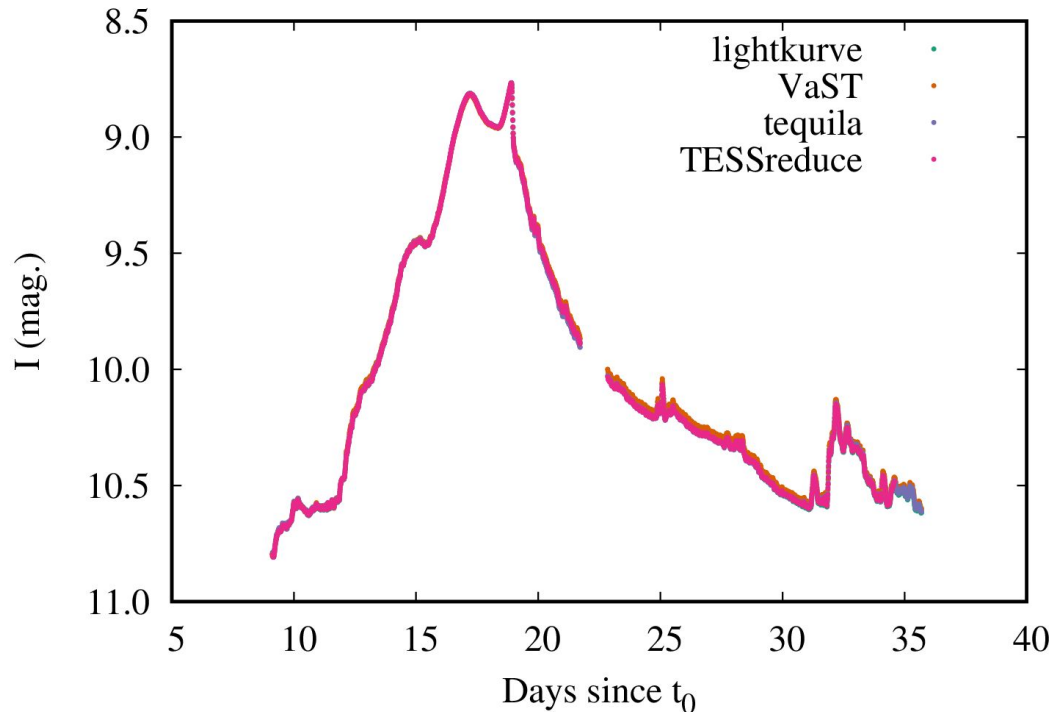
Mini-flares: shocks caused by mass ejections?



TESS photometry codes comparison



TESS photometry codes comparison



Aperture photometry

Lightkurve

ascl:1812.013

VaST

[Sokolovsky & Lebedev \(2018, A&C, 22, 28\)](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832828)

Image subtraction

tequila

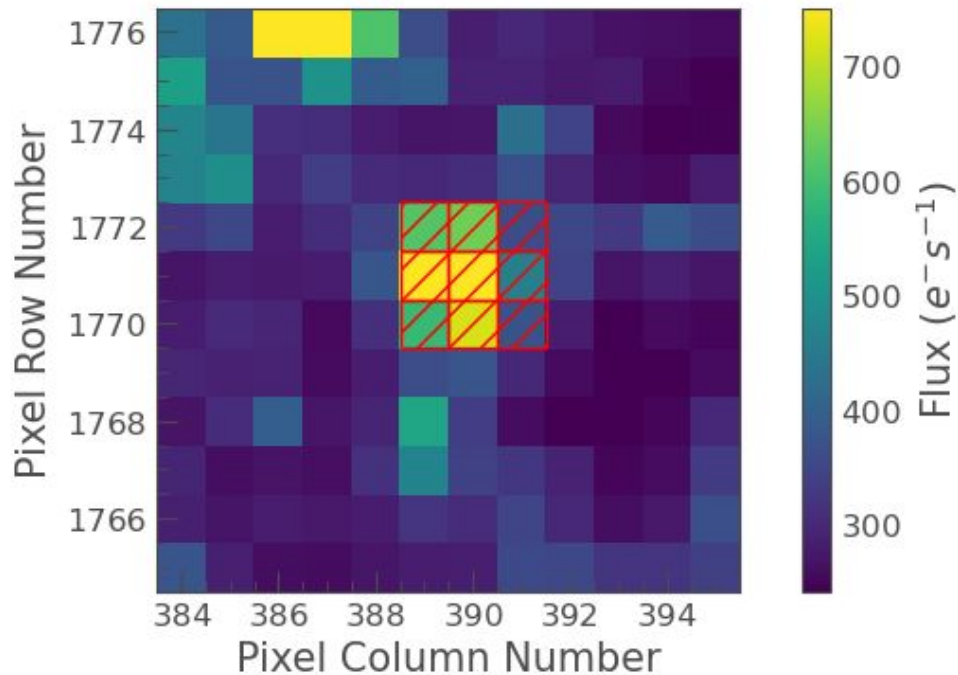
(under development)

TESSreduce

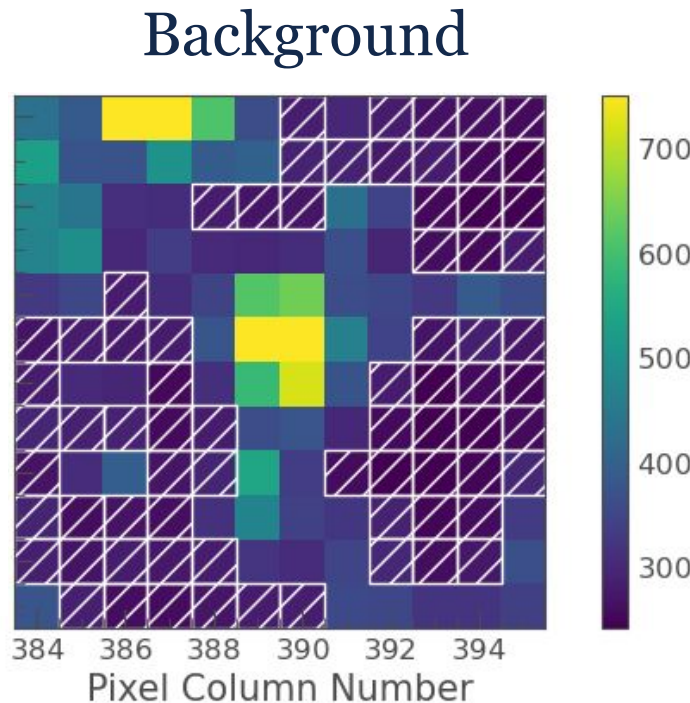
[Ridden-Harper et al. arXiv:2111.15006](https://arxiv.org/abs/2111.15006)

Visuals from the Lightkurve analysis

Target ID: 20:21:07.703 +29:14:09.25, Cadence: 0



Source



Visuals from the Lightkurve analysis

