

УДК 524.3-14 + 524.337

Идентификация объектов оптического диапазона в областях жесткого излучения вблизи красных карликовых звезд

А.А. Шляпников ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым
aas@craocrimea.ru

Поступила в редакцию 5 ноября 2021 г.

Аннотация. Проведен анализ областей локализации источников ТЭВ гамма-излучения в рентгеновском и оптическом диапазонах спектра. Указаны угловые расстояния от положения максимумов в распределении высокоэнергетических потоков до вероятных кандидатов на идентификацию с красными карликами. Также рассмотрены возможные отождествления более слабых ТЭВ-источников и других объектов поля.

Ключевые слова: рентгеновские и гамма-источники, звезды – переменные и пекулярные

1 Введение

Проблема идентификации первых “дискретных” источников жесткого диапазона спектра (10^{-8} – 10^{-11} эрг ≈ 0.6 МэВ – 0.6 кэВ) в оптике была исторически связана с невысокой точностью в определении их координат. Так, первый дискретный рентгеновский источник был зафиксирован в 1962 г. в созвездии Скорпиона детектором, установленным на ракете, и получил обозначение Sco X-1 (Giacconi et al., 1962). После уточнения его координат (Gursky et al., 1966) он был с точностью около $1'$ идентифицирован со звездой $V \approx 13^m$, имеющей ультрафиолетовый избыток в 1966 г. (Sandage et al., 1966). С момента открытия дискретного рентгеновского источника до его идентификации в оптическом диапазоне спектра прошло четыре года.

Более драматичной оказалась история идентификации источников гамма-диапазона спектра. Наиболее характерным примером является поиск в других спектральных диапазонах источников гамма-вспышек (GRB – Gamma-Ray Burst).

Впервые информация о наблюдениях 16 гамма-вспышек была опубликована в 1973 г. (Klebesadel et al., 1973). Они регистрировались четырьмя спутниками серии Vela¹ в период с июля 1969 г. по июль 1972 г. в диапазоне энергий 0.2–1.5 МэВ, имели продолжительность от 0.1 до более 30 секунд и интегрированную по времени плотность потока от $\sim 10^{-5}$ до $\sim 2 \times 10^{-4}$ эрг \times с \times см⁻². Направление прихода гамма-вспышек не было связано ни с Землей (спутники регистрировали гамма-излучение, обусловленное испытанием ядерного оружия), ни с Солнцем.

Лишь в феврале 1997 г. 28.123620 UT, через 24 года, спутник ВерроSAX² зарегистрировал мультипиковую GRB продолжительностью около 80 секунд. Изображение, полученное с помощью позиционно-чувствительной камеры гамма-диапазона WFC (Wide-Field Camera), позволило определить предварительные координаты вспышки R.A. = $5^h 01^m 57^s$ и Decl. = $+11^\circ 46' .4$ на эпоху 2000.0 с ошибкой $3'$ (Costa et al., 1997). Через 8 часов, благодаря наведению на область вспышки рентгеновского телескопа NFI (Narrow Field Instrument), удалось улучшить координаты GRB. А триангуляция наблюдений спутников ВерроSAX и Ulysses³ позволила определить координаты, по которым было обнаружено оптическое послесвечение – оптический транзист. Угасающий источник был найден

¹ <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/vela5a.html>

² <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/sax/sax.html>

³ <https://web.archive.org/web/20110806115817/http://ulysses.jpl.nasa.gov/>

при сравнении наблюдений, полученных на телескопах имени Гершеля⁴ и имени Ньютона⁵ (Groot et al., 1997). Дальнейшие наблюдения на телескопе имени Хаббла⁶ позволили обнаружить не только ослабевающее послесвечение, но и возможную галактику – “хозяйку” оптического транзита (Sahu et al., 1997). Так начиналась “Эра послесвечений” гамма-вспышек. Некоторые из послесвечений были идентифицированы как сверхновые, природа других остается неизвестной до сих пор.

Ситуация с идентификацией объектов жесткого диапазона в оптике кардинально изменилась после запуска космических обсерваторий CGRO, Chandra, eROSITA, Fermi, GRANAT, INTEGRAL, MAXI, ROSAT, Rossi-XTE, XMM-Newton и создания межпланетной наблюдательной сети IPN (InterPlanetary Network)⁷. Больше информации об упомянутых проектах можно найти по [ссылке](#).

Несмотря на высокую точность локализации источников жесткого излучения, составляющую угловые минуты, далеко не все обнаруженные источники идентифицированы в оптическом диапазоне спектра. Это не позволяет детально изучить их природу.

Если в космических наблюдениях удалось повысить точность определения координат объектов жесткого излучения, то иначе складывается ситуация с наземными наблюдениями на телескопах, регистрирующих черенковское излучение, вызванное потоками гамма-квантов в земной атмосфере. При покрытии области неба в несколько градусов угловое разрешение черенковских телескопов составляет от 15' до 2°, что делает весьма проблематичной идентификацию в оптическом диапазоне спектра гамма-источников.

В данной работе представлен анализ областей локализации шести источников ТэВ гамма-излучения в оптическом диапазоне спектра. Указаны угловые расстояния от положения максимумов в распределении высокоэнергетических потоков до вероятных кандидатов на идентификацию с красными карликами. Также рассмотрены возможные отождествления более слабых источников гамма-излучения с другими объектами.

2 Жесткое излучение Солнца и звезд

Спокойное Солнце является источником мягкого рентгеновского излучения, генерируемого в короне. При энергии квантов менее 10^{-9} эрг их поток резко убывает и практически не наблюдается в гамма-диапазоне. Это было обнаружено во время первых экспериментальных и теоретических исследований жесткого излучения Солнца (Peterson and Winckler, 1959). Во время солнечных вспышек энергии квантов могут меняться в пределах от сотен кэВ до десятков МэВ (Holt and Ramaty, 1969). При этом важно отметить корреляцию по времени между жестким рентгеновским и микроволновым излучениями. Поиск радиоимпульсов, совпадающих с наблюдениями в жестком диапазоне спектра по времени (Baird et al., 1975), не дал результатов. Однако был получен верхний предел на радиоизлучение, исключаящий звездные вспышки как источник гамма-всплесков, при условии, что они подобны солнечным, но большие по масштабу (Cavallo and Jelley, 1975).

По мере совершенствования наблюдательного оборудования проблема идентификации жесткого излучения, исходящего от звезд, в частности звезд-карликов нижней части Главной последовательности, получила свое развитие. Так, в каталоге GTSh10 из 5535 звезд с активностью солнечного типа (Gershberg et al., 2011) у близко 2000 объектов обнаружено рентгеновское излучение. Большая часть из них демонстрирует оптические вспышки со значительными амплитудами.

Уникальное событие было зарегистрировано для красного карлика DG CVn (D’Elia et al., 2014). 23 апреля 2014 г. в 21:07:08 UT телескоп BAT (Burst Alert Telescope) на борту космической обсерватории Swift зарегистрировал вспышку в диапазоне энергий 15–50 кэВ, которая продолжалась 64 секунды. Дальнейшие наблюдения в рентгене позволили уточнить координаты вспышки до 4''.9 и идентифицировать объект со вспыхивающей звездой спектрального типа M4.0V DG CVn.

Актуальность исследований вспышечной активности красных карликов обусловлена открытием экзопланет у нескольких тысяч звезд, немалая часть которых является звездами с активностью солнечного типа (Gorbachev et al., 2019). Более подробно данная проблема изложена в статье Caballero-García et al. (2016).

⁴ <http://www.ing.iac.es/astrometry/telescopes/wht/>

⁵ <http://www.ing.iac.es/astrometry/telescopes/int/>

⁶ https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/about

⁷ <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/ipn.html>

3 Наблюдения областей красных карликов в ТЭВ-диапазоне

Очевидно первые наблюдения областей, содержащих красные карлики в ТЭВ-диапазоне с энергиями $\sim 10^{12}$ эВ, были выполнены в Крымской астрофизической обсерватории в 1994 г. (Alekseev et al., 1995). При проведении параллельных наблюдений EV Lac в оптическом диапазоне на телескопе АЗТ-11 и на черенковском телескопе ГТ-48 в течение нескольких ночей были обнаружены коррелирующие по времени события в оптике и гамма-лучах. Наиболее статистически надежный результат в ТЭВ-диапазоне был получен незадолго до оптической вспышки 31 августа 1994 г. в 19:40 UT. Учитывая несовпадение координат вспышки и EV Lac на $0^\circ.6$, авторы сообщили о возможной связи гамма-вспышки и вспышки в оптическом диапазоне.

В статьях “Галактические космические лучи: первое обнаружение ТЭВ гамма-излучения от красных карликов” и “Новый тип источников галактических космических лучей” (Sinitsyna et al., 2019, 2020) представлены данные долгосрочных наблюдений в эксперименте SHALON, направленных на поиск излучения от звезд – активных красных карликов с интенсивностью выше 800 ТэВ. Все объекты расположены на угловых расстояниях менее 5° от наблюдаемых программных источников ТЭВ-излучения (остатка сверхновой Тихо, Крабовидной туманности, объектов 4C+41.63 и Cyg X-3). Так как в эксперименте SHALON поле зрения телескопа больше 8° , то при наблюдении программных объектов в площадку одновременно попадают эруптивные (Er) и/или вспыхивающие (Fl) звезды: V388 Cas (Er), V1589 Cyg (Fl/Er), GJ 1078 (Fl), GL 851.1, V780 Tau (Fl/Er) и V962 Tau (Er).

Таблица 1.

Объект	Рентгеновский источник	Объект	Рентгеновский источник
V388 Cas	1RXS J010318.0 + 622146	GL 851.1	–
V1589 Cyg	2RSX J204249.0 + 412246	V780 Tau	2RXS J054025.1 + 244839
GJ 1078	1RXS J052327.7 + 222649	V962 Tau	2RXS J054552.1 + 225248

В статье Sinitsyna et al. (2020) авторами представлена идентификация собственных наблюдений в рентгеновском диапазоне спектра с объектами, указанными в таблице 1. К сожалению, авторы не совместили полученные данные, представленные в виде изофот, с оптическими изображениями изучаемых областей и не выполнили идентификацию возможных источников поля.

4 Оптические отождествления, рентгеновские источники и возможные кандидаты для ТЭВ-излучения

Для проведения отождествления в оптическом диапазоне спектра изображений источников ТЭВ-излучения применялся интерактивный атлас неба Aladin (Bonnarel et al., 2000) с подгружаемыми базами данных, поддерживаемыми Центром астрономических данных в Страсбурге.

Основные данные об отождествляемых звездах представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Объект	SIMBAD	R.A. (2000)	Decl. (2000)	pmRA (mas)	pmDE (mas)	Type	B (mag)	V (mag)	Sp. type	Dist.
V388 Cas	Wolf 47	01 03 19.83	+62 21 55.8	730.74	86.352	Er	15.46	13.78	M5V	15''
V1589 Cyg	V* V1589 Cyg	20 42 49.16	+41 23 00.0	67.3	–31.1	Fl/Er	15.29	13.59	–	15''
GJ 1078	G 85-69	05 23 49.05	+22 32 38.8	236.0	–300.0	Fl	17.35	15.52	M4.5V	9''
GL 851.1	BD+30 4633	22 12 06.42	+31 33 41.1	–344	–418.8	Fl	11.43	10.15	K5V/dM0e	21''
V780 Tau	G 100-28	05 40 25.73	+24 48 07.8	107.0	–376.0	Fl/Er	16.74	14.94	M7V	10''
V962 Tau	V* V962 Tau	05 45 51.94	+22 52 47.4	0.142	–9.959	Er	13.5	–	–	10''

В первой колонке таблицы приведено обозначение звезды по Sinitsyna et al. (2020), во второй – основное обозначение по SIMBAD. Третья и четвертая колонки содержат экваториальные координаты объектов на эпоху 2000 года. В пятой и шестой – собственные движения звезд по прямому восхождению и склонению в угловых миллисекундах в год. В седьмой – тип переменности звезды. В восьмой

и девятой – блеск в полосах B и V . Десятая колонка содержит информацию о спектральном типе звезды, и одиннадцатая – угловое расстояние от максимума потока в диапазоне гамма-излучения до оптического изображения звезды.

5 Область V388 Cas

Максимум потока в диапазоне гамма-излучения (МГИ) находится на расстоянии 15 угловых секунд от оптического положения V388 Cas (рис. 1). На рисунке максимум соответствует наиболее красному оттенку изофоты и практически совпадает с красным маркером и окружностью того же цвета, очевидно ограничивающей область ошибок (error radius – ER) в определении координат рентгеновского источника (РИ), которым авторы [Sinitsyna et al. \(2020\)](#) отметили положение 1RXS J010318.0+622146. Однако реально положение источника находится несколько ниже, на расстоянии 23" (зеленые окружности меньшего радиуса – $1 \times ER$ и большего радиуса – $3 \times ER$, отмечены цифрами 2 и 3).

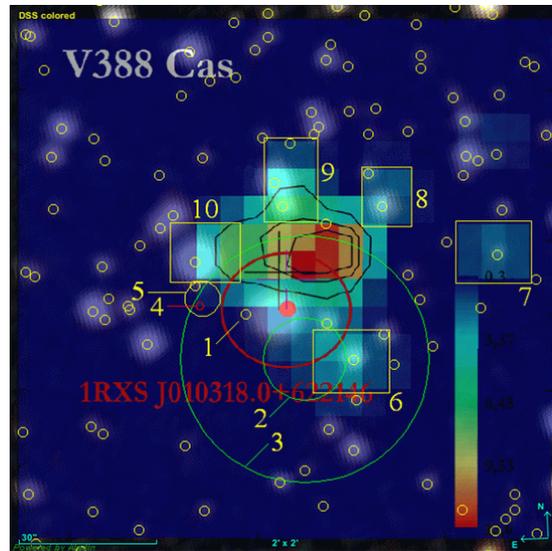


Рис. 1. Комбинированное оптическое (DSS colored) и Т&В-изображения области V388 Cas. Окружностями обозначены положения и ER рентгеновских источников, прямоугольниками – возможные оптические отождествления. Малыми желтыми окружностями отмечены звезды из каталога GAIA DR2

Красной окружностью с $ER = 0''.8$ (цифра 4) указано положение РИ 4XMM J010321.3+622157 ([Webb et al., 2020](#)), зарегистрированного телескопами XMM-Newton и находящегося на расстоянии 28" от МГИ. Желтой окружностью с $ER = 3''.9$, с удалением на 27" (цифра 5), указано положение РИ 2SXPS J010321.2+622159 ([Evans et al., 2020](#)), наблюдавшегося обсерваторией Swift.

Малыми окружностями желтого цвета на рисунке показаны положения звезд из каталога GAIA DR2 ([Gaia Collaboration et al., 2018](#)) (GAIA, 2018). Цифра 1 соответствует V388 Cas. Разница в положении звезды по данным GAIA и на оптическом изображении обусловлена значительным собственным движением (730.740 по прямому восхождению и 86.352 по склонению угловых миллисекунд в год соответственно).

Обращают на себя внимание несколько областей в окрестностях V388 Cas, в которых расположены слабые источники гамма-излучения, ограниченные прямоугольниками желтого цвета (помечены цифрами 6, 7, 8, 9 и 10). Внутри находятся объекты из каталога GAIA DR2 со следующими характеристиками (таблица 3).

В таблице 3 указаны номера прямоугольников со слабыми источниками гамма-излучения, в которых обнаружены объекты. № 1 соответствует V388 Cas. Номера 9 \uparrow и 9 \downarrow принадлежат верхнему и нижнему объектам в девятом прямоугольнике. Далее в столбцах: координаты объектов, параллакс, собственное движение по прямому восхождению и склонению по каталогу GAIA DR2, средние

Таблица 3.

№	R.A. (2000)	Decl. (2000)	Plx	pmRA	pmDE	G	G _{BP}	G _{RP}	T _{eff}	Rad	Lum
1	015.83942594	+62.36588063	101.6371	730.740	86.352	11.9238	13.9068	10.6032	3346.00	–	–
6	015.81867355	+62.36274707	0.4845	–1.450	–0.828	17.8200	18.5362	16.9453	–	–	–
7	015.79997556	+62.36915143	–0.0123	0.921	0.653	19.6506	20.5764	18.5647	–	–	–
8	015.81488911	+62.37208876	0.3020	–1.116	–0.125	16.5141	17.8314	15.3511	3670.99	–	–
9↑	015.82903889	+62.37352009	1.5970	2.231	–7.581	15.1327	15.7619	14.3744	4547.58	0.92	0.326
9↓	015.82802289	+62.37205461	0.6506	8.320	–2.823	16.7946	17.5051	15.9437	4312.85	1.23	0.470
10	015.83925097	+62.36866398	0.3280	–3.790	–0.808	13.5627	14.4896	12.6116	3945.89	14.34	44.925

звездные величины в полосах G, G_{BP} и G_{RP} в фотометрической системе GAIA, эффективная температура, радиусы и светимости звезд в сравнении с солнечными.

Отметим, что согласно данным второго каталога источников ROSAT (Boller et al., 2016), объект 1RXS J010318.0+622146 ассоциируется с рентгеновским источником 2RXS J010318.3+622140 и демонстрирует слабую переменность (рис. 2).

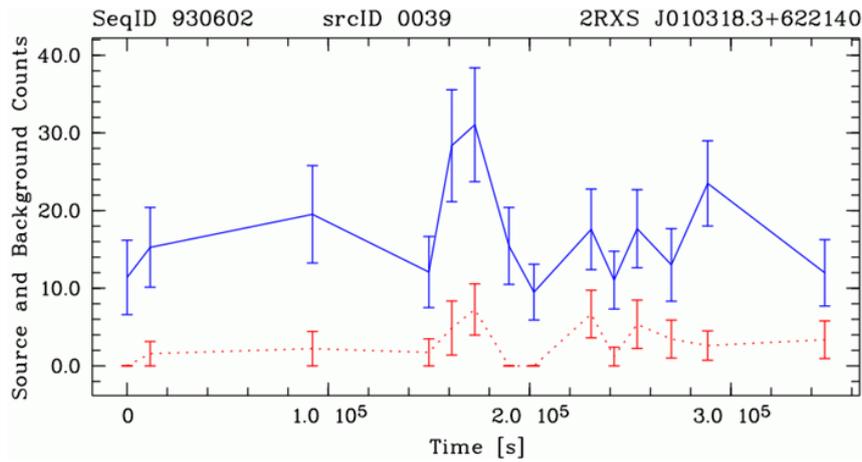


Рис. 2. Кривая блеска объекта 2RXS J010318.3+622140 в рентгеновском диапазоне спектра. По осям отложены: время от начала наблюдений в секундах и отсчеты детектора для источника (синяя кривая) и фона (красная кривая). Указаны ошибки измерений

Следует также отметить, что РИ 2SXPS J010321.2+622159 имеет более близкое расположение к объекту 10 из таблицы 3, чем к V388 Cas. А в случае использования критерия $3 \times ER$ однозначно попадает в поле рентгеновского источника.

6 Область V1589 Cyg

Координаты, приведенные в статье Sinitsyna et al. (2020), на 1 градус (рис. 3а) отличаются от координат объекта в базе данных SIMBAD (Wenger et al., 2000).

Звезда находится в верхней части изображения, площадка зарегистрированного гамма-излучения – в нижней части рисунка. При приведении координат ТЭВ-изображения в соответствие с координатами V1589 Cyg максимум потока в гамма-диапазоне находится на расстоянии ~ 15 угловых секунд от оптического положения звезды (рис. 3б).

Цифрами на рисунке 3б обозначены: 1 – положение V1589 Cyg согласно координатам на эпоху 2000 года (синяя окружность малого радиуса); 2 – зеленая окружность, соответствующая $1 \times ER$ источнику 1RXS J204249.0+412242; 3 – красная окружность малого радиуса, соответствует $1 \times ER$ источнику XMMSL2 J204248.9+412302 (XMM-SSC, 2017); 4 – синяя окружность – область ошибок положения объекта 1SWXRT J204249.6+412257 из каталога обсерватории Swift (D’Elia et al., 2013). Малыми желтыми окружностями отмечены звезды из каталога SDSS DR12 (Alam et al., 2015).

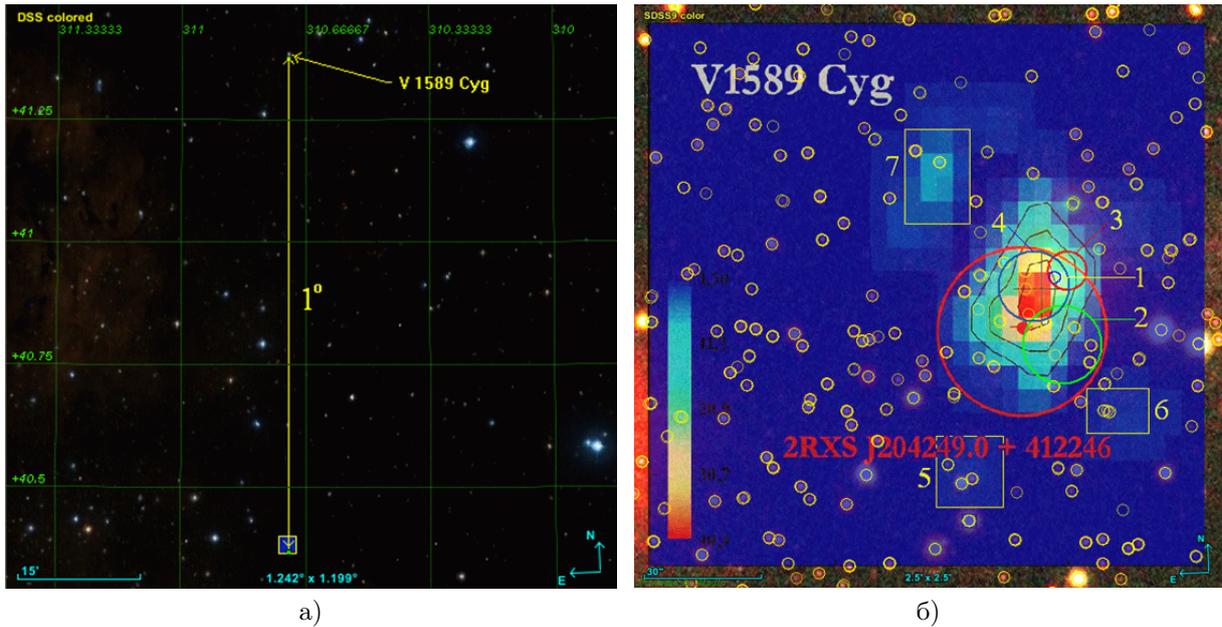


Рис. 3. а) Реальное положение V1589 Cyg (в верхней части рисунка) и положение ТэВ-источника в соответствии с координатами из [Sinitysna et al. \(2020\)](#). б) Комбинированное оптическое (SDSS9 color) и ТэВ-изображения области V1589 Cyg. Окружностями обозначены положения и ER рентгеновских источников, прямоугольниками – области с возможными оптическими отождествлениями. Малыми желтыми окружностями отмечены звезды из каталога SDSS DR12

Большая окружность красного цвета – положение и ER источника 2RXS J204249.0+412245 из [Sinitysna et al. \(2020\)](#). Отметим, что более близкими по координатам к V1589 Cyg, и имеющими меньший ER, являются источники рентгеновского излучения XMMSL2 J204248.9+412302 и 1SWXRT J204249.6+412257.

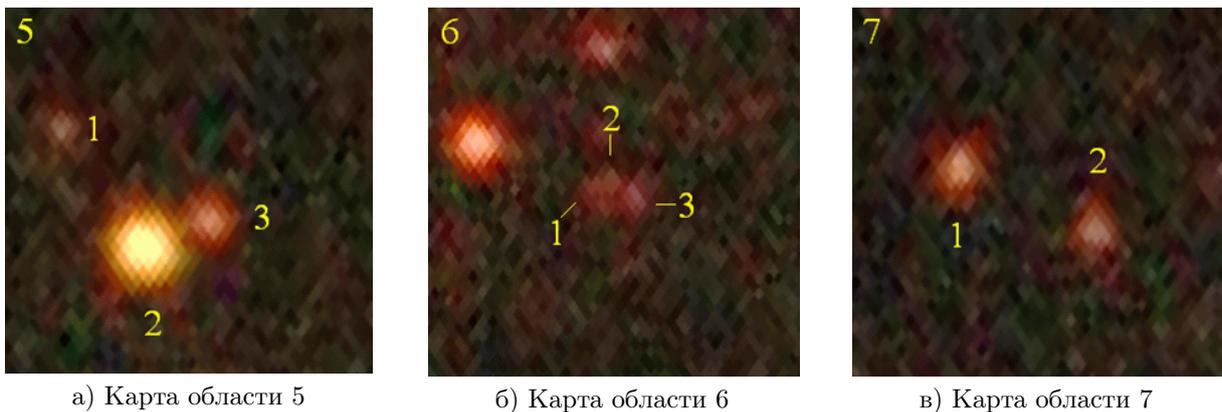


Рис. 4.

Представляют интерес объекты (рис. 4), расположенные в областях слабого гамма-излучения, обозначенные на рисунке 3б желтыми прямоугольниками с цифрами 5, 6 и 7. Максимум потока в них превышает уровень фона более чем в 3 раза для областей 5 и 6, и около 7 раз для области 7 (оценка потока производилась по шкале интенсивностей изофоты, приведенной в левой части рисунка). Некоторые из объектов в данных областях (таблица 4) могут являться источниками гамма-излучения.

В таблице 4 указаны номера прямоугольников со слабыми источниками гамма-излучения и соответствующие им номера объектов в этих областях. Далее в столбцах: координаты объектов, число

Таблица 4.

№	R.A. (2000)	Decl. (2000)	n	u	er_u	g	er_g	r	er_r	i	er_i	z	er_z	Sp
5.1	310.71493530	+41.36992645	3	24.966	0.836	25.037	0.585	23.865	0.474	22.070	0.161	20.869	0.227	K5
5.2	310.71368408	+41.36857986	4	25.075	0.905	21.431	0.052	19.367	0.014	18.330	0.010	17.610	0.018	M5
5.3	310.71267700	+41.36889267	3	24.885	0.898	24.976	0.548	23.218	0.312	21.014	0.068	19.570	0.077	M3
6.1	310.70025635	+41.37376785	2	24.338	0.873	24.603	0.590	23.691	0.572	21.437	0.131	20.042	0.160	K2
6.2	310.69989600	+41.37380900	1	25.673	0.884	26.649	0.382	25.641	0.626	23.606	0.801	20.507	0.256	K5
6.3	310.69964600	+41.37366486	2	24.700	0.937	24.490	0.482	24.584	0.618	22.528	0.273	20.879	0.231	A2
7.1	310.71801758	+41.39233780	4	25.696	0.720	24.912	0.580	22.309	0.154	20.643	0.055	19.247	0.067	M6
7.2	310.71572876	+41.39153671	3	24.945	0.779	24.820	0.564	22.899	0.233	21.180	0.075	19.726	0.087	M4

наблюдений, средние значения звездных величин и ошибок их определения в полосах u, g, r, i, z в цветовой системе каталога SDSS DR12. В последней колонке – ориентировочный усредненный спектральный тип объектов, найденный по показателям цвета (Pecaut and Mamajek, 2013; Mamajek, 2019).

Все объекты в областях, за исключением 6.1, классифицированы в каталоге SDSS DR12 как звезды и имеют хорошее качество наблюдений. Объект 6.1 имеет две классификации, как звезда и как галактика, на основе моделирования фотометрического профиля его изображения. Возможно, все три объекта области 6, учитывая их близкое расположение, являются единым протяженным объектом – галактикой, а классификация объектов 2 и 3 ошибочна.

7 Область GJ 1078

Рентгеновский источник 1RXS J052327.7+222649 (Voges et al., 2000), представленный в статье Sinitsyna et al. (2020), как возможная идентификация для GJ 1078 находится на расстоянии более 7 угловых минут от максимума ТЭВ-изображения и имеет радиус ошибок значительно меньший, чем приведен в публикации. На рисунке 5 положение 1RXS J052327.7+222649 и ER (12''), соответствующий ему (окружность зеленого цвета), показан в правой нижней части изображения.

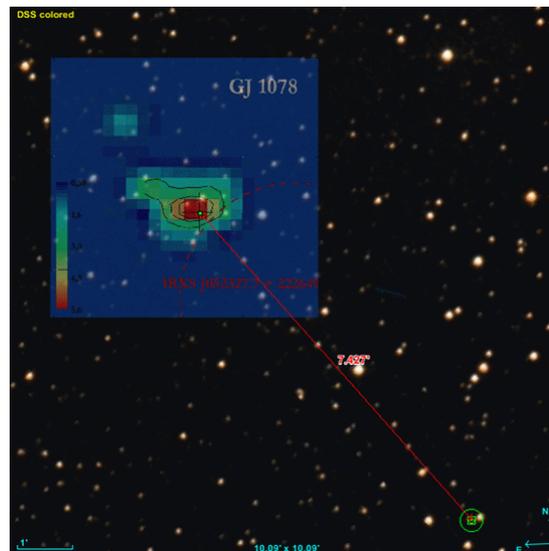


Рис. 5. Комбинированное оптическое (DSS colored) и ТЭВ-изображения области GJ 1078

Возможной идентификацией для РИ 1RXS J052327.7+222649 является звезда, попадающая в ER, GAIA DR2 3414565834307772672 с характеристиками, указанными в таблице 5.

В таблице приведены координаты звезды, ее параллакс, собственное движение по прямому восхождению и склонению в стандартных единицах, звездные величины в полосах G, G_{BP}, G_{RP} в фотометрической системе каталога GAIA DR2 и эффективная температура (K).

Таблица 5.

R.A. (2000)	Decl. (2000)	Plx	pmRA	pmDE	G	G _{BP}	G _{RP}	T _{eff}
080.86267583	+22.44798972	10.0892	-21.366	-28.036	14.3127	15.6859	13.1702	3887.82

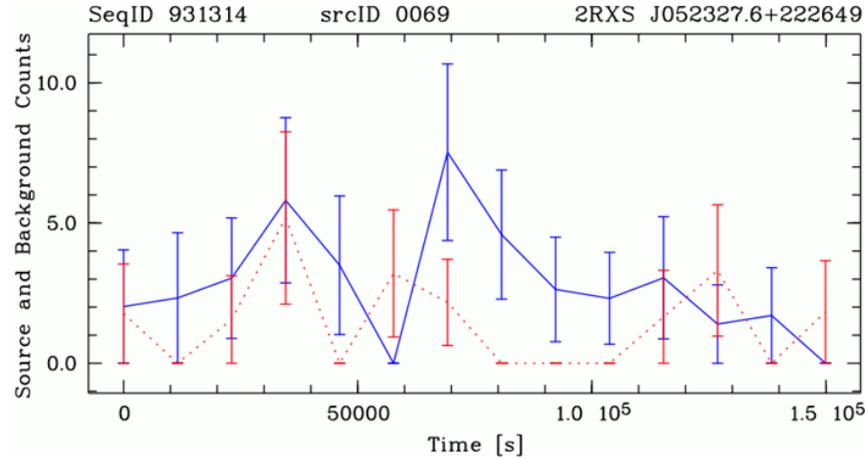


Рис. 6. Кривая блеска объекта 2RXS J052327.6+222649 в рентгеновском диапазоне спектра. По осям отложены: время от начала наблюдений в секундах и отсчеты детектора для источника (синяя кривая) и фона (красная кривая). Указаны ошибки измерений

Объект 1RXS J052327.7+222649, занесенный в каталог источников ROSAT (Boller et al., 2016), как 2RXS J052327.6+222649 демонстрирует незначительную переменность на уровне фона в рентгеновском диапазоне, показанную на рисунке 6.

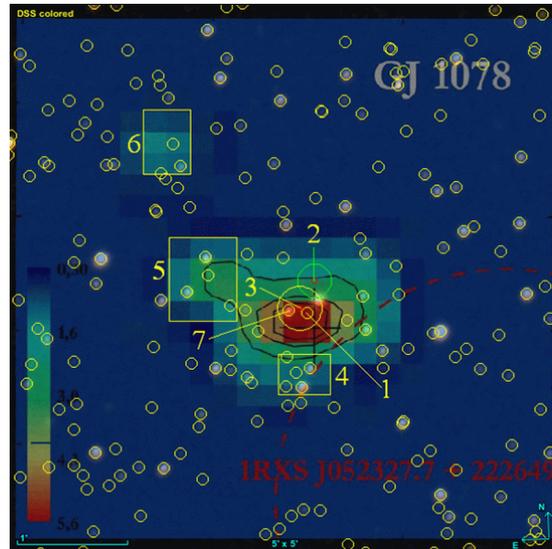


Рис. 7. Комбинированное оптическое (DSS colored) и ТЭВ-изображения области GJ 1078 с указанием объектов и областей, для которых выполнено отождествление

Рассмотрим детально область ТЭВ-изображения для GJ 1078 из Sinitsyna et al. (2020), представленную на рисунке 7. Цифрами обозначено: 1 – положение GJ 1078 из каталога GAIA DR2 (звезда находится на расстоянии 9'' от максимума ТЭВ-источника); 2 – РИ 1RXH J052349.0+223251 (RST, 2000), имеющий ER 9'' (зеленая окружность); 3 – РИ 1RXH J052349.5+223236 (RST, 2000) с ER 12'' (желтая окружность), который наилучшим образом согласуется по положению с GJ 1078; 4, 5 и 6 –

Таблица 6.

№	R.A. (2000)	Decl. (2000)	Plx	pmRA	pmDE	G	G _{BP}	G _{RP}	T _{eff}	Rad	Lum
4.1	080.95877765	+22.53166155	0.4863	-0.857	-2.930	19.2419	20.3034	18.1495	-	-	-
4.2	080.95869733	+22.53614840	1.6889	-1.487	0.121	19.8610	20.4998	18.8138	-	-	-
4.3	080.95720994	+22.53378669	0.8952	5.567	-10.956	20.4132	21.0040	19.0972	-	-	-
4.4	080.95637812	+22.52918229	0.4649	-0.462	-2.973	19.1219	20.0388	18.1138	-	-	-
4.5	080.95624474	+22.53162562	0.6151	-1.024	-2.809	15.6819	16.4185	14.8271	4430.25	2.00	1.388
4.6	080.95490905	+22.53444779	0.6055	0.384	-8.921	16.7066	17.6193	15.7507	3883.25	-	-
5.1	080.97186813	+22.55128457	0.8428	2.418	-3.582	16.2663	17.0784	15.3653	4008.50	1.53	0.543
5.2	080.97147333	+22.54862508	0.1456	0.231	-1.259	19.3775	20.1277	18.4256	-	-	-
5.3	080.96782341	+22.54390129	-0.0681	-0.261	-0.314	19.5618	20.4901	18.5803	-	-	-
6.1	080.97919404	+22.56397196	0.5140	1.560	-5.213	20.5542	20.9304	19.2965	-	-	-
6.2	080.97843061	+22.56320793	0.7603	0.791	-0.843	19.4131	20.0881	18.3599	-	-	-
6.3	080.97714800	+22.56847806	0.0570	1.022	-0.240	20.0700	20.9232	18.9711	-	-	-
6.4	080.97603549	+22.56508820	0.1715	1.641	-1.392	17.6060	18.5273	16.6349	-	-	-
7	080.95844612	+22.54333320	0.4040	-1.151	-2.167	16.7120	17.4675	15.8276	4239.00	-	-

области повышенного гамма-излучения (рис. 8а, б, в), объекты из которых содержатся в таблице 6. Отметим также, что в область РИ 1RXH J052349.5+223236 попадает звезда, отмеченная в таблице 6 под номером 7.

Описание колонок в таблице 6 соответствует описанию к таблице 3.

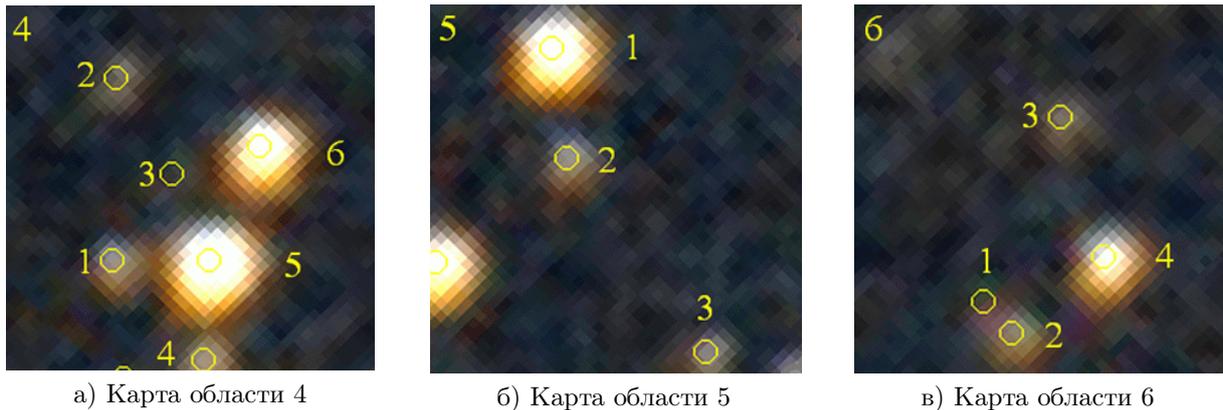


Рис. 8.

Из рассматриваемых звезд, попадающих в области гамма-излучения, превышающие уровень фона, представляют интерес объекты 4.5 и 5.1, для которых имеется информация по эффективной температуре, радиусу и светимости. Усредненный спектральный тип объектов, определенный по информации из каталога GAIA DR2 о показателях цвета $G - G_{RP}$ и $G_{BP} - G_{RP}$, дал следующие результаты: для 4.5 – K6.5V и 5.1 – K8V.

8 Область GL 851.1

Карта для данного объекта, представленная в статьях [Sinitsyna et al. \(2019, 2020\)](#), является зеркальной. Поэтому для наложения ее на оптическое изображение она была развернута относительно вертикальной оси на 180° (рис. 9). Желтые окружности – объекты из каталога GAIA DR2. Цифрой 1 обозначена звезда GL 851.1. Ее расстояние до максимума гамма-излучения составляет 21 угловую секунду. Данные для объектов 2 и 3 из каталога GAIA DR2 содержатся в таблице 7. Описание колонок в таблице 7 соответствует описанию к таблице 3.

Объекты 2 и 3 находятся на расстоянии 2.3 угловые секунды друг от друга и попадают в область слабого гамма-излучения, связываемого с GL 851.1. Интерес к ним обусловлен тем, что объект 3 является карликом, согласно [Stassun et al. \(2019\)](#), с усредненным спектральным классом G2 по данным фотометрии SDSS DR16 ([Ahumada et al., 2020](#)). Объект 2 по наблюдениям GAIA также является

Таблица 7.

№	R.A. (2000)	Decl. (2000)	Plx	pmRA	pmDE	G	G _{BP}	G _{RP}	T _{eff}	Rad	Lum
2	333.03401553	+31.55554772	1.2811	-0.320	4.852	19.7206	20.2451	18.4217	-	-	-
3	333.03330817	+31.55555801	0.1898	0.057	-5.447	17.6793	18.0652	17.0552	-	-	-

звездой. Для нее определен параллакс и собственные движения. Однако в случае определения собственного движения имеют место значительные ошибки. Для pmRA = -0.320 угловых миллисекунд в год ошибка составляет 0.589, а для pmDE = 4.852, соответственно, 0.821. Ошибки в определении параллакса также значительны: 0.4273 угловые миллисекунды. При использовании критерия 3σ величина ошибок незначительно превышает значение определенного параллакса ($3\sigma = 1.2819$).

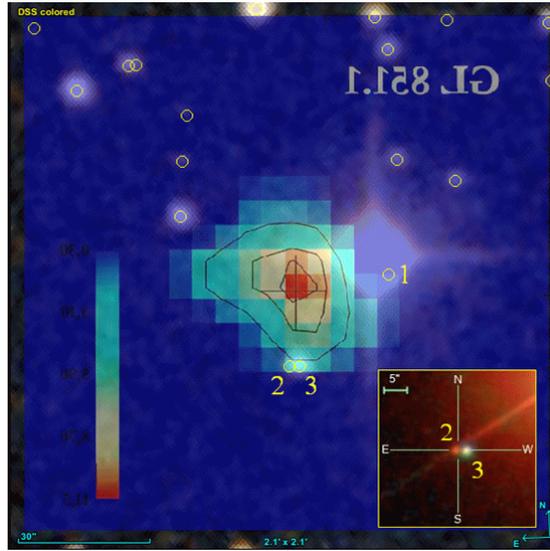


Рис. 9. Комбинированное оптическое (DSS colored) и ТЭВ-изображения области GL 851.1. На врезке – объекты 2 и 3 в атласе SDSS

По данным SDSS DR16 объект 2 является галактикой с фотометрическим (Oyaizu et al., 2008) красным смещением 0.171 ± 0.1692 . Значительные ошибки в определении красного смещения ставят его достоверность под сомнение. Возможно, и это хорошо видно на врезке рисунка 9, определение объекта 2 как галактики обусловлено проекцией дифракционного луча от GL 851.1 и последующей некорректной обработкой изображения.

9 Область V780 Тау

Таблица 8.

№	R.A. (2000)	Decl. (2000)	Plx	pmRA	pmDE	G	G _{BP}	G _{RP}	T _{eff}	Rad	Lum
2	085.11024188	+24.80279535	0.2364	3.406	-1.215	16.0450	16.6976	15.2211	4332.67	-	-
3	085.10686509	+24.80357145	0.0514	1.992	-0.753	19.4176	20.1994	18.4724	-	-	-
4	085.10766325	+24.79806903	-	-	-	20.5223	21.0957	19.0595	-	-	-
5	085.10796446	+24.79425983	0.0066	2.105	-0.751	18.7862	19.4006	17.9025	-	-	-
6	085.10315316	+24.79172505	-0.0479	1.568	-0.873	18.5154	19.0813	17.5660	-	-	-

Максимум потока в диапазоне гамма-излучения находится на расстоянии ~ 10 угловых секунд от оптического положения V780 Тау, обозначенного цифрой 1 на рисунке 10. Все рассматриваемые ниже объекты из каталога GAIA DR2 прорисованы желтыми окружностями. Учитывая значительное собственное движение V780 Тау, на оптическом изображении области положение ее занимает

звезда № 3. Сама же V780 Тау на эпоху 2000.0 сместилась ниже и левее. Данные для объектов, попадающих в области повышенного гамма-излучения (обозначены желтыми прямоугольниками) в окрестностях V780 Тау, представлены в таблице 8. Описание колонок в таблице 3 соответствует описанию к таблице 8.

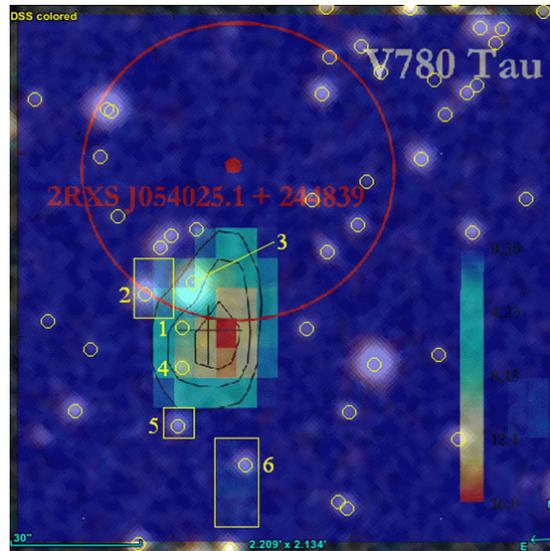


Рис. 10. Наложение изофоты гамма-излучения области V780 Тау на оптическое изображение

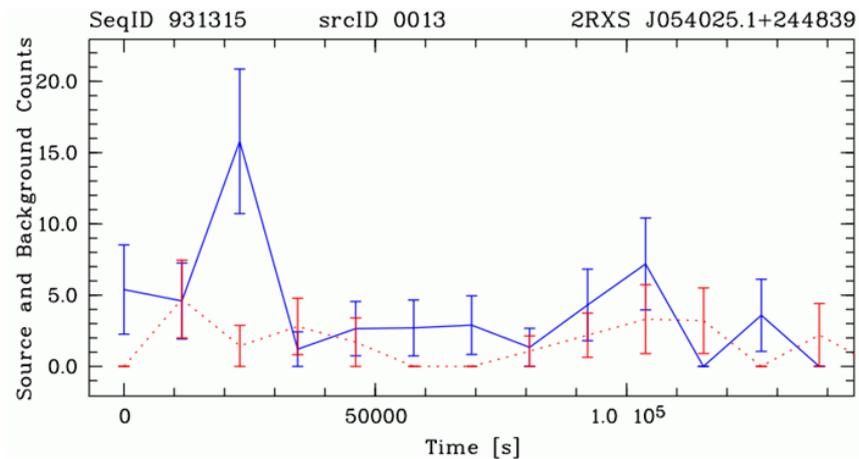


Рис. 11. Кривая блеска объекта 2RXS J054025.1+244839 = V780 Тау в рентгеновском диапазоне спектра. По осям отложены: время от начала наблюдений в секундах и отсчеты детектора для источника (синяя кривая) и фона (красная кривая). Указаны ошибки измерений

Под V780 Тау цифрой 6 обозначен объект из GAIA DR2 (Gaia Collaboration et al., 2018) с G_{RP} звездной величиной $17^{\text{m}}.566$, который совпадает по положению со слабым регистрируемым потоком гамма-излучения (обозначено желтым прямоугольником). Звезда имеет координаты $05^{\text{h}}40^{\text{m}}24^{\text{s}}.76 + 24^{\circ}47'30''.2$, для нее определен параллакс и собственное движение. Однако данные каталога IGAPS (Monguió et al., 2020), полученные на основе наблюдений на телескопе Исаака Ньютона (INT) между 2003 и 2018 годами, вносят неопределенность в классификацию объекта как звезды или галактики.

Отметим, что V780 Тау демонстрирует слабую переменность в рентгеновском диапазоне спектра по данным второго каталога источников ROSAT (Boller et al., 2016). Изменение регистрируемого потока 2RXS J054025.1+244839 с течением времени продемонстрировано на рисунке 11.

10 Область V962 Tau

V962 Tau, обозначенная на рисунке 12 цифрой 1, находится на расстоянии ~ 10 угловых секунд от максимума потока в диапазоне гамма-излучения. Данные об объектах, попадающих в область более слабого гамма-излучения, представлены в таблице 9. Описание колонок в таблице 9 соответствует описанию к таблице 3.

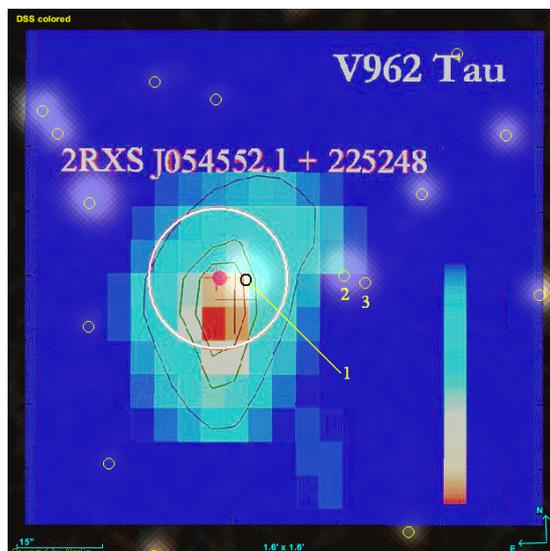


Рис. 12. Локализация ТэВ-источника на фоне оптического изображения области V962 Tau

Таблица 9.

№	R.A. (2000)	Decl. (2000)	Plx	pmRA	pmDE	G	G _{BP}	G _{RP}	T _{eff}	Rad	Lum
2	086.46128416	+22.88003290	8.9771	3.820	-37.943	12.9985	14.4091	11.8235	4078.39	0.61	0.093
3	086.46016711	+22.87969449	1.1031	2.352	-5.134	18.6179	19.0753	17.0258	—	—	—

11 Заключение

В результате проведенного анализа было установлено соответствие источников ТэВ-излучения красным карликовым звездам. Высказано предположение о возможной идентификации в оптической области спектра других объектов поля, в частности рентгеновских источников 2SXPS J010321.2+622159 = 522864272037651712, 1RXS J052327.7+222649 = 3414565834307772672, 2SXPS J054550.7+225249 = 3427527766435285248. После знака равенства указано уникальное для всех выпусков данных GAIA обозначение источника. Формально перед обозначением должно стоять Gaia DR2.

Составлен список из 39 объектов, попадающих в области слабого гамма-излучения, превышающего уровень фона, и в окрестностях звезд, рассмотренных в статьях [SinitSYna et al. \(2019\)](#), [SinitSYna et al. \(2020\)](#). Следует также отметить, что координатное обеспечение рисунков с распределением гамма-излучения вблизи рассмотренных красных карликов имеет ошибки. Это несколько усложнило идентификацию в оптическом диапазоне.

Благодарности. При выполнении работы активно использовались поддерживаемые Центром астрономических данных в Страсбурге приложения SIMBAD, VizieR и Aladin, а также библиографический сервис SAO/NASA ADS. Автор признателен всем, кто обеспечивает их работу и выражает благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за частичную поддержку проведенных исследований за счет грантов № 19-02-00191 и № 19-29-11027.

Автор искренне благодарен М.М. Кацовой за обсуждение статьи и высказанные полезные замечания.

Литература

- Ahumada R., Prieto C.A., Almeida A., et al., 2020. *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, vol. 249, no. 1, 3.
- Alam S., Albareti F.D., Allende Prieto C., et al., 2015. *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, vol. 219, no. 1, 12.
- Alekseev I.Y., Chalenko N.N., Fomin V.P., et al., 1995. In Greiner J., Duerbeck H.W., Gershberg R.E. (Eds), IAU Colloq. 151: Flares and Flashes. p. 78, doi:10.1007/3-540-60057-4_239.
- Baird G.A., Delaney T.J., Lawless B.G., et al., 1975. *Astrophys. J. Lett.*, vol. 196, pp. L11–L13.
- Boller T., Freyberg M.J., Trümper J., et al., 2016. *Astron. Astrophys.*, vol. 588, A103.
- Bonnarel F., Fernique P., Bienaymé O., et al., 2000. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, vol. 143, pp. 33–40.
- Caballero-García M.D., Castro-Tirado A.J., Claret A., et al., 2016. In Caballero-García M.D., Pandey S.B., Hiriart D., Castro-Tirado A.J. (Eds), *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series. Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, vol. 48, pp. 59–63 (arXiv:1512.07034).
- Cavallo G., Jelley J.V., 1975. *Astrophys. J. Lett.*, vol. 201, pp. L113–L115.
- Costa E., Feroci M., Frontera F., et al., 1997. *IAU Circ.*, vol. 6572, p. 1.
- D’Elia V., Gehrels N., Holland S.T., et al., 2014. GRB Coordinates Network, vol. 16158, p. 1.
- D’Elia V., Perri M., Puccetti S., et al., 2013. *Astron. Astrophys.*, vol. 551, A142.
- Evans P.A., Page K.L., Osborne J.P., et al., 2020. *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, vol. 247, no. 2, 54.
- Gaia Collaboration, Brown A.G.A., Vallenari A., et al., 2018. *Astron. Astrophys.*, vol. 616, A1.
- Gershberg R.E., Terebizh A.V., Shlyapnikov A.A., 2011. *Bulletin Crimean Astrophysical Observatory*, vol. 107, no. 1, pp. 11–19.
- Giacconi R., Gursky H., Paolini F.R., Rossi B.B., 1962. *Phys. Rev. Lett.*, vol. 9, no. 11, pp. 439–443.
- Gorbachev M.A., Ignatov V.K., Shlyapnikov A.A., 2019. In Stepanov A.V., Nagovitsyn Y.A. (Eds), *Solar and Solar-Earth Physics - 2019*. pp. 115–118, doi:10.31725/0552-5829-2019-115-118.
- Groot P.J., Galama T.J., van Paradijs J., et al., 1997. *IAU Circ.*, vol. 6584, p. 1.
- Gursky H., Giacconi R., Gorenstein P., et al., 1966. *Astrophys. J.*, vol. 146, pp. 310–316.
- Holt S.S., Ramaty R., 1969. *Solar. Phys.*, vol. 8, no. 1, pp. 119–141.
- Klebesadel R.W., Strong I.B., Olson R.A., 1973. *Astrophys. J. Lett.*, vol. 182, p. L85.
- Mamajek E., 2019. A Modern Mean Dwarf Stellar Color and Effective Temperature Sequence, Version 2019.3.22. Available at: https://www.pas.rochester.edu/~emamajek/EEM_dwarf_UBVIJHK_colors_Teff.txt.
- Mongiú M., Greimel R., Drew J.E., et al., 2020. *Astron. Astrophys.*, vol. 638, A18.
- Oyaizu H., Lima M., Cunha C.E., et al., 2008. *Astrophys. J.*, vol. 674, no. 2, pp. 768–783.
- Pecaut M.J., Mamajek E.E., 2013. *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, vol. 208, no. 1, 9.
- Peterson L.E., Winckler J.R., 1959. *J. Geophys. Res.*, vol. 64, no. 7, pp. 697–707.
- Sahu K., Livio M., Petro L., Macchetto F.D., 1997. *IAU Circ.*, vol. 6606, p. 2.
- Sandage A., Osmer P., Giacconi R., et al., 1966. *Astrophys. J.*, vol. 146, p. 316.
- Sinitsyna V.G., Sinitsyna V.Y., Stozhkov Y.I., 2019. In Pattison B., Itow Y., Sako T., Menjo H. (Eds), *European Physical Journal Web of Conferences. European Physical Journal Web of Conferences*, vol. 208, p. 14007, doi:10.1051/epjconf/201920814007.
- Sinitsyna V.G., Sinitsyna V.Y., Stozhkov Y.I., 2020. In Nakahata M. (Ed.), *Journal of Physics Conference Series. Journal of Physics Conference Series*, vol. 1468, p. 012082, doi:10.1088/1742-6596/1468/1/012082.
- Stassun K.G., Oelkers R.J., Paegert M., et al., 2019. *Astron. J.*, vol. 158, no. 4, 138.
- Voges W., Aschenbach B., Boller T., et al., 2000. *IAU Circ.*, vol. 7432, p. 3.
- Webb N.A., Coriat M., Traulsen I., et al., 2020. *VizieR Online Data Catalog*, IX/59.
- Wenger M., Ochsenbein F., Egret D., et al., 2000. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, vol. 143, pp. 9–22.

Identification of objects in the optical range in the areas of hard radiation near red dwarf stars

A.A. Shlyapnikov 

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409
aas@craocrimea.ru

Abstract. The analysis of the localization regions of TeV gamma-ray sources in the X-ray and optical spectral ranges is carried out. The angle distances from the position of the maxima in the distribution of high-energy fluxes to the probable candidates for identification with red dwarfs are indicated. Possible identifications of fainter TeV sources and other field objects are also considered.

Key words: X-ray and gamma-ray sources, stars – variable and peculiar