

Локализация остатков сверхновых в Галактике

Г. Б. Анисимова, Р. Б. Шацова

*Южный федеральный университет,
Днепропетровский, 118, г. Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: galina@iubip.ru*

Исследуется расположение известных остатков сверхновых в Галактике (~ 300 SNR). Показана неслучайность распределения SNR: по группам SNR прослеживаются спиральные рукава и другие галактические структуры (бар и др.), распределение SNR и их групп регулярно с периодом π/n , где $n=2, 4, 6$. Обнаружены партнеры SNR по конфигурациям (антиподы, противостояния и др.).

Основные представления о локализации остатков сверхновых были получены тогда, когда их было известно несколько десятков. Среди них: концентрации к очень тонкому галактическому диску, SNR I – к центру Галактики, SNR II – к спиральным рукавам. В этих рамках распределение случайно.

За последнее время (лет 10–20) число известных SNR существенно возросло, $N > 300$. Не приведет ли это к изменению взглядов на их распределение в Галактике?

Мы использовали каталог Green (2004) [1], включающий 231 SNR; большая часть их наблюдалась в радиодиапазоне. Из других источников добавлено еще 65 объектов [2, 3]. Много остатков на $|b| < 1.25^\circ$ открыто группой Brogan [2] с помощью радиотелескопа с длинной базой VLA 90 см. При этом они считают, что SNR в этой полосе еще очень много. А вот на $|b| > 1.25^\circ$ открыты почти все.

Однако, сопоставим числа SNR по каталогу Green по обе стороны от $|b| = 2^\circ$ (около 80 % на $|b| < 2^\circ$ и 20 % на $|b| > 2^\circ$) с числами исторических сверхновых SN, вспышки которых наблюдались в нашу эру. За 2000 лет зарегистрировано 10–11 вспышек. Из них на $|b| = 1.4^\circ$ только SN Tucho, остальные на $|b| > 2^\circ$. Т. е. противоположная картина: 10 и 90 %.

Мы рассмотрели все ≈ 300 SNR и две выборки: $|b| > 3^\circ$, а также исторические SN.

По всем SNR получены распределения по l (рис. 1, а) и b (рис. 1, б). На южных широтах на стороне центра Галактики почти в два раза больше SNR, чем на северных; на обратной стороне – наоборот. Асимметрия видна и по l : max смещен от ожидаемого $l=0$ (центр Галактики) к $l=6.7^\circ$. Способом наименьших квадратов определен наклон полосы SNR к плоскости Галактики $b = (1.2^\circ \pm 0.5^\circ) \sin(l - 43^\circ)$ со среднеквадратичным отклонением $\sigma(b) = 1.6^\circ$. По-видимому, это отражает искривление плоскости Галактики.

Классификация SNR I и SNR II типа в каталоге Green заменена на 3 типа: S, F, C. По ним мы не заметили особых различий по отношению к спиральным рукавам, поэтому больше не будем ее касаться. Но связь SNR с рукавами все же видна на рис. 1, а. Главный max относится к рукаву Стрельца. Вторичные max: в Орионе ($\bar{l} \approx 70^\circ$), в Киле, в области Персея ($\bar{l} \approx 120^\circ$). Если SNR лежат на спиральных рукавах, то по отношению к Солнцу должны выделяться направления взаимно противоположные и почти перпендикулярные им. Можно было ожидать, что статистически выделятся группы с такими направлениями. И они действительно выделились. Неожиданностью стало то, что не только статистически, но индивидуально можно отображать

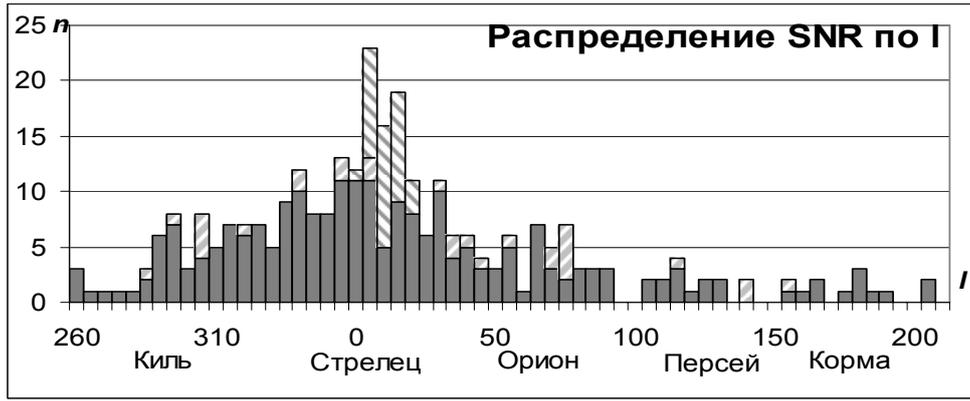


Рис. 1, а. Распределение SNR по долготе l . Разным источникам [1-3] соответствует разная штриховка

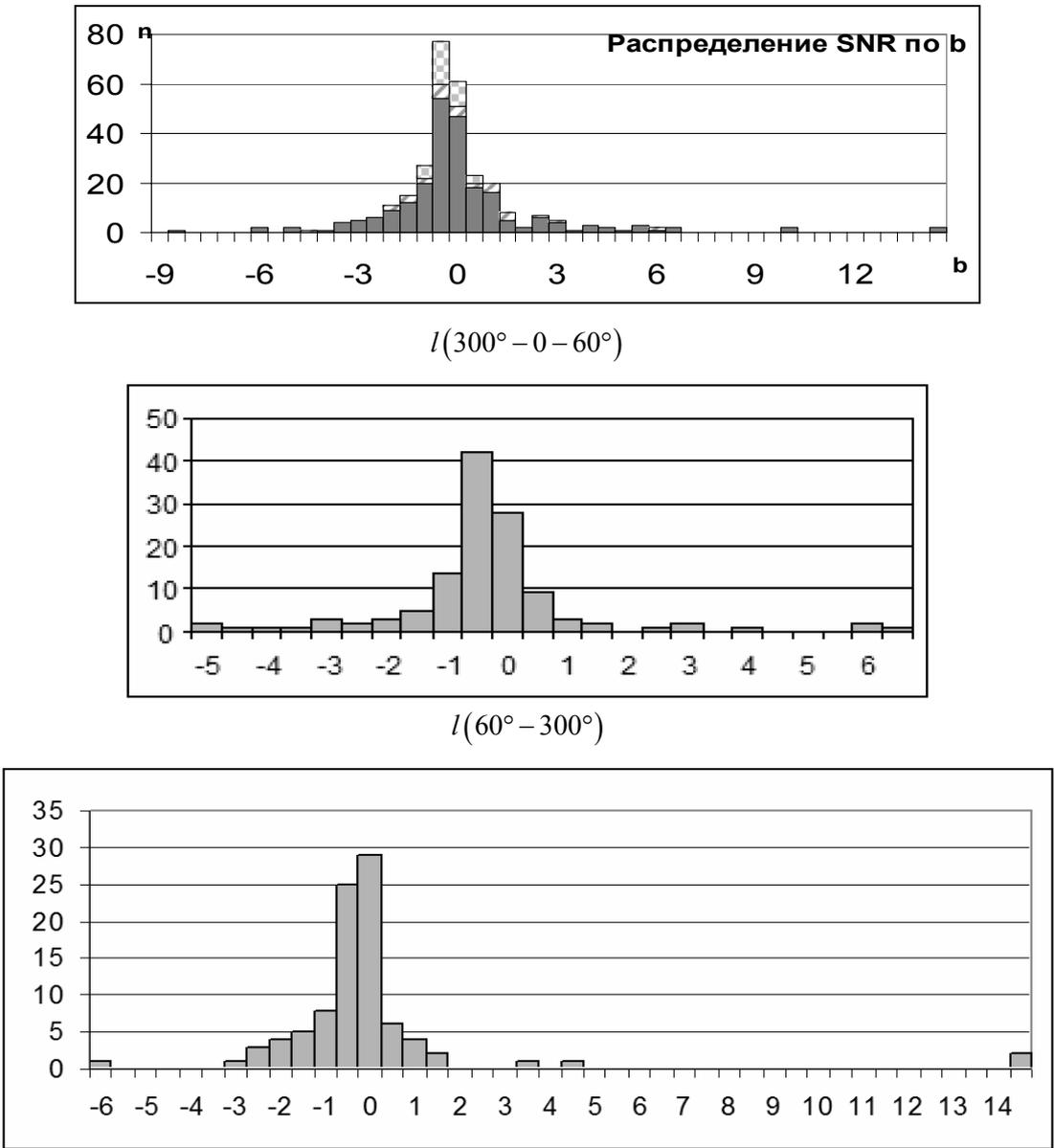


Рис. 1, б. Распределение SNR по широте b . Приведены гистограммы по всем SNR (разным источникам [1-3] соответствует разная штриховка), а также с разбивкой на 2 группы по долготе $l(300^\circ-0-60^\circ)$ и $l(60^\circ-300^\circ)$

пары-тройки и даже четверки SNR в конфигурациях, $\Delta l = l_2 - l_1 \approx k\pi/2$, $\Delta|b| = |b_2| - |b_1| \approx 0$, которые условно будем обозначать как

- соединения (A), при $l_1 \approx l_2$, $b_1 \approx b_2$, $k=0$;
- антиподы (B), при $l_2 \approx l_1 \pm \pi$, $b_2 \approx -b_1$, $k=2$;
- квадратуры (C), при $l_2 \approx l_1 \pm \pi/2$, $b_2 \approx b_1$, $k=\pm 1$;
- противостояния (D), при $l_2 \approx l_1 \pm \pi$, $b_2 \approx b_1$, $k=2$.

В узкой экваториальной полосе, где SNR много, найти партнеров по таким конфигурациям несложно. С увеличением $|b|$ число SNR быстро падает. Так на $2^\circ < |b| < 10^\circ$, одна SNR приходится на 94 квадратных градуса. При случайном распределении найти партнеров по конфигурации маловероятно. Тем не менее они не просто встречаются, но почти всегда имеются. Этот вопрос мы изучили по двум выборкам.

Первая выборка – “ $|b| > 3^\circ$ ” – содержит 39 SNR. В качестве критериев отбора принято:

1) угловое расстояние между центрами SNR-партнеров $\rho = k\pi/2 \pm (d_1 + d_2)$, где d – угловые размеры SNR, или

2) $\rho = k\pi/2 \pm \bar{\rho}/2$, где ρ – среднее угловое расстояние между SNR на широте $|b|$.

Этим критериям удовлетворяют все 39 SNR притом, что $(d_1 + d_2)$ в среднем равно 2.5° . Данная регулярность или периодичность сочетается со случайными отклонениями от идеальных конфигураций. Это иллюстрирует рис. 2 для Δl и Δb с гауссовскими кривыми, где средне-квадратичное отклонение по Δl в 36 раз меньше $\pi/2$, а по Δb – даже в 200 раз.

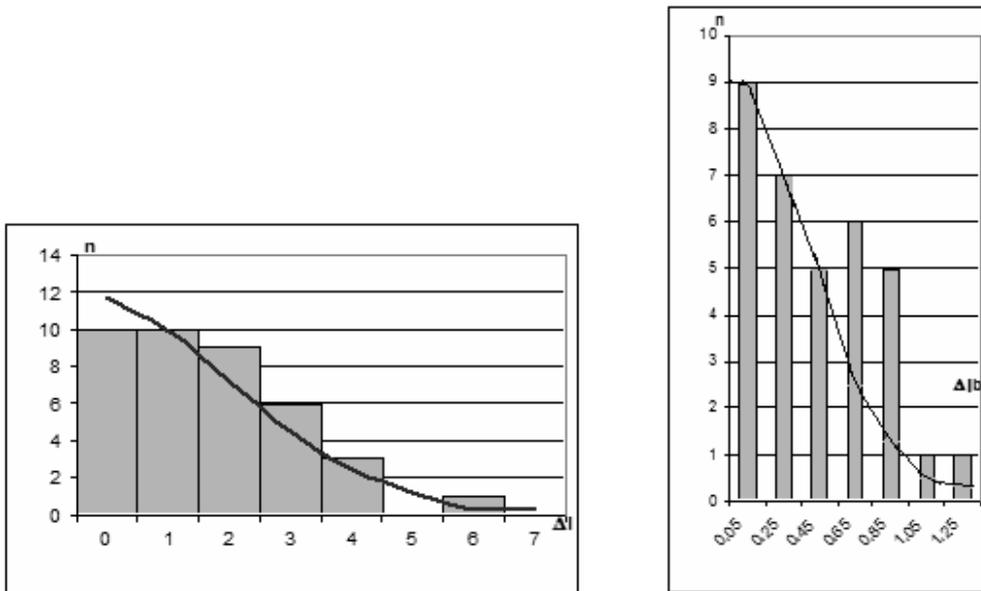


Рис. 2. Гистограммы отклонений от идеальных конфигураций Δl и Δb (в градусах)

Замечательно, что индивидуальные пары-тройки и больше SNR на небе собраны в группы (рис. 3). Так, 6 SNR около антицентра ($l \approx 185^\circ$) образуют кольцо P. Его антиподом служит другое кольцо S из 11 SNR около направления на центр Галактики ($l \approx 5^\circ$). Здесь 5 пар в соединении и лишь одна свободная. У каждой из них есть антипод, т. е. не только в целом кольца антиподы, но и почленно. Поскольку расстояния от нас до этих SNR различны, речь идет лишь о проекциях на небесную сферу или о сечении туннелеобразной структуры в направлении ядра Галактики, смещенной на $6 \div 7^\circ$ от центра Галактики и противоположной, где SNR расположены на стенках туннеля, проходящего через центр Галактики (Sgr A East, $l = 0$, $b = 0$). Возможно это бар, подобный барам многих других галактик. В последнее время о баре нашей Галактики говорят довольно много.

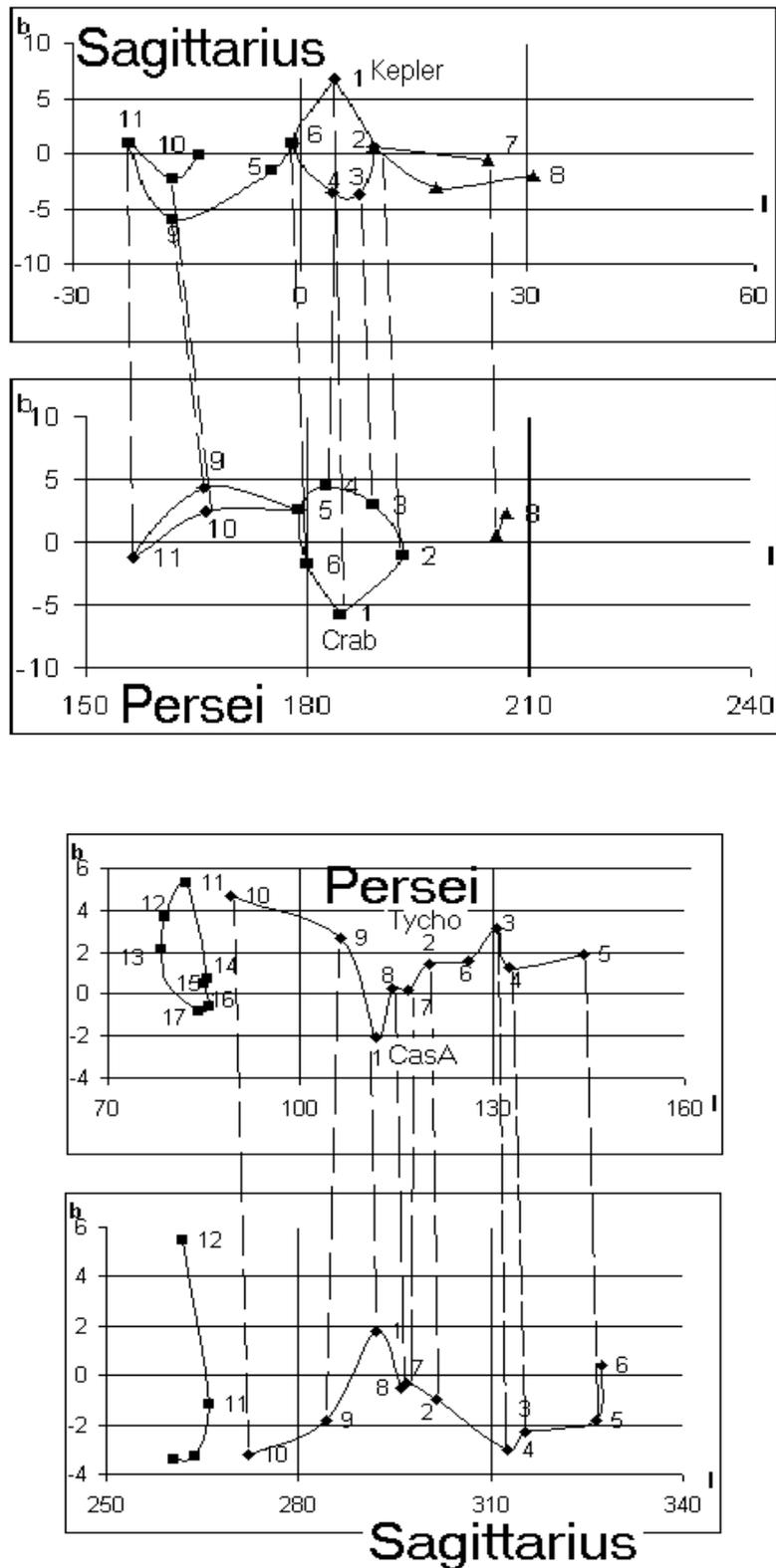


Рис. 3. Распределение SNR по небу. Партнеры-антиподы обозначены одинаковыми цифрами и соединены

Как видно по карте SNR (рис. 3), разделенной на две половины с долготами $0 \pm 90^\circ$ и $180^\circ \pm 90^\circ$, по обе стороны от колец P и S есть симметрично расположенные дуги из SNR-партнеров. Это – второй вид групп. Они совпадают с рукавами по направлениям и вероятно по расстояниям. А смыкаются опять же на кольцах на 85° и 265° (Орион и Киль).

SNR описывают спиральную структуру не только в общих чертах, но и более детально. Как правило, SNR очерчивают наиболее плотные фрагменты рукавов. Удивительно, что такие фрагменты оказались антиподами. Все они барями не могут быть, но тогда это что-то вроде мостов между рукавами.

Вторая выборка – “исторические SN” – содержит 11 звезд. Партнером SN может быть либо другая SN, либо SNR. Они показаны в одной строке (табл. 1). Судя по Δl и $\Delta |b|$, убеждаемся в том, что среди 11 звезд 55 % входят в конфигурации: две пары антиподов, Crab – Kepler (в пределах 1°) и SN 185 – SN 3C58 (в пределах 5°), и одна пара в квадратуре, SN 1408 и SN 668.

Таблица 1. Конфигурации исторических сверхновых и их партнеров

		$k = 0; 1$				$k = 0; \pm 1$				$k = 1; 2$			
Обозначение	l	b	$ \Delta l $	$ \Delta b $	Обозначение	l	b	$ \Delta l $	$ \Delta b $	$ \Delta l $	$ \Delta b $		
SN185	RCW86	315.4	-2.3	2.9	0.7	SN1181	3C58	130.7	3.1	2	1.8	184.7	0.8
	G	312.5	-3.0				HB3	132.7	1.3	88.8	1.0	181.8	0.1
							CTB72	41.9	-4.1				
SN396		173	-22.0										
SN668		160	5.0			SN1408	CTB80	69	2.7	3.7	3.0	91.0	2.3
CTB13		156.4	-1.2	3.6	3.8		G	65.3	5.7	3.3	1.5	87.4	1.5
HB9		160.9	2.6	0.9	2.4		DA495	65.7	1.2			91.9	0.1
SN902	CTA1	119.5	10.2			PKS1209	51/52	296.5	10.0			177.0	0.2
SN1006		327.6	14.6	2.4	0.4								
	Lupus Loop	330	15.0										
SN1054	Crab	184.6	-5.8			SN1604	Kepler	4.5	6.8	0.3	0.6	180.1	1.0
							G	4.8	6.2	88.8	0.1	179.8	0.4
							DA530	93.3	6.9	91.3	1.1	91.3	1.1
SN1572	Tycho	120.1	1.4	91.3	0.1		G	301.4	-1.0	89.3	0.0	181.3	0.4
		28.8	1.5	89.4	0.4								
		30.7	1.0										
SN1667	CasA	111.7	-2.1	2.6	1.1	MSH11-54		292	1.8			180.3	0.3
	CTB109	109.1	-1.0	2.6	1.8								
	G	114.3	0.3										

Те же и остальные SN связаны с SNR во всех видах конфигураций. Число связей больше числа SN. Исключением служит SN 396 с наибольшей широтой $b = 22^\circ$, но на $b = 22^\circ$ не искали SNR.

Случайное моделирование показало, что до 14 % всех пар может быть случайным, но тройки и четверки случайными не бывают. А реально их много.

Как видно из табл. 2, SN обнаруживают также регулярность относительно таких ориентиров неба, как пояс зодиака (E), пояс Гулда (GB), пояс шпуров (S). Последний объединяет 4 радиопетли (I-IV). Представляющие пояс большие круги описывает уравнение:

$$\operatorname{tg} b = \operatorname{tg} b^* \sin(l - l^*),$$

где l^* – долгота восходящего узла круга на галактическом экваторе MW, b^* – угол наклона к MW.

Угловое расстояние SN от круга, p , вычисляется по формуле:

$$\sin p = \cos b * \sin b - \sin b * \cos b \sin(l - l^*),$$

в частности, $p = \beta$ – эклиптикальной широте для E.

Таблица 2. Принадлежность SN поясам неба

E($l^* = 187^\circ, b^* = 60^\circ$)		GB($296^\circ, 22^\circ$)		S($138^\circ, 69^\circ$)		MC($70^\circ, 52^\circ$)	
SN	$\beta, ^\circ$	SN	$p, ^\circ$	SN	$p, ^\circ$	SN	
SN Kepler	2.3	SN CasA	-3.6	SN 185	-2.9	SN1408	2.5
SN 396	0.0	SN Tycho	2.7	SN 1181	7.5		
Crab	-2.3	SN 1006	2.6				

По табл. 1 сверхновая Tycho оказалась внутри треугольника с вершинами CasA, SN1181 и SN902, на расстояниях $9 \div 10^\circ$ от них. Площадь треугольника $< 0.25\%$ неба для 36% всех SN. Треугольник находится посередине между парой SN в квадратуре (SN668 и SN1408). Вместе эта группа из 6 SN (55% от 11) занимает около 1% неба с центром ($l = 119^\circ, b = 3^\circ$), лежащим около узла пояса Гулда ($l = 116^\circ, b = 0^\circ$). В противоположной стороне неба находятся SN 1006 и SN 185.

В проекции на плоскость Галактики (рис. 4) эти 8 SN и 4 радиопетли около ($x = 0, y = 0$) лежат на узкой прямолинейной полосе, проходящей вблизи Солнца. По этой полосе проходят линии узлов пояса Гулда (GB) и пояса шпуров (S). Близость от Солнца свидетельствует, что ошибки в расстояниях SN мало влияют на ориентацию полосы. Остальные 3 SN еще точнее лежат на эклиптике E: Crab и Kepler – недалеко от узлов E на MW.

Подобные проекции показаны у Таммана [4] для 5 SN, а также Псковского [5] (для 7 SN), у Лозинской [6] (для 6 SN) при разных оценках расстояний SN.

Мы обратили внимание на то, что расположение имеет форму креста; одно плечо креста близко к линии узлов плоскости S, другое плечо – вдоль линии узлов плоскости E. В плоскости S или GB лежат радиопетли (I-IV). Крест позволяет прогнозировать места новых вспышек сверхновых: с вероятностью $6/11$ на площади 1% неба около Tycho, с вероятностью $3/11$ в зодиакальном поясе.

Конфигурации можно использовать при поиске неизвестных сверхновых и в других случаях.

Наблюдаемые конфигурации в распределении групп SNR и индивидуальных SNR внутри групп могут служить проявлениями кристаллоподобной метрики всей системы SNR и всей Галактики.

По-видимому, расположение спиральных рукавов и поперечных им структур, а также отдельных фрагментов внутри них оказывается более регулярным, чем предполагалось до сих пор. Эта регулярная совокупность освещается время от времени самыми яркими объектами – сверхновыми звездами. А то обстоятельство, что наблюдаемые SNR локализируются на границах плотных фрагментов, на фрагментах рукавов, и вообще на перепадах плотности, проливает свет и на одну из причин взрывов: предсверхновая звезда, оказавшаяся при своем движении на барьере плотности, испытывает резкий скачок скорости, сотрясение может стать пусковым механизмом взрыва.

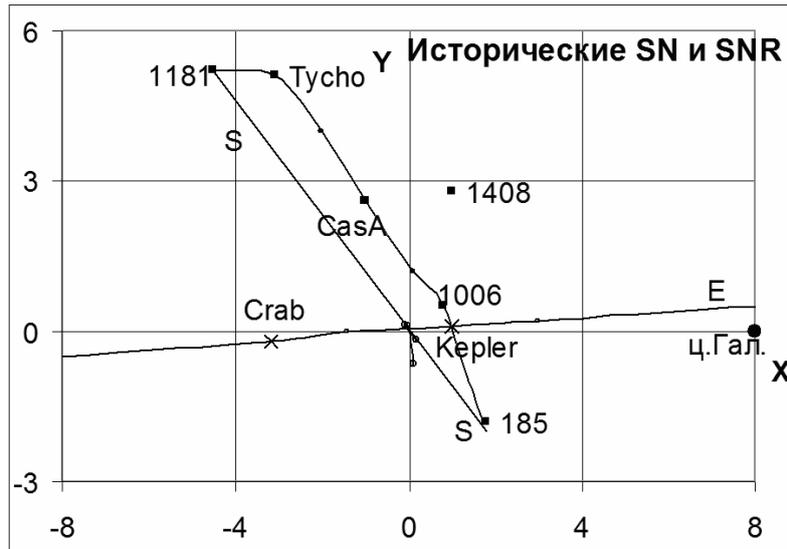


Рис. 4. Проекция исторических сверхновых на галактическую плоскость X и Y (в килопарсеках)

Выводы

В работе показаны важные особенности размещения остатков сверхновых в проекции на небесную сферу и частично в проекции на плоскость Галактики.

1. Из-за остающейся селекции наблюдений, рано считать, что диск SNR очень тонкий.
2. По вопросу о случайности распределения SNR получен уверенный ответ:
 - а) Распределение SNR и их групп регулярно с периодом π/n . Случайны лишь малые отклонения от периодических конфигураций. Это подтверждено и случайной симуляцией.
 - б) В рукаве Персея находятся 6 из 11 SN, они заполняют $<1\%$ площади неба. Еще 3 SN – в зодиакальном поясе. Это позволяет прогнозировать места будущих вспышек.
 - в) По группам SNR прослеживаются спиральные рукава и неизвестные галактические структуры – возможный бар и мосты между рукавами.
3. Найденная периодичность напоминает кристаллическую, что вероятно связано с топологией Галактики.

Литература

1. Green D. A. Bull. Astron. Soc. India, 2004, vol. 32, pp. 335-346.
2. Brogan C. L., Gelfand J. D. et al. Ap. J. 2006, vol. 639, pp. 25-38.
3. Ленг К. Астрономические формулы. 2. Москва, Мир, 1978, с. 176.
4. Tammann G. A. Mem. Soc. Astron. Ital. 1978, vol. 49, pp. 315-322.
5. Псковский Ю. П. Новые и сверхновые звезды ПНТП. Москва, Наука, 1985.
6. Лозинская Т. А. Сверхновые звезды и звездный ветер. Взаимодействие с газом Галактики. Москва, Наука, 1986.

Локалізація залишків наднових зірок у Галактиці

Г. Б. Анісімова, Р. Б. Шацова

Досліджується розташування відомих залишків наднових у Галактиці (~ 300 SNR). Показано не випадковість розподілу SNR: за групами SNR прослідковуються спіральні рукави та інші галактичні структури (бар тощо), розподіл SNR та їх груп регулярно з періодом π/n , де $n=2, 4, 6$. Знайдені партнери SNR за конфігураціями (антиподи, протистояння та інші).

Localization of Galaxy Supernova Remnants

G. B. Anisimova and R. B. Shatsova

The location of the known supernova remnants in the Galaxy is investigated (~ 300 SNR). The non-random SNR distribution is obtained: the spiral arms and other galactic structures (the bar, etc) are revealed; the distribution of SNR and SNR groups is regular, having the period π/n , where $n = 2, 4, 6$. The SNR partners in configurations (antipodes, etc) are detected.