

**“MILITARY SECRET”  
OF ASTROPHYSICS**

V. M. LIPUNOV

*About 30 years astrophysicists tried, without any success, to solve one of the most mysterious problems – the nature of gamma ray bursts. Dozens of space experiments, dozens of dozens of theoretical papers just made the situation still more vague. Only recently, in spring 1997, it becomes clear that we deal with the most huge and powerful phenomenon in the Universe.*

*Около тридцати лет астрофизики безуспешно пытались разгадать одну из самых загадочных тайн Вселенной – природу гамма-всплесков. Десятки космических экспериментов, сотни теоретических статей лишь затуманивали ситуацию, и только совсем недавно, весной 1997 года, стало ясно, что мы имеем дело с самым грандиозным по мощности явлением в природе.*

© Липунов В.М., 1998

**“ВОЕННАЯ ТАЙНА”  
АСТРОФИЗИКИ**

В. М. ЛИПУНОВ

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Есть военные тайны, а есть тайны природы и истории, связанные с ними и иногда тесно переплетающиеся. После подписания договора о запрете ядерных испытаний в трех средах в 1964 году Пентагон запустил несколько военных спутников с целью контроля за ядерными испытаниями потенциальных противников и союзников. Идея слежения проста: подрыв ядерного устройства на поверхности Земли или в атмосфере сопровождается коротким всплеском гамма-излучения. Если на околоземной орбите расположить несколько гамма-детекторов, то по временной задержке импульсов можно определить, какая из стран нарушает договор о ядерном воздержании. Вскоре выяснилось, что кроме как Францией и Китаем конвенция нарушается некой третьей державой, расположенной в... созвездии Большой Медведицы. Гамма-всплески приходили из космоса! Лишь через несколько лет эти данные были рассекречены и предоставлены к обдумыванию астрономам, и вот уже почти тридцать лет бывшая военная тайна остается самой большой научной загадкой современной астрофизики.

Все попытки найти источники гамма-всплесков заканчивались полным провалом. Создавалось впечатление, что они приходят из пустоты. Из такого скудного экспериментального материала родилось великое множество теоретических моделей. В потенциальные виновники попало практически все, что “плохо светит” в видимом диапазоне, — от роя околосолнечных комет до реликтовых черных дыр, оставшихся от неоднородностей Большого Взрыва Вселенной.

Поражала высокая частота событий — всплески детектировались почти каждый день, что впервые было установлено в прекрасном советском эксперименте “Конус”, осуществленном под руководством Е.П. Мазеца на космических аппаратах “Венера-11, -12” и “Прогноз” в 70-е годы. Но еще более удивительным оказалось то, что всплески с равной вероятностью приходят с любого направления (распределены изотропно), но в пространстве расположены неоднородно! Последнее обстоятельство устанавливается путем статистического анализа зависимости частоты событий от интенсивности всплеска вблизи Земли. Это знаменитая зависимость  $\lg N - \lg S$ . Она весьма полезна, когда ничего не известно о расстояниях до объектов. В плоском евклидовом пространстве, однородно заполненном

объектами, зависимость имеет наклон  $-3/2$ . Действительно, поток энергии, падающий на приемник, обратно пропорционален квадрату расстояния до источника:

$$F = \frac{L}{4\pi R^2}, \quad (1)$$

а число источников ярче  $F$  пропорционально объему сферы радиуса  $R$

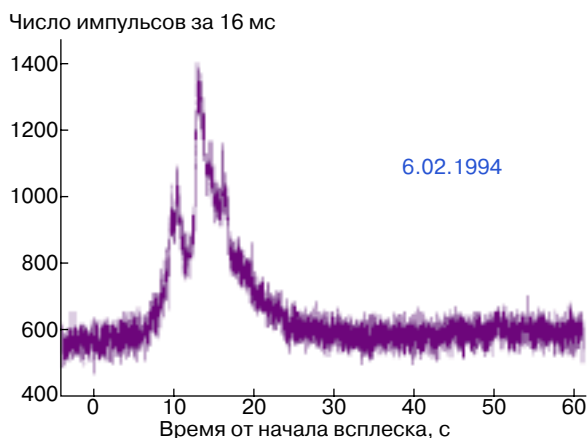
$$N(>F) \sim \frac{4}{3}\pi R^3 \sim F^{-3/2}, \quad (2)$$

откуда

$$\lg N \sim -\frac{3}{2}\lg F.$$

В XVIII веке Уильям Гершель, анализируя эту зависимость для звезд, установил, что наша Галактика плоская, точнее, имеет дискообразную форму. Млечный путь, видимый простым глазом в ясную безлунную ночь, не что иное, как наша Галактика, то есть все ее неблизкие звезды, слившиеся в одну светящуюся полосу. А как выглядит “галактика” гамма-всплесков? Есть ли у нее своя полоса, состоящая из слабых всплесков? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно иметь координаты и яркость как можно большего числа всплесков.

Последний эксперимент, поставленный на американской орбитальной гамма-обсерватории им. Артура Комптона (Compton Gamma Ray Observatory — CGRO), позволил обнаружить более 2000 новых всплесков (рис. 1), и оказалось, что наклона  $-3/2$

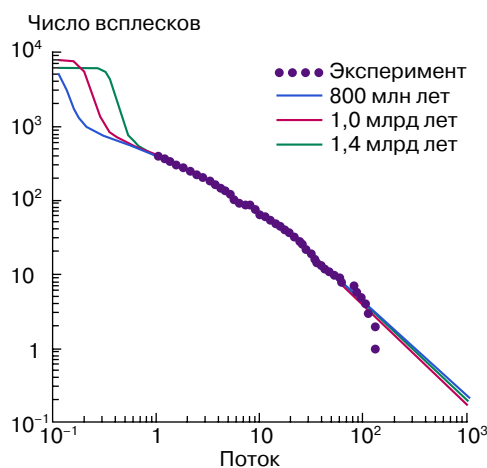


**Рис. 1.** Запись гамма-всплеска GRB 940206, произведенная с борта гамма-обсерватории им. А. Комптона. Этот всплеск не является типичным, потому что типичного всплеска нет. Общее лишь то, что в течение долей или нескольких секунд “из пустоты” появляется поток гамма-квантов, обладающий сложной изрезанной временной структурой

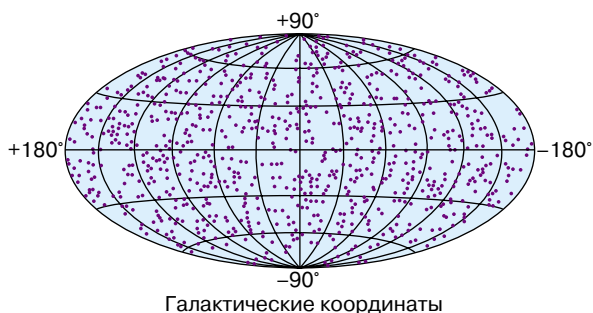
практически нигде нет (рис. 2), а по небу источники распределены изотропно (рис. 3). Странная получается “галактика”. Распределение по потокам показывает, что она дискообразная, а на небе никаких следов Млечного пути нет!

Ничего подобного в нашей Галактике быть не может. Но в нашей Вселенной есть один практически идеально изотропный объект — это сама Вселенная!

Именно это заставило многих ученых отказаться от галактической модели гамма-всплесков. Астрономическое сообщество разделилось на две примерно равные части в соответствии с крайними точками зрения: либо источники гамма-всплесков удалены на космологические расстояния и их изотропия связана с изотропией нашей Вселенной,



**Рис. 2.** Зависимость  $\lg N - \lg S$  для гамма-всплесков, полученная по данным наблюдений CGRO (точки), и теоретические кривые, полученные с помощью Машины Сценариев для различных моментов образования галактик после начала расширения Вселенной (Липунов, Постнов, Прохов, Панченко, Йоргенсен (1995))



**Рис. 3.** Карта 1000 гамма-всплесков, обнаруженных с 1991 по 1994 год с борта космической обсерватории им. А. Комптона

либо они окружают нашу Галактику, образуя своеобразную сферическую корону.

Дело дошло до публичных дебатов в Музее естественной истории в Вашингтоне между сторонниками этих гипотез (последний раз подобные дебаты проходили между Харлоу Шэпли и Гербертом Кертисом в 1920 году относительно того, являются ли слабые туманности далекими галактиками, подобными нашей). Сторонники галактической гипотезы аргументировали свою позицию, в основном прибегая к критике оппонентов: если встать на космологическую точку зрения, то есть удалить гамма-всплески на расстояния порядка 15 млрд световых лет, то для объяснения наблюдаемой яркости вспышек нужно согласиться, что их источники — это самые мощные объекты Вселенной. Действительно, даже самые слабые из них создают у Земли поток энергии  $F = 10^{-7}$  эрг/(см<sup>2</sup> · с) и, следовательно, их светимость или мощность (ср. с формулой (1))

$$L = 4\pi R^2 F \approx 10^{50} \text{ эрг/с.}$$

Напомним, что до сих пор самыми мощными источниками во Вселенной считались квазары, светимость которых в 10 000 раз меньше! А ведь есть гамма-всплески и в сто раз ярче, а это уже  $10^{52}$  эрг/с. При самом эффективном механизме переработки массы в излучение, известном сейчас в астрофизике, требуется, чтобы в течение одной секунды “вступали в реакцию” массы, примерно равные массам звезд. Не слишком ли высока цена у космологической модели?

Сторонники же космологической точки зрения, во-первых, критиковали модель короны, явно противоречащую наблюдениям: рядом с нашей есть несколько близких галактик, в том числе видимых невооруженным глазом, а вокруг них никаких коронок нет. А во-вторых, космологическая гипотеза самым естественным образом объясняет кажущуюся неоднородность в распределении гамма-всплесков в пространстве. Ведь формула (2) в нашей Вселенной неверна! Все дело в общей теории относительности. В кривом пространстве объем сферы не равен  $(4/3)\pi R^3$  и прямая  $\lg N - \lg S$  становится кривой с меньшим наклоном даже при однородном распределении источников!

Оставим на время этот спор и попробуем ответить на вопрос: какой процесс может обеспечить столь высокую светимость?

Сравнимые энергии выделяются при вспышках сверхновых, но при этом энергия почти целиком уносится нейтрино (оптическая вспышка является при этом лишь бледной тенью и растянута во времени на месяцы из-за огромного количества вещества, окутывающего центр высвечивания). Вот если бы вокруг не было вещества, то излучение, не перерабатываясь в мягкие кванты, за несколько секунд уходило бы в виде гамма-всплеска.

Но именно такая ситуация и реализуется при слиянии двух нейтронных звезд!

Идея о том, что слияние нейтронных звезд является причиной всплесков, высказанная еще в 1984 году советским астрофизиком С.И. Блинниковым с соавторами, в последние годы стала наиболее популярной.

Появилась серия работ, в которых наблюдаемая кривая  $\lg N - \lg S$  объяснялась эффектами ОТО в космологии. Однако недостатком всех этих работ было одно простое обстоятельство: нейтронные звезды — это результат звездной эволюции, а было время (примерно 15 млрд лет назад), когда не то что звезд, не было даже галактик и, следовательно, сливающиеся нейтронные звезды были распределены в наблюдаемом объеме Вселенной неоднородно! Темп слияния определяется законами эволюции (эволюционным сценарием) и историей образования звезд в нашей Вселенной (функцией звездообразования). На рис. 4 показан сценарий эволюции двойной системы, приводящий к образованию двойной нейтронной звезды и заканчивающийся полным слиянием вследствие излучения гравитационных волн.

Эволюция двойной начинается с образования двух голубых звезд, внутри которых идет термоядерная реакция превращения водорода в гелий. Затем первая, первоначально более массивная звезда пережигает свой водород и увеличивает радиус, постепенно приближаясь к критической полости Роша — поверхности, разграничивающей области гравитационного влияния компонент двойной. Через 12,7 млн лет она заполняет свою полость Роша и начинает перетекать на соседку. В результате происходит перемена ролей — первоначально более массивная звезда становится менее массивной. Обмен массой оканчивается в тот момент, когда центральное ядро первой звезды сжимается и отделяется от оболочки. При этом в ее ядре происходит возгорание гелия. Образуется звезда, называемая астрономами звездой типа Вольфа–Райе (WR), которая через 130 тыс. лет пережигает весь гелий и взрывается как сверхновая звезда, оставляя сверхкомпактный остаток — нейтронную звезду. Так как взрывается менее массивная звезда, система не разваливается и эволюция продолжается.

Нейтронная звезда проходит несколько стадий — от состояния эжектирующей потоки релятивистских частиц быстро вращающейся звезды до медленно вращающейся аккрецирующей звезды. Но более важно, что ее соседка наконец пережигает свой водород и повторяет путь первой звезды, рождая в конце вторую нейтронную звезду: образуется система двух нейтронных звезд, одна из которых, более молодая, проявляет себя как радиопульсар. Такие системы реально сейчас наблюдают в Галактике. Параметры двойной системы, состоящей из двух нейтронных звезд, полностью контролируются гравитационно-волновым излучением. Примерно через 12 млрд лет гравитационные волны уносят

$M_1, M_\odot$		$M_2, M_\odot$	$A, R_\odot$	$T$ , млн лет
15,00		14,00	120,00	0,00
14,34		13,48	125,10	11,52
13,71		13,44	128,20	12,67
8,45		14,09	189,20	12,68
4,43	WR	14,25	470,70	12,68
4,27	WR	14,25	474,80	12,81
				12,81
1,40	NS	14,25	579,70	13,03
1,40	NS	13,71	600,40	14,05
1,40	NS	13,06	270,80	14,05
1,58	NS	4,12	3,11	14,06
	NS			14,06
1,58	NS	1,40	15,13	14,43
				14,43
	BH	2,98		12 690,00

**Рис. 4.** Эволюционный трек двойной системы, приводящий к образованию двойной нейтронной звезды. Приводятся массы звезд  $M_1$  и  $M_2$  в единицах солнечной массы  $M_\odot$ .  $A$  – расстояние между звездами, выраженное в солнечных радиусах  $R_\odot$ , и  $T$  – возраст двойной системы в миллионах лет. NS – нейтронная звезда, BH – черная дыра

весь орбитальный момент двойной звезды и звезды сталкиваются, выделяя гигантскую энергию, составляющую несколько десятков процентов энергии покоя звезд.

Знание эволюции тесных двойных позволяет ответить на вопрос о том, соответствует ли наблюдаемая функция  $\lg N - \lg S$  гамма-всплесков гипотезе сливающихся нейтронных звезд? Такая задача была нами решена.

Прежде всего мы рассчитали эволюцию темпа слияния в некоторой галактике, все звезды которой образовались одновременно в некоторый момент времени. Фактически эта уникальная кривая, полученная с помощью специальной компьютерной программы – Машина Сценариев (подробнее об этой программе написано в другой популярной статье автора – [2]), описывает так называемые эллиптические галактики, в которых нет существенного звездообразования в настоящую эпоху. Это удастся сделать с хорошей точностью, так как из наблюдений известна доля вещества, сосредоточенная в эллиптических и спиральных галактиках, а у последних звездообразование более или менее стационарно.

Полученные кривые привели нас к следующим заключениям: во-первых, наблюдаемые данные и гипотеза сливающихся нейтронных звезд находятся в хорошем согласии при определенных космологических параметрах (весьма близких к стандартным параметрам нашей Вселенной, найденных независимо по реликтовому излучению и крупномасштабной структуре Вселенной), во-вторых, расчеты показывают, что кривая  $\lg N - \lg S$  должна при переходе к более слабым потокам (пока еще недоступным) неизбежно изогнуться вверх (см. рис. 2).

Последнее является отличным тестовым предсказанием, так как во всех других моделях ничего подобного не ожидается. Само же появление перегиба связано с тем бесспорно установленным фактом, что примерно 15 млрд лет назад в нашей Вселенной шло бурное образование звезд и галактик. Однако в то время явно не хватало данных для открытия перегиба на кривой  $\lg N - \lg S$ . Да и в конце концов метод Гершеля – это статистика, а нужен принципиально новый эксперимент, дающий прямую информацию о свойствах гамма-всплесков и желательно не только в гамма-диапазоне.

Вплоть до весны 1997 года такого эксперимента не было, и в научных журналах продолжали появляться самые фантастические модели гамма-всплесков...

#### ИТАЛО-ГОЛЛАНДСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ VerpoSAX

Кажется, с тех пор как Галилей повернул телескоп к небу (а было это в 1610 году), итальянская астрономия не делала столь удачного астрономического эксперимента.

Все эксперименты в гамма-астрономии до 1997 года обладали одним решающим недостатком – они не позволяли быстро и точно определить направление на всплеск. Дело в том, что отдельный



гамма-детектор дает направление в лучшем случае с точностью до одного углового градуса, так что на небе получается квадрат ошибок с площадью в один квадратный градус. Наша Вселенная так велика, что в такой квадрат попадают тысячи далеких галактик и совершенно невозможно определить, с какой из них связан (и связан ли вообще) гамма-всплеск.

Идея же эксперимента ВерроSAX (Беппо — фамилия известного итальянского физика, а SAX — аббревиатура итальянского *Satelite di Astronomia X*, что означает *астрономический рентгеновский спутник*) крайне проста и оказалась удивительно плодотворной. Итальянские и голландские ученые создали специализированный спутник, на борту которого одновременно находятся и гамма-, и рентгеновский телескопы. Как только гамма-телескоп фиксирует всплеск, в его квадрат ошибок направляется рентгеновский телескоп, точность которого в 60 раз выше. Если за гамма-всплеском следует вспышка рентгеновского излучения, мы получаем координаты всплеска уже с точностью до одной угловой минуты, а в таком квадрате уже может поработать мощный оптический телескоп (см. подробнее об этом методе в статье В.Г. Курта [5]).

Спутник был запущен весной 1996 года, однако доводка его продолжалась более полугода, и фактически серьезная работа началась в 1997 году. Хотя гамма-всплески приходят раз в день со всего неба, из-за высокой направленности спутник ВерроSAX ловит их гораздо реже — примерно раз в два месяца. Первые два всплеска дали отрицательный результат — рентгеновские телескопы не обнаружили никакого сигнала, а вот третий, вспыхнувший 28 февраля 1997 года (GRB 970228) дал удивительный результат. После короткого гамма-всплеска, вспыхнувшего в созвездии Ориона, появилось рентгеновское послесвечение, длившееся около суток! У астрономов были координаты таинственного источника с точностью в одну угловую минуту, и самые мощные телескопы вскоре были направлены в это место. В квадрате ошибок оказались несколько далеких галактик, красная карликовая звезда, принадлежащая нашей Галактике, и один странный оптический звездообразный объект, окруженный туманным пятнышком (рис. 5).

Именно этот объект привлек внимание астрономов — его блеск менялся. И не просто менялся, а с каждым днем монотонно падал, будто он и есть оптическое послесвечение гамма-всплеска. Конечно, это могла быть, например, случайно совпавшая вспышка сверхновой звезды на краю Вселенной. Но, во-первых, кривая падения блеска уж очень не походила на стандартную сверхновую, а во-вторых, вероятность такого совпадения крайне мала! Ведь сейчас астрономы ведут специальную службу открытия далеких сверхновых (например, уже в 1997 году открыто около полусотни далеких сверхновых), в пересчете на все небо получается один мил-



**Рис. 5.** Фотография февральского 1997 года гамма-всплеска с космического телескопа им. Э. Хаббла

лион сверхновых с нужным блеском. Но телескоп-то был наведен не на все небо, а на одну квадратную угловую минуту. Легко подсчитать, что в квадратной минуте вспышки далеких сверхновых происходят один раз в 500 лет!

Связь с гамма-всплеском несомненна, но удивительна. Практически никто не ожидал, что короткое, длящееся секунды явление в гамма-диапазоне может сопровождаться оптическим послесвечением, продолжающимся, как мы теперь знаем, до сих пор!

Что же это за таинственное послесвечение, да еще окруженное туманным пятном? Обычно в таких ситуациях помогает спектральный анализ принимаемого излучения. В нашей расширяющейся Вселенной спектральные линии атомов, излученные в далеких объектах, смещены в красную сторону спектра из-за эффекта Доплера, причем тем сильнее, чем они дальше. Именно так были измерены расстояния до самых далеких объектов — квазаров. Но спектры оптической вспышки не содержали никаких атомных линий! А туманное пятнышко оказалось слишком слабым, так что определить по спектру, галактика это или нет, не удалось. Несмотря на грандиозный прорыв в проблеме гамма-всплесков, главный вопрос об их удаленности оставался открытым. Нужно было ждать.

В апреле был пойман еще один всплеск, но он не дал ни оптического, ни рентгеновского послесвечения.

И вот, наконец, 8 мая 1997 года ученые, как никогда близко, подошли к разгадке бывшей военной тайны. Этот несомненно исторический гамма-всплеск сопровождался рентгеновским, радио- и оптическим послесвечениями; в спектре последнего были найдены линии, смещенные в красную сторону

так, что соответствующее расстояние оказалось сравнимым с радиусом видимой части Вселенной. Гамма-всплески расположены на космологических расстояниях и, следовательно, являются самыми мощными явлениями в нашей Вселенной!

## ОГНЕННЫЕ ШАРЫ ВСЕЛЕННОЙ

Уже первые испытания ядерных устройств показали, что взрыв атомной бомбы сопровождается образованием гигантского огненного шара, состоящего из раскаленной до температуры миллионов градусов плазмы. Именно этот расширяющийся огненный шар давал вначале гамма-, а потом по мере остывания световую вспышку. Американский астрофизик Питер Межарош и английский астрофизик Мартин Рис несколько лет назад предложили похожую модель для объяснения космических гамма-всплесков. Только в отличие от атомных огненных шаров, являющихся фактически раскаленным воздухом, состоящим из сильно ионизованных атомов, космические шары состоят из электронно-позитронных пар и квантов света. Плотность их вначале столь высока, что ни те ни другие не могут вырваться за границы шара и их собственное давление разгоняет поверхность шара практически до скорости света. Так называемый гамма-фактор, равный отношению массы частиц к их массе покоя

$$\Gamma = \frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

в огненном шаре достигает нескольких сот. Когда шар расширяется настолько, что становится прозрачным, все фотоны покидают его в виде короткой гамма-вспышки, а оставшееся электронно-позитронное облако несется дальше. Если вокруг шара есть межзвездная среда, а таковая встречается довольно часто в галактиках, то шар порождает в ней сверхсильную релятивистскую ударную волну, на фронте которой генерируется длительное рентгеновское и оптическое послесвечение. Так в общих чертах выглядит сейчас наиболее популярная модель явления. Что порождает сам огненный шар — слияние нейтронных звезд, слияние нейтронной звезды и черной дыры или, как некоторые считают, гиперфирированный взрыв сверхновой, неясно.

Наиболее привлекательной кажется модель сливающихся двойных релятивистских звезд. Нейтронные звезды и черные дыры — самые плотные образования во Вселенной. Имея размер в несколько километров и массу звезд, они практически забыли всю информацию о своем химическом прошлом, они уже состоят не из атомов и даже не из элементарных частиц, они сами своеобразные элементарные частицы Вселенной. Слияние таких звезд — это своего рода ядерная реакция взаимодействия:



Слияние неизбежно должно сопровождаться излучением мощного гравитационно-волнового всплеска (GWB), нейтринного всплеска ( $\nu B$ ) и, возможно, образованием электронно-позитронного огненного шара и как следствие — гамма-всплеском (GRB). Конечно, львиная доля этой энергии уносится гравитационными волнами (которые неизбежно будут открыты в ближайшие годы на гравитационно-волновых интерферометрах) и нейтрино, возникающими при обратном бета-распаде и рождении пар. Главная проблема состоит в том, как перевести огромную гравитационную энергию в электромагнитное излучение.

Кроме того, есть одно, на первый взгляд омрачающее, обстоятельство. Сторонники модели слияния в своей аргументации всегда использовали явно заниженный темп слияния нейтронных звезд, получаемый из наивных наблюдательных оценок. Расчеты же, проведенные на основе нашего знания звездной эволюции, показывают, что темп слияния на одну галактику примерно равен одному разу в 10 000 лет. Всего во Вселенной десять миллиардов галактик, и, следовательно, во всей нашей Вселенной примерно каждую минуту сливается одна пара нейтронных звезд. А аппараты регистрируют всплески один раз в сутки. Разница — три порядка. Один порядок объясняется тем, что при современной чувствительности мы не видим самые далекие и, следовательно, самые слабые всплески. Но что делать с остальными двумя? Нейтронные звезды сливаются во Вселенной в сто раз чаще, чем это нужно! Можно говорить об узконаправленной гамма-вспышке с диаграммой в несколько градусов, можно говорить о том, что не любые нейтронные звезды дают всплеск, а только те, у которых аномально велики магнитные поля, и т.д. Здесь свобода выбора пока большая.

Интересно, что модель сливающихся нейтронных звезд допускает не только послесвечение, но и предсвечение!

Вспомним, что нейтронные звезды обладают мощными магнитными полями, благодаря которым и возникает пульсарное излучение. Мощность его пропорциональна квадрату напряженности магнитного поля на поверхности и четвертой степени частоты осевого вращения (магнитодипольная формула). Например, пульсар в Крабовидной туманности, удаленный от нас на 2 кпк (примерно 6000 световых лет), имеет стандартное поле  $10^{12}$  Гс и скорость вращения 0,033 с, его светимость равна  $10^{38}$  эрг/с, а спектр находится в области от гамма- до радиодиапазона. Если бы пульсар вращался с максимально коротким периодом 1 мс, то тот же поток он создавал бы с расстояния в 2 Мпк, а ведь поток его намного превосходит чувствительность современных радиотелескопов, на пределе которой он был бы

заметен с расстояния 100 Мпк! К сожалению, звездная эволюция так устроена, что миллисекундные пульсары обладают очень малыми полями — большое магнитное поле мешает раскрутке нейтронной звезды.

Но в двойной системе двух сливающихся нейтронных звезд орбитальный период по мере их сближения вследствие излучения гравитационных волн (ГВ) уменьшается до 1 мс, и на короткое время давно потухший пульсар может вспыхнуть как сверхмощный радиопульсар, видимый на расстоянии до 100 Мпк. Электрические поля, ускоряющие релятивистские частицы, возникают, правда, уже как результат переменности магнитного поля из-за орбитального вращения. Конечно, излучение последнего перед коллапсом электромагнитного импульса резко анизотропно, и с учетом частоты слияний мы получаем ожидаемую частоту вспышек, попадающих на Землю, в несколько десятков в год. Не так уж и мало и очень правдоподобно. Почему радиоастрономы не слышат этих последних радиоимпульсов? Во-первых, неясно, откуда их ждать, а во-вторых, при обзорах всего неба всякие такие явления классифицируются как шум и выбрасываются. Поэтому нужна специальная поисковая программа, и желательно координированная с гамма-, рентгеновскими, оптическими, а в будущем и с гравитационно-волновыми наблюдениями.

Но как же быть с гамма-всплесками, с этой бывшей военной, а теперь научной тайной? Не являются ли они такими финальными радиоимпульсами, вызванными гравитационно-волновым излучением?

В принципе такое может быть, но чтобы обеспечить требуемую светимость, нужны поля в  $10^{14}$ – $10^{15}$  Гс. Как исключение почему бы и нет? Тем более что количество слияний во Вселенной и так слишком велико. Но все-таки подождем новых экспериментов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Липунов В.М.* В мире двойных звезд. М.: Наука, 1986. (Б-чка “Квант”; Вып. 52).
2. *Липунов В.М.* Искусственная Вселенная // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. № 6 (в печати).
3. *Черпащук А.М.* Тесные двойные звезды на поздних стадиях эволюции // Там же. 1996. № 8. С. 84–92.
4. *Липунов В.М.* Астрофизика нейтронных звезд. М.: Наука, 1987.
5. *Курт В.Г.* Экспериментальные методы изучения космических гамма-всплесков // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. № 6 (в печати).

\* \* \*

Владимир Михайлович Липунов, доктор физико-математических наук, профессор кафедры астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ. Научные интересы: астрофизика релятивистских звезд – нейтронных звезд, белых карликов и черных дыр. Автор более 100 научных работ, научных монографий и популярных книг, со-автор сборника задач по астрофизике.