

поскольку на стадии сверхкритической аккреции нейтронная звезда принимает равновесный период вращения, определяемый лишь ее внутренними параметрами (магнитным моментом и массой), и поскольку на стадии IV нейтронная звезда не успевает сильно затормозиться, то образовавшийся на стадии V радиопульсар имеет определенное соотношение между  $p$  и  $\dot{p}$ .

## § 5. Возможные кандидаты

Как следует из табл. 17, статистически возможно наблюдение 18 типов двойных систем с нейтронными звездами, из которых пока надежно отождествлен лишь один (IIA). К этому следует добавить класс IIIA, к которому принадлежит пульсар Нег X-1 и другие источники с маломассивными нормальными компонентами. В нашем численном эксперименте источники такого типа не появились из-за того, что мы не учитываем возможность потери вещества двойной системой при первом обмене масс. Такое явление должно иметь место в системах с большим начальным отношением масс, и оно приводит к образованию маломассивной двойной системы из первоначально массивной двойной. Однако процент такого типа систем мал, поскольку вероятность образования массивной двойной с большим отношением масс быстро падает (как  $\sim q^2$ ). Однако поскольку рентгеновские системы такого типа живут значительно дольше массивных двойных, то вероятность их наблюдения оказывается большой. Поэтому в будущем в расчеты следует включить и такого типа системы. Ниже мы обсудим некоторые наблюдаемые объекты, являющиеся кандидатами в другие типы двойных систем.

**"Убегающие" звезды.** Наиболее вероятными кандидатами в типы IE и IP (а также IIE и IIP) являются так называемые убегающие звезды. Большие скорости убегания, по-видимому, связаны с импульсом отдачи, возникающим при коллапсе (и сбросе части вещества) одной из звезд пары. Поскольку вначале взрывается менее массивный компонент, система не распадается. Наиболее реальной возможностью подтвердить эти представления было бы обнаружение маломассивных спутников у этих звезд. Можно ожидать также слабую спектральную периодичность на уровне 10–30 км/с. Ожидаемые периоды обращения таких систем лежат в широком диапазоне времен: от нескольких дней до нескольких десятков лет. От таких звезд нельзя ожидать мощного рентгеновского излучения, поскольку нейтронная звезда не аккрецирует (класс E, P и, возможно, G), однако на уровне  $10^{30}$ – $10^{34}$  эрг/с есть надежда обнаружить слабо пульсирующее (класс P) тепловое рентгеновское излучение или сильно пульсирующее нетепловое рентгеновское излучение (класс E) (в последнем случае можно ожидать радиовспышечных явлений).

Отметим открытие двойственности звезды 68 Cyg, принадлежащей к классу звезд с оболочками (Есипов и др., 1982). Отсутствие мощного рентгеновского излучения от этой звезды свидетельствует о том, что нейтронная звезда находится в одном из неаккреционных состояний: E или P.

**Объект SS 433.** Благодаря фотометрическим (Черепашук, 1981) и спектральным наблюдениям (Крэмpton и Хатчингс, 1981) в настоящее

время надежно установлено, что SS 433 представляет собой массивную двойную систему с пекулярным компаньоном. Нормальная звезда, по-видимому, заполняет свою полость Роша и истекает в тепловой шкале времени с темпом  $\sim 10^{-4} M_{\odot}/\text{год}$  и, следовательно, принадлежит к классу III. Природа второго компаньона определена хуже, а его масса оценивается слишком грубо: от  $\sim 0,5$  до  $\sim 5 M_{\odot}$ . Это не дает возможности надежно связать второй компаньон с нейтронной звездой или черной дырой. Согласно модели, разработанной в работе Липунова и Шакуры (1982), пекулярный объект в SS 433 представляет собой нейтронную звезду, на которую идет сверхкритическая дисковая аккреция, так что двойная система SS 433 принадлежит к классу IIIA. В нашем численном эксперименте объекты такого типа получаются непринужденно, причем параметры смоделированных нейтронных звезд близки к параметрам, полученным в модели SS 433. Как показали расчеты, число таких систем в Галактике должно быть порядка 20. При этом продолжительность стадии III бралась равной тепловому времени нормальной звезды. В действительности, однако, продолжительность этой стадии может быть значительно меньше и, следовательно, должно быть меньше число таких систем.

Астрофизические проявления нейтронных звезд в режиме IIIA описаны в гл. VIII. Нейтронная звезда в режиме SA по наблюдаемым свойствам практически неотличима от нормальной звезды (жесткое излучение перерабатывается в плотной оболочке) с большим темпом истечения. Наряду с этим могут наблюдаться релятивистские или субрелятивистские выбросы вещества.

**"Одиночные" звезды Вольфа–Райе.** В последнее время появились веские аргументы в пользу двойственности "одиночных" звезд WR (см., напр., Моффат и Сеггевис, 1979), причем функция масс свидетельствует о малой массе невидимого спутника ( $\sim 1-3 M_{\odot}$ ). Существование звезд WR в паре с релятивистскими спутниками следовало из сценария эволюции массивных двойных систем (Тутуков и Юнгельсон, 1973). Решающим здесь было бы обнаружение мощного рентгеновского излучения от этих звезд. Однако, как показано в работе Липунова (1982д) (и это подтверждается нашими расчетами), явление рентгеновского пульсара в таких системах маловероятно. Как следует из табл. 17, большинство таких систем должно быть в стадиях IVP, IVE и IVG (некоторая часть их может принадлежать к классу IVBH).

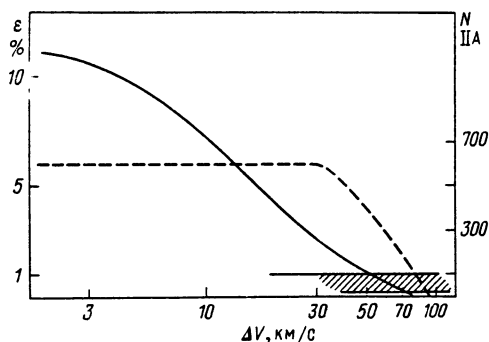


Рис. 108. Зависимость числа рентгеновских пульсаров  $N_A$  и относительного числа видимых радиопулсаров в двойных системах с нормальными компонентами  $\epsilon$  от скорости отдачи в результате анизотропного коллапса (численный эксперимент)

**Анизотропия коллапса.** В рассмотренном выше варианте эволюционного сценария коллапс нормальной звезды происходит сферически-симметрично. В результате после первого взрыва двойная система не распадается. Как мы уже указывали, это приводит к противоречию. Дело в том, что в очень широких системах, где плотность звездного ветра вблизи нейтронной звезды мала, должны были бы быть видны радиопульсары. Тем не менее до сих пор ни одного радиопульсара в двойной системе с нормальной звездой не обнаружено. Этот парадокс можно разрешить, если предположить, что: а) либо широкие пары распадаются, например, вследствие анизотропного коллапса; б) либо по каким-то причинам нейтронные звезды в очень широких системах не образуются.

Проблема наблюдаемого отсутствия радиопульсаров в двойных системах с нормальными звездами была поднята в работе Корнилова и Липунова (1984), где сделана попытка выйти из противоречия за счет анизотропии коллапса. Идея проста. Положим, что в результате коллапса звезда приобретает скорость отдачи  $\Delta v$  в некотором случайном направлении. Если бы скорость  $\Delta v$  была слишком высокой, то распадались бы и очень тесные системы, а это противоречит наличию рентгеновских пульсаров в массивных системах, число которых  $\sim 20$ . Наоборот, если  $\Delta v \approx 0$ , то были бы видны радиопульсары в широких парах. С помощью описанной выше численной модели рассчитывалось число рентгеновских пульсаров  $N_A$  (системы типа IIА) и отношение числа радиопульсаров в двойных системах (в тех системах, где звездный ветер прозрачен для радиоизлучения) к числу одиночных радиопульсаров  $\epsilon$ . По наблюдениям  $N_A \approx 20$ ,  $\epsilon \lesssim 1/300$ . На рис. 108 показаны результаты расчета  $N_A$  и  $\epsilon$  при различных  $\Delta v$ . Как видим, для согласия с наблюдениями необходимо, чтобы  $\Delta v \approx 80-90$  км/с.

**Другие численные модели.** Рассмотренная выше численная схема, как нам представляется, является мощным инструментом для проверки эволюционных сценариев (см. Липунов и Прохоров, 1987). Необходимость использования такой численной схемы особенно ясна при анализе эволюции маломассивных систем, где общее число различных состояний достигает двух сотен! (Липунов и Постнов, 1987). Это связано с тем, что к рассмотренной эволюции нейтронной звезды добавляется аналогичная эволюция белого карлика.