

где d_1 — расстояние до источника в кпк. Для сравнения укажем, что поток солнечных нейтрино с этой энергией порядка $\sim 10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. И все же такие объекты являются наиболее мощными постоянными источниками нейтрино в Галактике. Период нейтринного пульсара оценивается выражением $p \approx p_A$.

Конечно, пока мы далеки от обнаружения феномена нейтринного пульсара. Но давайте помечтаем. Явление нейтринного пульсара представляет уникальную возможность зондировать внутренность нейтронных звезд. Нейтринное излучение будет играть роль своеобразного рентгеновского аппарата. Можно сказать нейтронной звезде: "Пожалуйте на рентген..."

Ускорение и замедление. Изменение вращательного момента нейтронной звезды в режиме сверхкритической дисковой аккреции описывается уравнением

$$\frac{dI\omega}{dt} = \dot{M}_{cr} \sqrt{GMR_A} - \kappa_t \frac{\mu^2}{R_c^3}.$$

Нейтронная звезда стремится к равновесному периоду, который оказывается порядка критического периода p_A :

$$p_{eq} \approx \frac{1}{\kappa_t^{1/2}} p_A \approx 0,17 \mu_{30}^{2/3} m_x^{-2/3} \kappa_t^{-1/2} \text{ с.}$$

Если начальный период нейтронной звезды $p \gg p_{eq}$, то время релаксации в равновесие примерно равно $t_{rel} \approx 300 I_{45} m_x^{1/3} \mu_{30}^{-4/3}$ лет. Это время гораздо меньше времени жизни двойной системы на стадии бурного обмена массой ($\sim 10^4 - 10^5$ лет) и, следовательно, нейтронная звезда всегда успеет прийти в равновесие.

Масса супераккретора быстро растет и это делает вполне вероятным коллапс нейтронной звезды в черную дыру. Характерное время удвоения массы равно

$$t_M = \frac{M}{\dot{M}_{cr}} \approx 2 \cdot 10^6 m_x^{10/9} R_6 \mu_{30}^{-4/9} \text{ лет.}$$

Как видим, коллапс тем вероятнее, чем выше магнитный дипольный момент звезды (Липунов, 1982б). При $\mu_{30} \approx 1 - 10$ и времени сверхкритической аккреции $\sim 10^4 - 10^5$ лет масса нейтронной звезды успевает увеличиться на 1–10%. Если начальные массы нейтронных звезд распределены равномерно в интервале $M_{Ch} < M_x < M_{OV}$, то примерно 1–10% нейтронных звезд будут превращаться в черные дыры на стадии сверхкритической аккреции.

§ 2. Суперэжекторы и "суперпропеллеры"

В принципе, к моменту заполнения полости Роша нормальной звездой нейтронная звезда может подойти, сохранив свое изначально быстрое вращение. В результате она может оказаться либо на эжектирующей стадии, когда радиус остановки R_{st} больше радиуса светового цилиндра (суперэжектор), либо на стадии "пропеллера", когда радиус остановки уже меньше радиуса светового цилиндра, но больше радиуса коротации R_c ("супер-

пропеллер”). Внешне эта ситуация, по-видимому, будет слабо отличаться от рассмотренной в предыдущем параграфе. Ведь истекающая оптически толстая оболочка будет полностью поглощать не только жесткое рентгеновское излучение, но и потоки релятивистских частиц. Во внутренних же частях диска ситуация будет существенно другая. На радиусе останки вещества будет останавливаться, так что внутри оболочки образуется своеобразный ”пузырь”, заполненный статическими и свободными электромагнитными полями и релятивистскими частицами. Такая ситуация к настоящему времени совершенно не исследована. Есть, однако, попытки построить качественную картину выбрасывания джетов из такого пузыря.

Мы лишь обращаем внимание на то, что в процессе эволюции часть нейтронных звезд заведомо проходит стадии суперэжектора и ”суперпропеллера” (см. гл. X). Это показывает необходимость теоретических исследований столь экзотических объектов.

§ 3. SS 433 – супераккретор?

Уникальные спектральные свойства SS 433, открытые Маргоном и др. (1979), привлекли всеобщее внимание и инициировали большое число наблюдательных и теоретических работ (рис. 96, а). В результате спектроскопических и фотометрических наблюдений было установлено, что SS 433 представляет собой тесную двойную систему с периодом $\sim 13,1$ дня (Крэмpton и др., 1980; Гладышев и др., 1979; Черепашук, 1981) (рис. 96, б), выбрасывающую две противоположно направленные струи газа со скоростью $v_j \approx 80\,000$ км/с. Один из компонентов двойной системы, по-видимому, представляет собой ОВ-сверхгигант, теряющий свою массу со скоростью $\sim 10^{-4} M_{\odot}/\text{год}$ (Черепашук, 1981; Черепашук и др., 1982), а второй компонент – пекулярный объект с оптической светимостью $i0^{39} - 10^{40}$ эрг/с.

Удивительно, но направление выброса струй (”джетов”) меняется с периодом 164 дня. Этот второй период в литературе называют прецессионным.

Отметим, что и двойственность SS 433, и прецессия джетов были предсказаны сразу после открытия релятивистских эмиссионных линий (первое – Шкловским, 1981; второе – Мильгромом, 1979).

Относительная ”узкость” релятивистских эмиссий свидетельствует о малом угле коллимации джетов, $\sim 4^{\circ}$. Общий блеск SS 433 коррелирует с положением релятивистских струй. В момент, когда струи ”смотрят” на нас (точнее, одна ”от нас”), блеск системы максимален (рис. 96, в).

В литературе появилось огромное число теоретических работ – моделей SS 433. По нашему мнению, весь комплекс наблюдательных данных, имеющихся к настоящему времени, позволяет отдать предпочтение тем моделям, в которых предполагается, что главной причиной происходящих в этой системе явлений является сверхкритическая аккреция на релятивистскую звезду. Это подмножество всего множества моделей также весьма многочисленно (см. обзор Маргона, 1984).

Но вот какая именно из релятивистских звезд – нейтронная звезда или черная дыра – представлена в SS 433? Функция масс, полученная Крэмптоном и др. (1981) по линии He II 4686 Å, равна $10,1 M_{\odot}$ и свиде-