

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 останковки вещество 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-

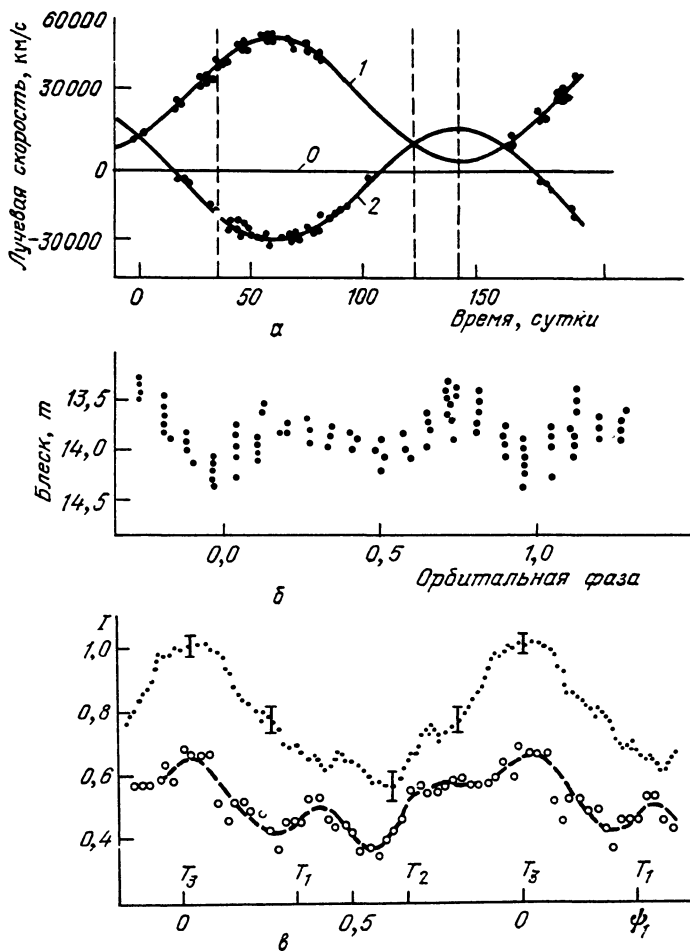


Рис. 96. Спектральные и фотометрические свойства SS 433. а – кривые лучевых скоростей релятивистских эмиссий, б – орбитальная кривая блеска, в – прецессионная кривая блеска

тельствует в пользу черной дыры. Однако, пока нет точного определения отношения масс компонентов, окончательный вывод делать рано.

Прежде чем переходить к детализации модели, покажем, каким образом модель сверхкритического диска объясняет наблюдаемые явления в SS 433. Последующие аргументы были изложены в работе Липунова и Шакуры (1982). Во-первых, отметим, что несмотря на гигантскую оптическую светимость пекулярного объекта, его рентгеновская светимость крайне низка ($\sim 10^{35}$ эрг/с). Но именно это было бы естественно ожидать в картине сверхкритической аккреции, изложенной нами выше. Пусть темп аккреции на релятивистскую звезду $\dot{M} \approx 10^{-4} M_{\odot}/\text{год}$, тогда по формуле (8.VIII) получим радиус фотосферы истекающего от диска вещества $\sim 10^{12}$ см, что сравнимо с размером двойной системы. По формуле

(7.VIII) находим, что скорость оттока $v_{sh} \approx 10^8$ см/с, что также находится в согласии с наблюдаемой картиной стационарных эмиссий.

Из-за частичной диссипации кинетической энергии струй вполне естественно ожидать, что в районе выхода струй температура оболочки должна быть выше. Другими словами, оттекающая от диска оболочка представляет собой квазисферическую звезду с двумя горячими пятнами, прецессирующими с периодом 164 дня. Эта картина естественным образом объясняет повышение блеска SS 433 к моменту, когда джеты "смотрят на нас" (см. рис. 96, а). Кроме того, она объясняет точное совпадение максимума блеска с моментом T_3 . Если бы фотометрия объяснялась прецессией внешних частей диска, то такое совпадение понять было бы невозможно. Действительно, представим, что фотометрическое поведение связано с различием в ориентации положений внешних частей диска. Тогда положение внутренних частей, которые коллимируют джеты, отставало бы на время радиального движения вещества в диске:

$$t_r \approx \frac{T}{2\pi\alpha} \left(\frac{R}{H} \right)^2,$$

где α — параметр турбулентности, T — период двойной системы, R/H — отношение радиуса внешней границы диска к его толщине. Естественно ожидать, что $R/H \approx 0,1$. Так как $\alpha < 1$, то $t_r \geq 200$ дней. Было бы совершенно непонятно, почему максимум блеска SS 433 совпадает с моментом максимального расхождения релятивистских эмиссий. Синтезированная кривая блеска с прецессионным периодом, построенная в рамках модели, в которой нормальная звезда заполняет полость Роша, а соседка представляет собой квазисферическую звезду с двумя горячими пятнами, полностью согласуется с наблюдательными данными (Колосов и др., 1986).

В работах Липунова и Шакуры (1982), Ван ден Хёвела и др. (1981) предполагалось, что релятивистской звездой является нейтронная звезда — супераккретор. В этой модели появление релятивистских джетов может быть связано с выбросом вещества из полярной колонки (Липунов и Шакура, 1982) либо с коллимацией оттекающего вещества внутренними частями аккреционного диска (Шакура и Сюняев, 1973). В первом случае угол и скорость джетов могут быть даже "подсчитаны" (см. формулу (12.VIII)).

Наряду с моделью супераккретора предлагалась модель эжектора (Бисноватый-Коган и др., 1981), а также модель "пропеллера" (Шкловский, 1979).

§ 4. Другие кандидаты

SS 433 — это не единственный объект в Галактике, у которого наблюдаются релятивистские выбросы. Первым в этой "подгруппе" был ярчайший источник рентгеновского неба — источник Sco X-1. Радионаблюдения показали, что сам Sco X-1 является нестационарным радиоисточником и, кроме того, возле него симметрично располагаются два слабых радиоисточника. Это явление сходно тому, что наблюдается у квазаров и активных ядер галактик.