

меняться со временем. В этом случае трудно искать аналитическое решение уравнения типа (27.X), а легче его решать численно. Необходимость численных расчетов особенно ясна в случае анализа эволюции нейтронных звезд в двойных системах, где внешние условия, определяемые нормальной звездой, меняются сложным образом. Методика и результаты численных расчетов методом Монте-Карло будут описаны ниже.

§ 3. Треки нейтронных звезд

Итак, задача об эволюции нейтронных звезд должна решаться с учетом эволюции нормальной звезды. Качественно этот вопрос рассматривался в работах Бисноватого-Когана и Комберга (1976), Ван ден Хевела (1977), Липунова (1982а). Начнем с качественного анализа, следуя последней работе.

Для качественного и количественного анализа характера эволюции нейтронной звезды наиболее удобной оказывается диаграмма "p - L" (см. гл. III). Напомним, что L — это лишь потенциальная светимость нейтронной звезды. Она совпадает с реальной светимостью лишь на стадии аккреции. Рассмотрим три характерных трека нейтронных звезд, полагая, что все они обладают одинаковыми магнитными полями.

Наиболее просто на этой диаграмме выглядят одиночные нейтронные звезды. Здесь в качестве первого приближения можно пренебречь изменениями параметров внешней среды. Будем считать, что звезды рождаются с очень малыми периодами. Тогда трек одиночной звезды — это вертикальная прямая (рис. 102, а). Нейтронная звезда последовательно проходит стадию эжекции, стадию "пропеллера" и далее выходит либо на стадию аккреции, либо на стадию георотатора:

$$E \rightarrow P \begin{cases} \nearrow A \\ \searrow G \end{cases} \quad (29.X)$$

На стадию георотатора выходят быстро движущиеся звезды (см. форму-

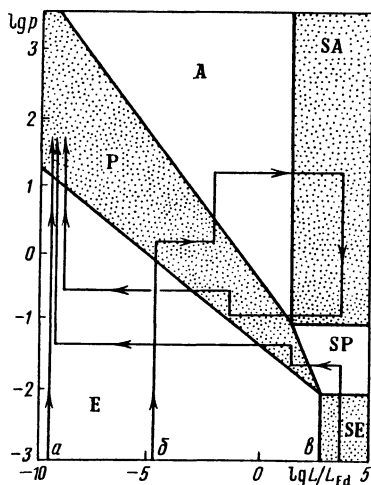


Рис. 102. Треки нейтронных звезд на диаграмме "p - L" (качественная картина): а — трек одиночной нейтронной звезды, б — трек нейтронной звезды в двойной системе, в — трек нейтронной звезды в двойной системе, образовавшейся в момент заполнения полости Роша ее соседкой

лу (4.IX)). Конечно, возможны и более сложные случаи, например, при пролете через плотные молекулярные облака.

Эволюция нейтронной звезды в двойной системе всегда сложнее. Как правило, нейтронная звезда рождается в тот момент, когда соседка находится на главной последовательности (рис. 102, б). В первые $10^5 - 10^6$ лет звезда находится на стадии эжекции, однако не проявляет себя как радиопульсар — импульсное излучение поглощается в звездном ветре нормальной звезды. Период нейтронной звезды растет в соответствии с магнитодипольными потерями. Затем вещество проникает под световой цилиндр: нейтронная звезда переходит на стадию пропеллера, а затем на стадию аккреции. К этому времени нормальная звезда покидает главную последовательность, усиливается звездный ветер. Так вспыхивает яркий рентгеновский пульсар. Период нейтронной звезды застывает вблизи равновесного значения. Наконец, нормальная звезда заполняет полость Роша и темп аккреции резко возрастает — нейтронная звезда идет вправо и затем вниз по диаграмме "p — L" (рис. 102, в). Нейтронная звезда переходит на стадию супераккреции SA. Период ее устремляется к новому равновесному значению (при нормальном магнитном поле оно оценивается десятками долями секунды). После обмена массой от нормальной звезды остается гелиевое ядро (звезда Вольфа — Райе) и образуется разделенная система. Нейтронная звезда опять попадает в режим "пропеллера". Быстрое вращение мешает аккреции. Возможно, именно этим объясняется отсутствие рентгеновских пульсаров в паре со звездами Вольфа — Райе (Липунов, 1982д). Так как гелиевая звезда живет недолго (10^5 лет), то нейтронная звезда не успевает существенно замедлиться: после взрыва нормальной звезды система распадается, а нейтронная звезда становится эжектирующей звездой — радиопульсаром.

Отметим, что возникновение радиопульсаров из старых нейтронных звезд, прошедших стадию аккреции, впервые рассматривалось Бисноватим-Коганом и Комбергом (1974).

Рассмотренный выше "петлеобразный" трек записывается в виде

$$E \rightarrow P \rightarrow A \rightarrow SA \rightarrow P \rightarrow E \rightarrow \dots \quad (30.X)$$

На рис. 102 показан еще один вариант эволюционного трека для нейтронной звезды, родившейся в момент обмена массой в двойной системе.

Заметим, что общая продолжительность жизни нейтронной звезды в двойной системе определяется временем жизни нормальной звезды и параметрами двойной системы. А вот скорость перехода из одного режима в другой пропорциональна величине магнитного поля нейтронной звезды.

§ 4. Численное моделирование совместной эволюции нормальных и нейтронных звезд

Для анализа свойств ансамбля нейтронных звезд в Галактике была создана специальная численная программа, моделирующая эволюцию массивных двойных систем (Корнилов и Липунов, 1983б, 1984). В сущности это есть огрубленная модель реальной Галактики. Расчет ведется методом Монте-Карло. Выбирается двойная система, состоящая из двух