

достаточно надежные оценки масс нейтронных звезд в этих системах. Очевидно, для определения масс рентгеновских пульсаров нужны спектральные наблюдения именно их оптических спутников, поскольку скорость движения оптического компонента вокруг центра масс определяется силой притяжения нейтронной звезды.

Пусть большая полуось двойной системы $a = a_0 + a_x$, где a_0, a_x — соответственно расстояния оптической и нейтронной звезд до центра масс. В случае круговых орбит полуамплитуда колебаний скорости оптической звезды, определенная по спектру, v_0 , есть проекция орбитальной скорости на луч зрения: $v_0 = 2\pi a_0 T^{-1} \sin i$. Добавим к этим соотношениям третий закон Кеплера; получим систему уравнений

$$\begin{aligned} a &= a_0 + a_x, \\ M_0 a_0 &= M_x a_x, \\ \frac{G(M_0 + M_x)}{a^3} &= \left(\frac{2\pi}{T}\right)^3 \end{aligned} \quad (38.1)$$

Отсюда видно, что существует алгебраическая комбинация из значений масс компонентов и угла наклона орбиты двойной системы i , которая выражается только через наблюдаемые величины:

$$f_0(M) \equiv \frac{(M_x \sin i)^3}{(M_x + M_0)^2} = \frac{T v_0^3}{2\pi G}. \quad (39.1)$$

Функция $f(M)$ называется функцией масс. Из соображений симметрии совершенно ясно, что, измерив полуамплитуду колебаний лучевой скорости нейтронной звезды, можно получить функцию масс для рентгеновского пульсара:

$$f_x(M) = \frac{(M_0 \sin i)^3}{(M_x + M_0)^2} = \frac{T v_x^3}{2\pi G}. \quad (40.1)$$

Измерив скорости v_0 и v_x и имея дополнительную информацию об угле наклона i , можно найти массы компонентов. На рис. 19 представлены результаты таких измерений для семи рентгеновских пульсаров (Раппапорт и Джосс, 1983).

§ 6. Эффекты вращения

После открытия миллисекундного пульсара (Бекер и др., 1982) стало ясно, что в Галактике есть нейтронные звезды, в равновесии которых существенную роль играют эффекты вращения. Подробные численные расчеты внутреннего строения вращающихся нейтронных звезд были проведены недавно Фридманом и др. (1985). Изменение внутренней структуры вращающейся звезды по сравнению с неподвижной звездой связано не только с появлением центробежной силы, но и с возникновением чисто релятивистского эффекта "увлечения систем отсчета", характерного, например, для метрики Керра.

Наибольший интерес представляют следующие эффекты, вызванные вращением: а) изменение предела Оппенгеймера — Волкова; б) возникно-

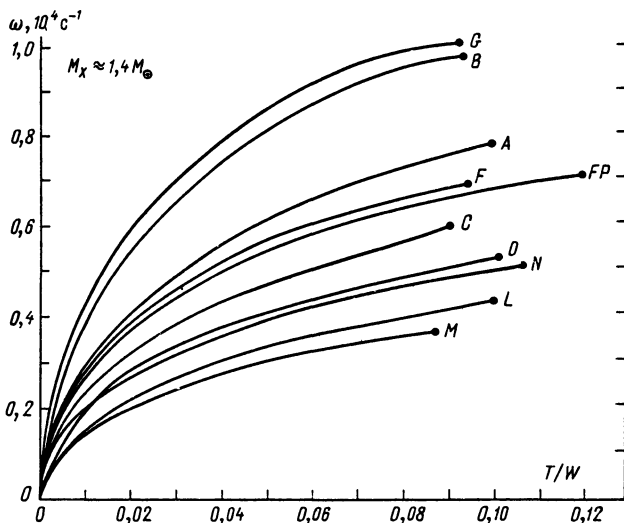


Рис. 20. Зависимость скорости вращения нейтронной звезды от отношения вращательной энергии к энергии связи звезды (Фридман и др., 1985)

вление неустойчивости бифуркационного типа, соответствующей появлению "трехосности" и, как следствие, излучению гравитационных волн; в) изменение соотношения "масса – радиус".

На рис. 20 представлена зависимость частоты вращения от отношения вращательной энергии к энергии связи нейтронной звезды. Буквами обозначены различные уравнения состояния вещества в соответствии с работой Арнета и Бойерса (1977). Отметим, что C и D – это варианты модели Бете–Джонсона (BJ), A – уравнение Рейда (R), L соответствует приближению среднего поля (MF) и, наконец, M – это приближение тензорного взаимодействия (TI). В табл. 2 приведены значения предела Оппенгеймера – Волкова для некоторых уравнений состояния. Видно, что вращение увеличивает максимальную массу нейтронной звезды на 10 – 20%.

Авторы утверждают, что неустойчивость, связанная с вращением, возникает сначала на высоких гармониках и критические частоты не сильно отличаются от критической частоты Роша (см. рис. 20 и § 14 гл. V).