

чами альтернативных моделей привел к всеобщему признанию модели нейтронной звезды.

Несколько переработанный вариант цепочки рассуждений, приведших к этому историческому объяснению, бегло обрисован в следующем разделе.

10.2. ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ ПУЛЬСАРЫ ЯВЛЯЮТСЯ ВРАЩАЮЩИМИСЯ НЕЙТРОННЫМИ ЗВЕЗДАМИ?

Основные наблюдательные факты, которые исключают все другие возможности, таковы:

1. Пульсары имеют периоды в интервале 1,6 мс — 4,3 с.

2. Периоды пульсаров очень медленно *увеличиваются* и никогда не уменьшаются (если не считать эпизодических «сбоев», см. разд. 10.10).

3. Пульсары являются исключительно хорошими часами. Периоды нескольких пульсаров измерены с точностью до 13 значащих цифр.

За время 1,6 мс свет проходит 500 км. Это налагает верхний предел на размеры излучающей области. Не было предложено ни одной последовательной модели, согласно которой излучающая область была бы частью гораздо большего «источника». Трудно представить такие хорошие часы как пульсар, если излучающая область не будет тесно связана со всем «источником» в целом. Поэтому максимальный размер источника можно принять равным 500 км, т.е. мы имеем дело с компактным объектом. Но с каким именно — с белым карликом, нейтронной звездой или же с черной дырой?

Сначала рассмотрим модели белых карликов. В этом случае в качестве основного «часового» механизма сразу напрашиваются три варианта: вращение, пульсации или двойная система. Самый короткий период вращения для белого карлика возможен, когда он вращается со скоростью, соответствующей началу его разрушения

$$\Omega^2 R \sim \frac{GM}{R^2}, \quad (10.2.1)$$

где Ω — угловая частота вращения. Будучи переписанным в терминах средней плотности ρ , уравнение (10.2.1) переходит в

$$\Omega^2 \sim G\rho, \quad (10.2.2)$$

т.е. в универсальное соотношение между динамическим временным масштабом и плотностью самогравитирующей системы. Взяв максимальную плотность, равную 10^8 г/см³, получим

$$P = \frac{2\pi}{\Omega} \geq 1 \text{ с.} \quad (10.2.3)$$

Этот результат исключает вращающиеся белые карлики.

Сходная с соотношением (10.2.3) оценка сохраняется и для пульсирующих белых карликов. Действительно, точные расчеты показывают, что самый короткий период для основной моды пульсаций равен ~ 2 с (сравните с разд. 6.10). Высшие гармоники имеют более короткие периоды, но они

исключаются по двум причинам. Во-первых, для возбуждения гармоник без возбуждения основной моды требуются особые условия. При этом любая небольшая нелинейность приводит к смешиванию мод и нарушению четкости периода. Во-вторых, потеря энергии в колебательной системе обычно приводит к *уменьшению* периода.

Белые карлики в двойных системах удовлетворяют соотношению

$$\Omega^2 r \sim \frac{GM}{r^2}, \quad (10.2.4)$$

где r — радиус орбиты. Поскольку $r \geq R$, мы опять возвращаемся к результату (10.2.3).

Пульсирующая нейтронная звезда имеет плотность примерно в 10^6 раз выше, чем у белого карлика. Поэтому основной период пульсаций равен $\sim 10^{-3}$ с, т.е. слишком короток для типичных случаев.

Подходящим выбором радиуса можно добиться, чтобы орбитальный период двойной системы, содержащей нейтронную звезду, соответствовал наблюдаемому диапазону $10^{-3} — 4$ с. Однако, как мы увидим в упражнении 16.9, такая система будет обильно излучать гравитационные волны, а время ее жизни составит

$$\tau \sim 10^{-3} \left(\frac{P}{1 \text{ с}} \right)^{8/3} \text{ лет}. \quad (10.2.5)$$

Временной масштаб, в пределах которого, судя по наблюдениям, изменяются периоды пульсаров, составляет в типичных случаях $P/P \sim 10^7$ лет; более того, гравитационное излучение заставляет период уменьшаться, а не увеличиваться.

Как мы увидим в гл. 12, изолированная черная дыра не обладает структурой, с которой можно связать периодический излучатель. В частности, вращающиеся черные дыры осесимметричны. Любой механизм, связанный с аккрецией, не может быть периодичным с такой фантастической точностью.

Только вращающаяся нейтронная звезда удовлетворяет всем приведенным выше ограничениям. Кроме того, как мы обнаружим, на основе такой интерпретации хорошо объясняются и некоторые другие факты, следующие из наблюдений.

10.3. НАБЛЮДАЕМЫЕ СВОЙСТВА ПУЛЬСАРОВ

Недостаток места не позволяет нам дать полный обзор всех удивительных свойств пульсаров. Ограничимся кратким рассмотрением наиболее характерных свойств (более полное обсуждение см., например, в [148, 248, 380, 404, 540]).