

Похоже, что большинство из 50 рентгеновских источников, расположенных в пределах  $30^\circ$  от центра Галактики, представляет собой определенный класс старых источников населения II типа с высокой светимостью. В эту группу входят и 11 известных источников, находящихся в шаровых скоплениях (по крайней мере девять из них дают рентгеновские всплески). Обычно эти объекты называют источниками «центральной галактической подсистемы»<sup>1)</sup> из-за их концентрации вблизи центра Галактики; они описываются ниже.

Найдено, что рентгеновское излучение всех источников является сильно переменным с характерными временами от миллисекунд до нескольких лет. Наблюдается как случайная, так и периодическая переменность. Возможный кандидат в черные дыры — Cyg X-1 — обладает сильной переменностью с характерными временами вплоть до миллисекунд.

### 13.3. РЕНТГЕНОВСКИЕ ПУЛЬСАРЫ В ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

Рентгеновские источники, входящие в двойные системы и демонстрирующие *периодическую* переменность, называются *рентгеновскими пульсарами* в двойных системах (например, Her X-1). Они отличаются от непериодических переменных источников, например Cyg X-1.

Большая часть информации о галактических рентгеновских источниках была получена при изучении рентгеновских пульсаров, входящих в двойные системы. Знание профилей импульсов, периодов повторения импульсов и параметров орбит для таких систем обеспечило важнейшую информацию о физике аккрецирующих компактных звезд, особенно нейтронных звезд.

#### *а) Профили и периоды повторения импульсов*

Периоды повторения импульсов 19 известных рентгеновских пульсаров, входящих в двойные системы, лежат в диапазоне, перекрывающем три порядка величины: от 0,7 до 835 с (табл. 13.1). Профили импульсов характеризуются следующими особенностями [473]: 1) большая скважность — не менее 50% (сравните с 3% для типичных радиопулсаров); 2) переменность амплитуды в пределах 25—90%; 3) широкий диапазон форм от симметричных до сильно асимметричных; 4) отсутствие видимой зависимости морфологии импульса от периода. У некоторых источников (например, 4U 1626—67, 4U 0900—40) профили импульса существенно зависят от энергии, а у других (например, Her X-1, Cen X-3) базовый профиль импульса сохраняется в большом диапазоне энергий. Характерные профили импульсов 14 рентгеновских пульсаров показаны на рис. 13.2.

<sup>1)</sup> В тексте оригинала использован термин «Galactic bulge». — Прим. перев.

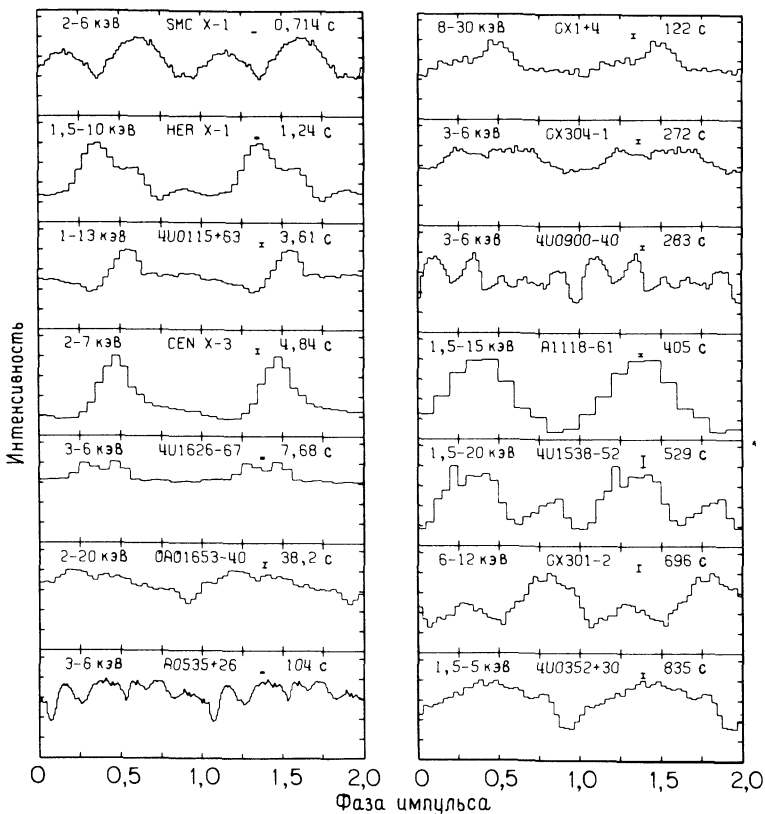
Таблица 13.1

## РЕНТГЕНОВСКИЕ ПУЛЬСАРЫ В ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

| Источник                        | Период повторения импульсов, с | Открытие импульсной природы источника    |
|---------------------------------|--------------------------------|--|
| SMC X-1                         | 0,714                          | Люк и др. [373]                          |
| Her X-1                         | 1,24                           | Таненбаум и др. [557]                    |
| 4U 0115 + 63                    | 3,61                           | Комински и др. [146]                     |
| Cen X-3                         | 4,84                           | Джиаккони и др. [224]                    |
| 4U 1626 - 67                    | 7,68                           | Раппапорт и др. [475]                    |
| LMC X-4                         | 13,5                           | Келли и др. [310]                        |
| 2S 1417 - 62                    | 17,6                           | Келли и др. [309]                        |
| ОАО 1653 - 40                   | 38,2                           | Уайт и Прэвдо [612]                      |
| A 0535 + 26                     | 104                            | Розенберг и др. [486]                    |
| GX 1 + 4                        | 122                            | Льюин и др. [356]; Уайт и др. [614]      |
| 4U 1320 - 61 }<br>A 1239 - 59 } | 191                            | Хакл и др. [286]                         |
| GX 304 - 1                      | 272                            | МакКлинток и др. [396]; Хакл и др. [286] |
| 4U 0900 - 40                    | 283                            | МакКлинток и др. [395]                   |
| 4U 1145 - 61                    | 292                            | Уайт и др. [616]                         |
| 1E 1145, 1 - 6141               | 297                            | Уайт и др. [616]; Лэмб и др. [336]       |
| A 1118 - 61                     | 405                            | Айвс, Сэнфорд и Белл-Барнелл [295]       |
| 4U 1538 - 52                    | 529                            | Дэйвисон [157]; Беккер и др. [57]        |
| GX 301 - 2                      | 696                            | Уайт и др. [614]                         |
| 4U 0352 + 30                    | 835                            | Уайт и др. [615]                         |

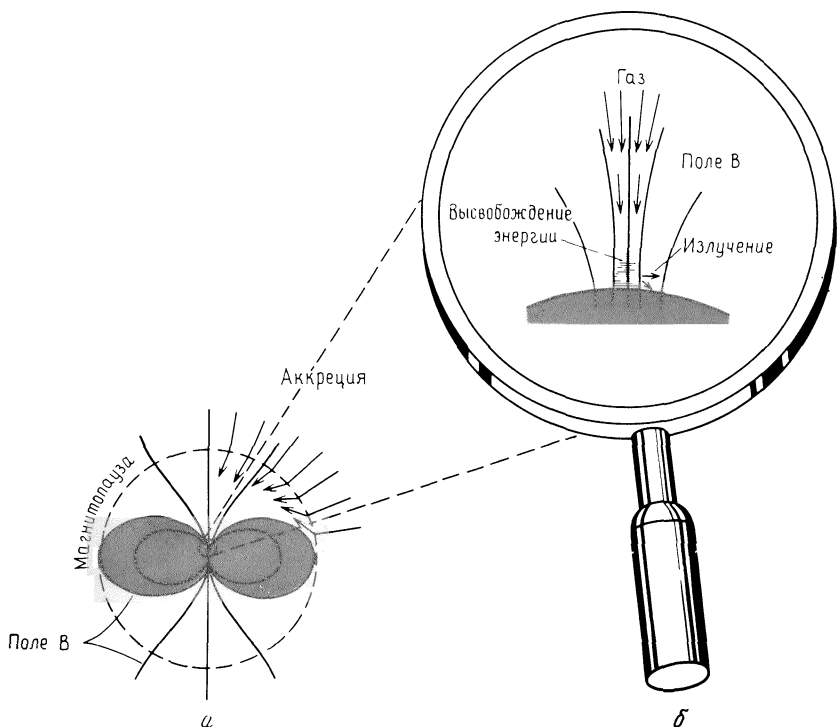
В настоящее время никакие теоретические расчеты не позволяют воспроизвести наблюдаемые формы профилей, показанные на рис. 13.2. Тем не менее обычно принимается, что профили импульсов появляются вследствие несовпадения диаграммы направленности рентгеновского пучка с осью вращения аккрецирующей намагниченной нейтронной звезды. Этот пучок, ориентированный, например, вдоль оси дипольного магнитного поля звезды, по мере ее вращения становится видимым последовательно с разных направлений [155, 170, 332]. Форма профиля рентгеновского импульса определяется сложным процессом переноса рентгеновских фотонов с поверхности нейтронной звезды через области с намагниченной аккрецируемой плазмой (рис. 13.3).

Зависимость периода повторения импульсов от времени для ряда рентгеновских пульсаров достаточно надежно регистрировалась в течение почти десяти лет. Если отложить периоды восьми наиболее хорошо изученных пульсаров в виде функции времени, то становится очевидным, что



*Рис. 13.2.* Образцы профилей импульсов 14 рентгеновских пульсаров, которые, как полагают, находятся в двойных системах. В каждом случае данные согласуются с учетом периода (указан в секундах) и откладываются в виде функции фазы импульса для двух полных циклов [473].

по крайней мере у шести из них происходит «ускорение вращения» (рис. 13.4). Хотя и у этих шести источников изменение периода пульсара в малых временных масштабах не всегда оказывается монотонным, тенденция к вековому уменьшению периодов повторения импульсов очевидна. Такое поведение можно объяснить воздействием моментов, приложенных к нейтронной звезде через посредство аккрецируемого вещества, как будет обсуждаться в разд. 15.2. Действительно, данные наблюдений обеспечивают дальнейшие свидетельства в пользу присутствия нейтронных звезд, а не белых карликов в двойных системах рентгеновских пульсаров.



**Рис. 13.3.** а) Схематическое изображение дипольной магнитосферы вокруг нейтронной звезды, аккрецирующей вещество. Падающий газ не попадает в тороидальную область, сечение которой затушено. б) Основание аккреционной воронки вблизи магнитного полюса нейтронной звезды, показанное в увеличенном размере. Падение газа в аккреционную воронку вдоль силовых линий магнитного поля **В** сопровождается высвобождением энергии вблизи поверхности нейтронной звезды. Рентгеновское излучение испускается зоной вокруг основания аккреционной воронки [155].

### б) Орбиты и массы

Измерения времен прихода импульсов от рентгеновских пульсаров весьма успешно использовались для определения орбит некоторых систем. Имеется шесть источников, для которых существует достаточно данных — оптических и рентгеновских, чтобы оценить массу компактной звезды: Her X-1, Cen X-3, SMC X-1, LMC X-4, 4U 0900—40 и 4U 1538—52. Метод такой оценки обсуждался в разд. 9.4, а результаты приведены на рис. 9.6.

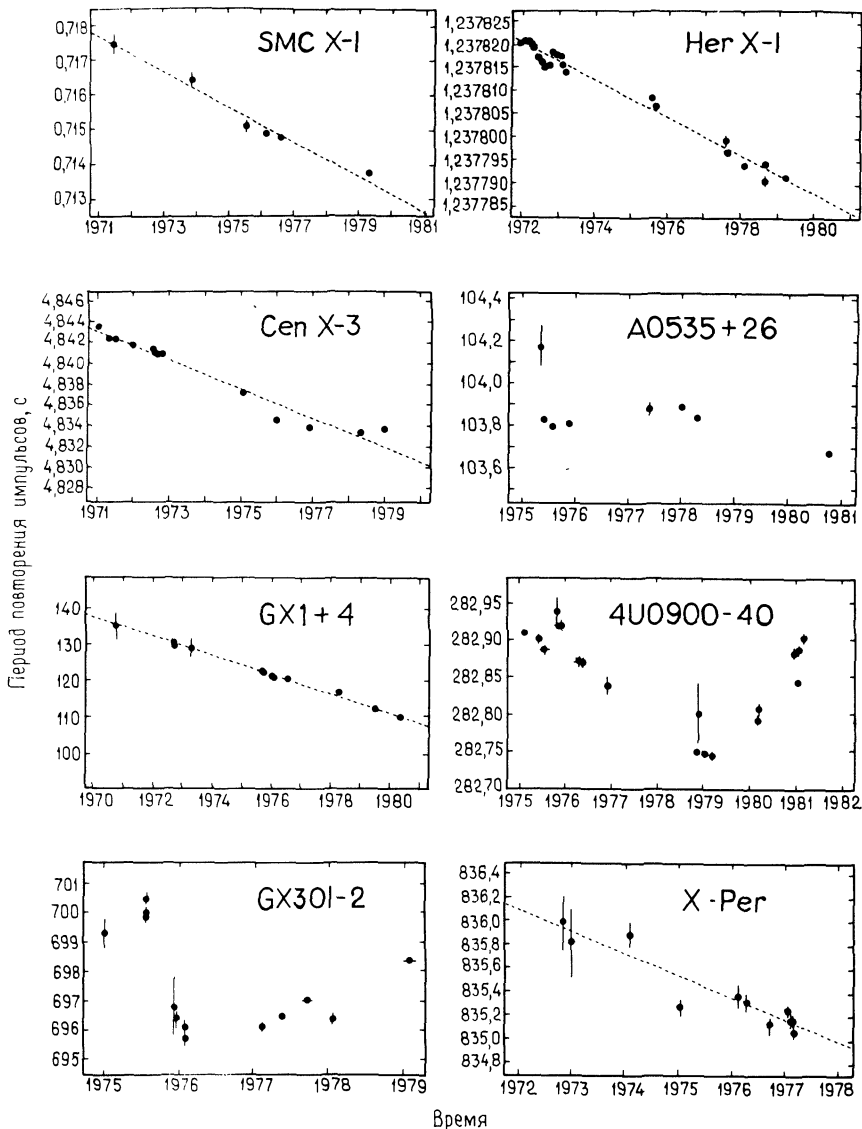


Рис. 13.4. Зависимость периодов повторения импульсов от времени для восьми двойных рентгеновских пульсаров. Точками обозначены результаты отдельных измерений периода повторения импульсов, вертикальные отрезки дают представление об ошибках ( $1\sigma$ ) измерения периода. Данные получены со спутников «Ухуру», «Коперник», «Ариэль-5», SAS-3, OSO-8, HEAO-1, во время выполнения советско-американской программы «Союз» — «Аполлон» и в экспериментах на баллонах и высотных ракетах. Штриховые линии — это наилучшая аппроксимация данных прямой линией по методу максимального правдоподобия [474].