

3. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРИРОДЕ ПУЛЬСАРОВ

Период пульсара остаётся стабильным в течение многих лет. Высокая «добротность» такого устройства однозначно указывает на то, что исследователь имеет дело не с газовым или плазменным конгломератом, а с жёсткой механической системой. Наблюдаемая периодичность может быть связана с одним из трёх процессов: пульсациями, собственным вращением или орбитальным движением. Малые периоды открытых пульсаров исключили из возможных кандидатов обычные звёзды, и в числе претендентов остались лишь два устойчивых образования из вырожденного вещества: белые карлики и нейтронные звёзды. Белые карлики были хорошо известны задолго до открытия пульсаров. При массе $\sim 1 M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33}$ г и радиусе $\sim 10^4$ км внутренние слои в них состоят из протонов и частично вырожденных электронов. Что касается нейтронных звёзд, то их существование было предсказано сразу после открытия нейтрона [72–74], однако они начали активно входить в сообщество космических объектов лишь с появлением пульсаров. При массе в $1 M_{\odot}$ радиус нейтронной звезды равен всего 10 км и плотность её внутренних слоёв достигает значений порядка ядерных плотностей (до 10^{15} г/см³). В этих условиях становится энергетически выгодным объединение электронов и протонов в нейтроны⁶, и центральные области нейтронных звёзд состоят в основном из сверхтекучих нейтронов. С каким же из компактных объектов связаны пульсары? Белые карлики (и, конечно, большие по размерам объекты) не могут вращаться с периодами менее 1 с из-за центробежного разрушения. Невозможна и их пульсация с такими короткими периодами (к тому же в колебательных системах потеря энергии приводит обычно к уменьшению периода, а у всех радиопулсаров период со временем увеличивается). Двойная система с орбитальными периодами ~ 1 с из-за излучения гравитационных волн просуществовала бы значительно меньше года, и при этом её период должен был бы непрерывно уменьшаться (как уже отмечалось, периоды радиопулсаров увеличиваются со временем, а характерные времена их изменения значительно больше года). Поэтому единственным объектом, с которым могут быть связаны наблюдаемые особенности пульсаров, остаётся нейтронная звезда (с массой порядка $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33}$ г и радиусом $R \sim 10$ км), а периодичность радиоимпуль-

⁶ Благодаря этому такие объекты и были названы нейтронными звёздами.

сов может быть связана только с её вращением (периоды пульсаций нейтронных звёзд $\sim 10^{-4} \div 10^{-3}$ с не попадают в диапазон наблюдаемых периодов следования импульсов). Таким образом, первый установленный факт: ПУЛЬСАР – ЭТО ВРАЩАЮЩАЯСЯ НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА, а импульсный характер излучения связан с моделью маяка – вращающегося луча, который один раз за период «светит» на наблюдателя.

Вторым важнейшим фактом стало СУЩЕСТВОВАНИЕ У ПУЛЬСАРОВ ОЧЕНЬ БОЛЬШИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ. Действительно, при коллапсе нормальной звезды с $R_* \sim R_{\odot} = 7 \cdot 10^{10}$ см и магнитной индукцией $B \sim 1 \div 10^3$ Гс должна образоваться нейтронная звезда с $B \sim 10^{10} \div 10^{13}$ Гс (если сохраняется магнитный поток). Такие поля действительно наблюдаются у нейтронных звёзд, входящих в двойные системы, которые известны как рентгеновские пульсары. Интерпретируя спектральные детали в источниках Her X-1 [75] и 4U 0115–63 [76] как циклотронные линии, можно получить

$$B \sim (4 \div 6) \cdot 10^{12} \text{ Гс в Her X-1}$$

и

$$B \sim 2 \cdot 10^{12} \text{ Гс в 4U 0115 – 63.}$$

Если циклотронные линии образуются в релятивистской плазме, то оценки магнитных полей в области формирования этих линий могут быть меньше приведённых величин. Так, в работе [77] для релятивистского случая получено значение магнитного поля в Her X-1 $(4 \div 6) \cdot 10^{10}$ Гс. Однако и это значение оказывается на много порядков больше, чем у любых других объектов, которые были известны до открытия пульсаров.

Спектральные измерения в пульсаре PSR B0531 + 21 показали наличие гиролинии на частоте 77 кЭВ [78], что соответствует величине магнитного поля в области её формирования $B \sim 6,6 \cdot 10^{12}$ Гс. Такое значение магнитного поля хорошо согласуется с оценкой энергетических потерь в PSR B0531+21 и энергетической подпитки Крабовидной туманности.

Самые большие запасы энергии нейтронной звезды связаны с её вращением ($E = I\Omega^2 / 2 \sim 10^{45} \div 10^{52}$ эрг при моменте инерции $I = 10^{45}$ г · см²), а наблюдаемая скорость потери этой энергии ($dE / dt = I\Omega d\Omega / dt \sim 10^{30} \div 10^{38}$ эрг/с) такова, что её вполне достаточно для объяснения излучения пульсаров во всех диапазонах. Поэтому естественно считать, что основным источником всех наблюдаемых проявлений активности радиопульса-

ров являются потери энергии вращения нейтронной звезды, обладающей магнитным полем $\sim 10^{12}$ Гс. Это фундаментальное утверждение лежит в основе всех современных моделей пульсаров.

В следующих главах будет дано краткое описание теоретических представлений об основных физических процессах в магнитосферах пульсаров. Сравнение этих представлений с современными наблюдательными данными позволяет сделать целый ряд суждений о характере и особенностях механизма излучения, о структуре магнитосферы, о локализации областей генерации излучения и о причинах замедления вращения нейтронной звезды. Всё дальнейшее изложение посвящено попыткам выделить устоявшиеся сведения о физике пульсаров, систематизировать наблюдаемые отличия их друг от друга, дать возможные объяснения новым наблюдательным данным и наметить пути прояснения нерешённых проблем.