

§ 3. Физические условия внутри нейтронных звезд

Детальные расчеты внутренней структуры нейтронных звезд привели к следующей картине. Радиус нейтронной звезды солнечной массы примерно 10–16 км. Поверхность нейтронной звезды представляет собой твердую кору толщиной 1–7 км с плотностью, растущей вглубь от 10^6 до 10^{10} г/см³. Поведение вещества в кристаллической коре достаточно хорошо изучено (см. Бейм и Петик, 1979). Глубже кристаллическая структура разрушается и вещество (в основном, свободные нейтроны) переходит в жидкую фазу. Там, где плотность возрастает до ядерной ($\sim 2,8 \cdot 10^{14}$ г/см³), картина менее ясна. Возможно образование твердого ядра. Как отметил впервые Мигдал (1959), нейтронная жидкость внутри нейтронной звезды должна быть сверхтекучей. Это свойство, как оказалось впоследствии, играет важнейшую роль для целого ряда процессов, протекающих на нейтронной звезде и наблюдаемых на Земле. Поэтому мы остановимся чуть подробнее на свойствах сверхтекучего состояния вещества. Сверхтекучесть (сверхпроводимость) представляет собой крупномасштабное квантово-механическое явление. Одним из важнейших проявлений сверхтекучести является полное (в известном смысле) исчезновение вязкости (или сопротивления для сверхпроводимости). Это означает, что сверхтекучая жидкость, приведенная в движение относительно сосуда, практически не тормозится. Однако явление сверхтекучести не сводится к гидродинамике жидкости с нулевой вязкостью. Достаточно сказать, что феноменологическая теория сверхтекучего гелия, созданная Л.Д. Ландау, представляет собой двухжидкостную гидромеханику. Сверхтекучесть впервые наблюдалась у ⁴He. Если охладить гелий до температуры 4,22 К при нормальном давлении, он превратится из газа в жидкость. Однако при температуре 2,19 К произойдет фазовый переход второго рода, сопровождающийся резким снижением теплоемкости. Новое состояние гелия было названо ³He II. В 1938 г. П.Л. Капица обнаружил, что движение жидкого ³He II по узкому капилляру или протекание его через щель характеризуется полным отсутствием вязкости. Это явление и было названо сверхтекучестью.

В звезде нейтронное вещество разбивается на связанные пары, подобные куперовским парам в сверхпроводнике. Сверхтекучесть при этом подобна сверхтекучести ³He (ведь ³He – тоже фермион). Как впервые отметили Гинзбург и Киржниц (1964), в сверхтекучей компоненте вращающейся нейтронной звезды должны присутствовать вихри.

Представление о сверхтекучих сердцевинах нейтронных звезд имеет не только наблюдательные подтверждения (см. гл. VII), но и подтверждения, полученные в лаборатории, где удалось создать искусственную "нейтронную" звезду (Цакадзе и Цакадзе, 1975). Сосуды цилиндрической или сферической формы, наполненные сверхтекучим гелием, подвешивались на магнитной подвеске и таким образом свободно вращались. В экспериментах моделировалось, в частности, явление сбоя периода пульсара.

Важнейшей для понимания физических условий внутри нейтронных звезд является проверка теории остывания нейтронных звезд (см. Номота и Цурута, 1981). Возможные следствия распада протонов рассмотрены в работе Новикова и Переводчиковой (1984).