

в пек-рый момент времени окажется больше предела Чандрасекара $M_{\text{ч}} \approx 1,4M_{\odot}$ для белых карликов. В таком состоянии центр области звезды не могут существовать долго — охлаждение и продолжающееся увеличение их массы нарушают баланс между силами тяжести и силами давления. В результате очень быстро (за неск. секунд или долей секунды) центр области звезды сжимаются до ядерных плотностей, подвергаясь одновременно процессу *нейтронизации вещества*, — рождается нейтронная звезда. Массы образующихся таким путем Н. з. могут находиться в пределах $M_{\text{ч}} \lesssim M_{\text{н.з.}} \lesssim M_{\text{макс.}}$. В случае, когда появление Н. з. сопровождается вспышкой *сверхновой звезды*, значит, часть массы звезды выбрасывается в космос. Пространство, что указывает на возможность образования Н. з. с массами $M_{\text{н.з.}} < M_{\text{ч}}$. Но образованию Н. з., по-видимому, не всегда сопутствует вспышка сверхновой звезды (возможен «тихий» коллапс). Другую возможность появления Н. з. представляет эволюция белых карликов в тесных двойных звездных системах. Перетекание вещества со звезды-компаньона на белый карлик постепенно увеличивает его массу, и, когда она достигает $M_{\text{ч}}$, белый карлик превращается в Н. з. В этом случае $M_{\text{н.з.}} \approx M_{\text{ч}}$ (знак неравенства учитывает гравитац. дефект массы, а также возможный сброс внеш. слоёв белого карлика). В случае, когда перетекание вещества продолжается и после образования Н. з., её масса может со временем значительно увеличиться. При $M_{\text{н.з.}} > M_{\text{макс}}$ Н. з. потеряет устойчивость и в результате релятивистского гравитац. коллапса превратится в *чёрную дыру*.

Сильное сжатие центр. областей звёзд при переходе их в Н. з. (уменьшение радиуса более чем в 100 раз) сопровождается, в силу законов сохранения момента кол-ва движения и магн. потока, резким возрастанием скорости вращения и величины магн. поля. Тем самым получают естеств. объяснение быстрое вращение пульсаров и их сильные магн. поля по сравнению с обычными звёздами и белыми карликами. Происхождение сильных магн. полей пульсаров (10^{10} — 10^{13} Г) может быть связано также с к.-л. механизмами их возбуждения (напр., с термомагнитными эффектами). Однако центробежные и магн. силы у наблюдавшихся до сих пор пульсаров не столь велики, чтобы существенно влиять на их общую структуру. Поэтому строение Н. з. обычно рассматривают без учёта этих эффектов (напр., пренебрегают отклонениями от сферич. симметрии), а роль магн. поля и вращения учитывают в разл. процессах переноса энергии внутри и вблизи поверхности Н. з. (*изгибное излучение, синхротронное излучение, нейтринное излучение, лучистый перенос энергии и электронная теплопроводность*).

Частота образования Н. з. пока ещё не известна с желаемой точностью, что связано с неопределённостями как в теории эволюции звёзд, так и в статистике пульсаров. Обычно принимают, что в Галактике одна Н. з. возникает в среднем раз в 10—30 лет. Поскольку возраст Галактики $\sim 10^{10}$ лет, то в ней должно содержаться около миллиарда Н. з. К настоящему времени зарегистрирована лишь ничтожная часть Н.з. Галактики.

Важнейшие направления исследования Н.з. Определение масс Н. з. в тесных двойных системах (двойные пульсары, рентг. пульсары, барстеры) показало, что их наиб. вероятные значения лежат в пределах (1—2) M_{\odot} . Однако неопределённости в значениях $M_{\text{н.з.}}$ ещё велики: для нек-рых Н. з. не исключены массы 0,5 M_{\odot} и 3 M_{\odot} . По-видимому, наиб. точно определена $M_{\text{н.з.}}$ для радиопульсара PSR 1913 + 16 в двойной системе: $M_{\text{н.з.}} = (1,41 \pm 0,06)M_{\odot}$.

Систематич. измерение периодов радиопульсаров (т. е. периодов вращения τ Н. з.) показало, что вращение пульсаров постепенно замедляется. Замедление связано с превращением кинетич. энергии вращения в энергию излучения пульсаров. Однако на фоне почти

монотонного возрастания τ случаются небольшие скачкообразные изменения периода, а также наблюдаются совсем малые хаотич. вариации τ .

Наиб. простое объяснение таких скачков и вариаций сводится к следующему. Постепенное увеличение τ сопровождается изменением центробежной силы и накоплением напряжений в твёрдой коре пульсаров, что время от времени вызывает растрескивание коры, а иногда крупные разломы и звездотрясения. В результате соответствующих изменений момента инерции коры и происходит скачкообразные сдвиги и незначит. вариации периодов вращения, характерные времена релаксации τ -рых определяются степенью «сцепления» коры и сверхтекучего ядра Н. з.

Однако из последующего детального изучения данных наблюдений стало ясно, что происхождение и временное поведение изменений τ имеет, по-видимому, более сложную связь со сверхтекучестью имеющихся в звезде нейтронов (как свободных, так и связанных в атомных ядрах). Вращение Н. з. приводит к появлению в их сверхтекучем веществе множества квантованных вихрей. Такие вихри сложным образом взаимодействуют с нормальным (не сверхтекучим) компонентом вещества и с кристаллич. решёткой внеш. коры Н. з. При этом могут развиваться коллективные процессы (не обязательно индуцированные звездотрясениями), к-рые сопровождаются перераспределением момента кол-ва движения между твёрдой корой и ядром Н. з. (момент инерции коры составляет лишь 10^{-1} — 10^{-2} от полного момента инерции Н. з.). Наблюдения временных характеристик изменений периодов радио- и рентг. пульсаров содержат важную информацию о сверхтекучести вещества Н. з., о свойствах их коры и о физ. условиях в их недрах. Напр., соответствующие данные для пульсара в Крабовидной туманности позволили оценить темп-ру в центре Н. з. $T_c \approx 4 \cdot 10^8$ К.

Наблюдения в рентг. диапазоне около десятка молодых *остатков вспышек сверхновых звёзд* в нашей Галактике, в к-рых либо присутствуют достаточно горячие Н. з. (Крабовидная туманность, туманность в созвездии Парусов), либо можно ожидать их присутствие, позволили установить верх. пределы для *эффективных температур* $T_{\text{э}}$ этих Н. з. Пределы оказались близкими к (1—2) $\cdot 10^6$ К. В частности, для пульсаров в Крабовидной туманности и туманности в Парусах, а также для Н. з., предполагаемой в остатке сверхновой RCW 103, было получено $T_{\text{э}} < 2,0 \cdot 10^6$ К, $1,5 \cdot 10^6$ К и $2,2 \cdot 10^6$ К соответственно. Не исключено, что в этих трёх случаях верх. пределы близки к реальным значениям $T_{\text{э}}$.

Теория охлаждения Н. з. в общем согласуется с данными наблюдений. Скорость охлаждения Н. з. зависит от влияния на механизмы переноса энергии и теплоёмкость её вещества сверхтекучести, сверхпроводимости, магн. поля и ряда др. свойств вещества в сверхплотном состоянии. Поэтому сопоставление теории остывания Н. з. с будущими более тонкими наблюдениями обещает стать одним из эфф. способов исследования структуры Н. з. и физ. свойств ядерной материи.

Большие перспективы в изучении Н. з. связываются с успехами нейтринной астрономии, к-рая в принципе позволяет определить параметры мощного всплеска нейтринного излучения, сопровождающего рождение Н. з. Впервые такой всплеск нейтринного излучения был зафиксирован подземными нейтринными детекторами в момент вспышки сверхновой в Большом Магеллановом Облаке 23 февр. 1987. Измерения нейтринного излучения позволяют не только непосредственно измерять дефект массы нейтронных звезд, но и проследить за самим процессом образования нейтронных звёзд.

Изучение Н. з. превратилось в одну из самых увлекательных и богатых открытиями областей астрофи-