УДК 539.1

Д. М. НАСИРОВА[1], Н. Ж. ТАКИБАЕВ [2], В. О. КУРМАНГАЛИЕВА [2], М. Н. ТАКИБАЕВА [2]

([1]Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан,
[2]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан)

РЕАКЦИИ ОБРАТНОГО β- РАСПАДА В ОБОЛОЧКАХ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

Аннотация. В работе проведены теоретические исследования структуры нейтронной звезды. Принципиальной основой теоретических моделей нейтронных звезд является квантовая теория строения вещества и представления вырожденного ферми-газа спиновых частиц. Исходя из разных вариантов первичного химического состава вещества нейтронных звезд, нами были рассмотрены соответствующие взаимосвязанные цепочки реакций электронного захвата в оболочках нейтронных звезд.

Ключевые слова: сверхплотное вещество, электронный захват, возбужденные состояния ядер, фононы кристалла, фононы ядер, нейтронизация вещества.

Тірек сөздер: аса тығыз зат, электронды қармау, ядролардың қозған күйі, кристалдардың фонондары, ядролардың фонондары,заттың нейтронизациясы.

Keywords: superdense matter, electron capture, excited nuclear states, phonons crystal, phonons nuclei, neutronization substance.

Как известно, протоны и нейтроны связаны в ядрах, и многие ядра стабильны. Но есть ядра, которые за счет слабых сил переходят в энергетически более выгодные состояния. Например, происходит превращение нейтрона в протон внутри ядра с испусканием позитрона и нейтрино или захват электрона ядром, точнее, одним из протонов в ядре, с испусканием нейтрино. Это в обычных земных условиях.

Обратимся к моделям строения нейтронной звезды [1]. Нейтронные звезды, наряду с черными дырами и белыми карликами – компактными объектами вселенной, считаются конечной формой в эволюционной жизни звезд. Их образование связывают со взрывами сверхновых. При взрыве внешние области материнской звезды выносятся в пространство, образуя газовые туманности. Внутренние же области, наоборот, сжимаются под воздействием мощной ударной волны взрыва.

Сжатие приводит к образованию нового сверхплотного звездного объекта, которое в зависимости от его массы может стать белым карликом, нейтронной звездой или черной дырой. Если масса звезды больше критической $M \succ 2.5M_{\odot}$ где М – масса Солнца, то образуется черная дыра. При меньших массах образуются нейтронные звезды и белые карлики, которые различаются плотностью своих внутренних областей. Нейтронная звезда имеет большую плотность, и ее внутренние области содержат свободные нейтроны, и даже вырожденный нейтронный ферми-газ.

Поскольку нейтронные звезды связывают с пульсарами, то типичная нейтронная звезда должна иметь большой момент вращения и огромное по величине магнитное поле. Радиус нейтронной звезды не более 15 км, а масса почти в полтора раза больше массы Солнца. Нейтронная звезда может иметь атмосферу, ее размер не превышаем нескольких метров. Под ней находится внешняя оболочка (или корка), ее толщина несколько сот метров. Ниже находится внутренняя оболочка, ее размер, по расчетам, 1–2 км. Затем, ниже располагается внешнее ядро, а под ним внутреннее ядро.

Нашей задачей является рассмотрение состояний вещества в оболочках нейтронных звезд. Отметим главные особенности этих областей. Они представляют собой сверхплотные кристаллические структуры. Плотность оболочек быстро растет с глубиной, т.е. с ростом гравитационного давления.

И, если рассматривать сверхплотное веществов оболочках нейтронных звезд, где действуют мощные сдавливающие давления, вытесняющие электроны с орбит атомов и создающие вырожденную электронную Ферми-жидкость, то слабые реакции в ядрах могут пойти наоборот – начнутся реакции поглощения электронов ядрами с испусканием нейтрино. Это будут реакции обратного β- распада [1].

Такие процессы интенсивно развиваются на определенных глубинах в оболочках нейтронных звезд, где наиболее энергетически выгодным состоянием вещества является кристаллическая

структура: голые ядра в узлах кристаллической решетки, «утопленной» в вырожденную электронную Ферми-жидкость. Важно, что при этом ядра еще сохраняют свои индивидуальные свойства, так как расстояния между ними намного больше размеров ядер. Их характеристики нам известны из лабораторных экспериментов [2]. Поэтому, следуя данным по ядерным и фотоядерным реакциям, мы можем проследить за развитием процессов нейтронизации вещества и появлением новых «необычных» состояний в глубинах оболочек нейтронных звезд.

Исходя из разных вариантов первичного химического состава вещества нейтронных звезд (например, железистых [3], хромовых или алюминиевых звезд), нами были рассмотрены соответствующие взаимосвязанные цепочки реакций. Например, для хромовых звезд следует:

$$^{52}_{24}Cr + e^{+} \rightarrow {}^{52}_{23}V + \nu, \quad Q = 3,97MeV$$

$$^{52}_{23}V + e^{+} \rightarrow {}^{52}_{22}Ti + \nu, \quad Q = 1,977MeV$$

$$^{52}_{22}Ti + e^{+} \rightarrow {}^{52}_{21}Sc + \nu, \quad Q = 9,1MeV$$

$$^{52}_{21}Sc + e^{+} \rightarrow {}^{52}_{20}Ca + \nu, \quad Q = 7,86MeV$$

$$^{52}_{20}Ca + e^{+} \rightarrow {}^{52}_{19}K + \nu, \quad Q = 16,3MeV$$

$$^{52}_{19}K + e^{+} \rightarrow {}^{52}_{18}Ar + \nu, \quad Q = 13,2MeV \text{ и т.д.}$$

Q – это пороговая энергия реакции, т.е. если $E_e > Q$, то реакция по энергии открыта.

Отметим, что в этой цепочке значения пороговых энергий каждой четной по счету реакции меньше пороговой энергии предшествующей. Это говорит о возможности образования ядер в возбужденных состояниях. Действительно, при электронном захвате дочернее ядро будет переходить внижние возбужденные состояния ядра $^{52}_{22}Ti$.

Известно, что в земных условиях снятие возбуждения обычно происходит путем испускания гамма квантов. Но такое снятие возбуждений в сверхплотной материи оказывается уже не возможным: длина волны такого гамма кванта будет много больше постоянной решетки.

Что касается электронов Ферми-жидкости, то в силу принципа Паули, все нижние уровни будут заняты. Это означает, что энергия возбуждения ядра может быть передана только электронам для образования пары«электрон + дырка» на энергетической Ферми поверхности.

Есть еще одна возможность: это передать возбуждения фононам кристаллической решетки. Такая возможность становится наиболее реализуемой в случаях пересечения энергетических спектров фононов ядра и фононов кристаллической решетки. Фононы ядра это квантовый механизм описания поверхностных колебаний возбужденного ядра. Важно, что отмеченные пересечения возникают в сверхплотных решетках, т.е. в кристаллических оболочках нейтронных звезд [3].

Наконец, описание передачи возбуждения ядер можно проводить и в рамках теории квантовых туннельных переходов, когда рассматриваются перекрытия волновых функций возбужденных ядер, стоящих в узлах кристаллической решетки. Здесь возникает интересное явление при достижении критической плотности числа возбужденных ядер в решетке: превышение этой величины ведет к лавинной стимуляции и мультипликации возбуждений. При этом стремительно растет плотность сверхвозбужденных ядер, инициирующих каскад сопутствующих реакций, как например, реакций выбивания нуклонов из ядер, образования потока нейтрино и т.п. Существенно, что при этом в решетке возникают свободные нейтроны [4].

Ранее появление нейтронов вне ядер предполагалось только в более глубоких слоях оболочки нейтронных звезд, объединенных названием «внутренняя оболочка».Эти нейтроны, как было принято считать, выпариваются из ядер, когда давления вне и внутри ядер сравниваются между собой. В данной работе показано, что свободные нейтроны возникают уже во внешней оболочке нейтронной звезды, как результат комплекса развивающихся реакций и нелинейных процессов, порождаемых реакциями обратного бета распада.

Рассмотренные здесь новые типы состояний, реакций и процессов в слоях внешней оболочки нейтронных звезд, как и результаты анализа явлений в слоях внутренней оболочки [5], создают условия для пересмотра существующих представлений о физике состояний и явлений, происходящих в оболочках нейтронных звезд.

ЛИТЕРАТУРА

1 Шапиро С.Л., Тьюколски С.А. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. В 2-х ч. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. Ч. 1-2.
2 http://cdfe.sinp.msu.ru/
3 Takibayev N., Kato K., Nasirova D. Excited Nuclei in Neutron Star Crusts // Adv. Studies Theor. Phys. – 2013. – Vol. 7, N 4. – P. 151-161.
4 Такибаев Н.Ж. Вынужденное резонансное излучение кристаллических структур оболочек нейтронных звезд // Доклады НАН РК. 2012. № 3.
5 Chamel N., ArXiv: 1301.2432v1 [astro-ph.HE], 2013.

REFERENCES

1 Shapiro S.L., T'jukolski S.A. V 2 ch. / Per. s angl. - *M.: Mir*, **1985**. Ch.1 - 2. (in Russ.)
2 http://cdfe.sinp.msu.ru/
3 Takibayev N., Kato K., Nasirova D. *Adv.StudiesTheor.Phys.*, Vol.7, № 4.,P. 151-161, **2013**.
4 Takibayev N.Zh., *Doklady NAN RK*, №3, **2012**.
5 Chamel N., *ArXiv: 1301.2432v1 [astro-ph.HE]*, **2013**.

Резюме

Д. М. Насирова [1], Н. Ж. Такибаев [2], В. О. Курмангалиева [2], М. Н. Такибаева [2]

([1]Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан)

НЕЙТРОНДЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ҚАБЫҚШАЛАРЫНДАҒЫ КЕРІ
β-ЫДЫРАУ РЕАКЦИЯЛАРЫ

Жұмыста нейтрондық жұлдыздың құрылысына теориялық зерттеулер жүргізілген. Зат құрылысының кванттық теориясы және спиндік бөлшектердің азғындалған ферми-газ ұғымы нейтронды жұлдыздардың теориялық моделдерінің негізі болып табылады. Нейтронды жұлдыздардың алғашқы химиялық құрамының алғашқы нұсқаларына байланысты, нейтронды жұлдыздардың қабықшаларындағы электронды қармаудың сәйкес өзара байланысқан тізбегі қарастырылды.

Тірек сөздер: аса тығыз зат, электронды қармау, ядролардың қозған күйі, кристалдардың фонондары, ядролардың фонондары,заттың нейтронизациясы.

Summary

D. M. Nassirova[1], N. Zh. Takibayev[2], V. O. Kurmangalieva[2], M. N. Takibayeva[2]

([1]Kazakh National Pedagogical University named after Abay, Almaty, Kazakhstan,
[2]Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan)

REVERSE REACTION β-DECAY
IN THE NEUTRON-STAR CRUSTS

Abstract. The work carried out theoretical studies of the structure of the neutron star. The principal basis for theoretical models of neutron stars is the quantum theory of the structure of matter and the submission of a degenerate Fermi gas of spin particles. Based on the different variants of the primary chemical composition of neutron stars, we have examined the relevant interconnected chain of electron capture reactions in the crusts of neutron stars.

Keywords: superdense matter, electron capture, excited nuclear states, phonons crystal, phonons nuclei, neutronization substance.