

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 300 (2015), 129 – 135

**PHYSICAL PROCESSES IN CRYSTALS
OF SUPERDENSE NEUTRON STARS IN THE CRUSTS****N. Zh. Takibayev¹, M. N. Takibayeva¹, V. O. Kurmangaliyeva¹, D. M. Nassirova²**¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Takibayev@gmail.com

Keywords: neutron stars envelopes, phonon and nuclear interactions, density oscillations.

Abstract. A short review of research results of last years is given concerning the study of physical processes in the envelopes of neutron stars, particularly the phenomena of quantum neutron capture by superdense crystalline structures, inverse beta decay of nuclei, phonon and nuclear interactions, local accumulation of excited nuclei and oscillation of density in the envelopes of neutron stars. The motivation is given for the conduction of new experiments on the coordinated registration of the glitches in pulses of electromagnetic radiation and the fluxes of neutrinos in order to determine the element composition of neutron stars envelopes.

УДК 52-1/-8:539.14; 524.1:539.14

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СВЕРХПЛОТНЫХ КРИСТАЛЛАХ
В ОБОЛОЧКАХ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД****Н. Ж. Такибаев¹, М. Н. Такибаева¹, В. О. Курмангалиева¹, Д. М. Насирова²**¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,²Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: оболочки нейтронных звезд, фононные и ядерные взаимодействия, осцилляции плотности.

Аннотация. Дается краткий обзор результатов исследований последних лет, связанных с изучением физических процессов в оболочках нейтронных звезд, в частности, явлений квантового «захвата» нейтронов сверхплотной кристаллической структурой, обратного бета распада ядер, фононных и ядерных взаимодействий, локального накопления возбужденных ядер и осцилляция плотности в оболочках нейтронных звезд. Обосновывается проведение новых экспериментов по согласованной регистрации глюонов в пульсациях электромагнитного излучения и потоков нейтрино для определения элементного состава оболочек нейтронных звезд.

Космические исследования занимают сейчас приоритетное положение не только в прикладных применениях космической техники, например, для создания и совершенствования глобальных сетей коммуникационных связей, но также и для проведения научных исследований дальнего и ближнего космоса [1-4]. Открытия последних лет в этой области привлекают большое внимание к исследованиям космоса как опытных специалистов, так и талантливой молодежи.

К числу таких новых загадочных открытий можно отнести открытие темной материи и темной энергии, а к числу загадочных объектов – магнетары, черные дыры и нейтронные звезды, физика которых остается во многом пока не разгаданной.

Нами были проведены теоретические исследования и расчеты физических явлений, происходящих в оболочках нейтронных звезд.

Следует отметить, что свойства материи нейтронной звезды меняются от почти обычного состояния на поверхности, какой мы ее знаем в земных лабораторных условиях, до совсем экзотических состояний в ее центре. Уже на малой глубине от поверхности в оболочках нейтронной звезды, т.е. от нескольких сот метров до полутора километра, материя приобретает характер сжатого кулоновского кристалла. Еще глубже находится мантия – сверхплотный раствор «горячих» нейтронов, электронов и остатков ядер, т.е. сверхплотная плазма. В центре звезды, как полагают, находится большое нейтронное ядро, кварк-глюонная масса, странная материя или иная необычная материя, форма и свойства которой не ясны. Вопрос остается открытым, но интерес к этой задаче не ослабевает.

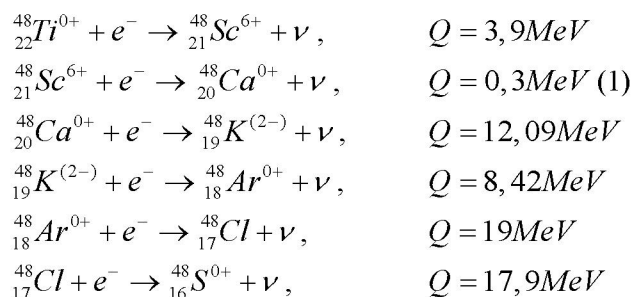
Массив накопленных физических и астрофизических данных, а также опыт теоретических оценок и расчетов показывают, что для внешнего наблюдателя основными источниками информации о звезде являются характеристики излучений с поверхности звезды и ее ближнего окружения (атмосферы, подстилающей поверхности и оболочек, магнитного поля, аккрецирующей извне материи или близкой туманности, спутника или близкой звезды). И уже как «сверхтонкая структура» могут быть приняты во внимание процессы, происходящие в центральном ядре или глубинах нейтронной звезды. В то же время физические процессы, протекающие в оболочках нейтронных звезд, могут оказывать непосредственное влияние на поверхностные явления и характер излучения, и поэтому также являются особо важными источниками информации о звезде.

Физическое описание процессов протекающих в оболочках нейтронных звезд и определение их характеристик еще позволяет использовать хорошо известные подходы квантовой физики. Однако, несмотря на это, процессы и реакции, происходящие в оболочках нейтронных звезд, приобретают уже совсем иной характер, в сравнении с процессами и реакциями, происходящими на Солнце или на Земле, а также в условиях лабораторных экспериментов [5,6].

Так, если рассматривать сверхплотное вещество в оболочках нейтронных звезд, где действуют мощные сжимающие гравитационные силы, вытесняющие электроны с орбит атомов и создающие вырожденную электронную Ферми-жидкость, то слабые реакции в ядрах могут пойти вспять, т.е. вместо реакций β -распада, начнутся реакции поглощения электронов ядрами с испусканием нейтрино – реакции обратного β -распада [2, 7, 8].

Процессы такого рода интенсивно развиваются на определенной глубине в оболочках нейтронных звезд, где наиболее энергетически выгодным состоянием вещества является кристаллическая структура: голые ядра в узлах кристаллической решетки, которая «утоплена» в вырожденную электронную Ферми-жидкость [9]. Важно, что при этом ядра еще сохраняют свои индивидуальные свойства, так как расстояния между ними намного больше размеров ядер [2, 9]. Характеристики ядер нам известны из лабораторных экспериментов, которые можно найти в международной системе баз ядерных данных (см., например, [10, 11]). Таким образом, можно, следуя квантовым свойствам среды и задавая силу внешних воздействий, проследить развитие и изменения процессов в сверхплотных кристаллических структурах. В частности, оценить реакции захвата электронов ядрами с испусканием нейтрино и процессы нейтронизации вещества, определить появление новых «необычных» состояний в определенных слоях оболочек нейтронных звезд [2, 12-16].

Исходя из разных вариантов первичного химического состава вещества нейтронных звезд (например, железистых [15], хромовых или алюминиевых звезд [6, 17]), были рассмотрены соответствующие взаимосвязанные цепочки реакций. Например, для титановых звезд (распространенность изотопа ${}^{48}_{22}\text{Ti}$ в природе составляет 73 %) следует:



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

Отметим, что в этой цепочке значения пороговых энергий для каждой четной по счету реакции меньше пороговой энергии предшествующей реакции. Например, порог второй реакции для ${}^{48}_{21}\text{Sc}^{6+}$ будет меньше порога первой реакции, т.е. для ${}^{48}_{22}\text{Tl}^{0+}$. Это означает, что вторая реакция уже является открытой и может сразу же реализоваться вслед за первой.

Следует, однако, принять во внимание, что квантовые числа в ядрах второй реакции в левой (т.е. для ${}^{48}_{21}\text{Sc}^{6+}$) и правой (т.е. для ${}^{48}_{20}\text{Ca}^{0+}$) частях сильно различаются, так что прямые переходы между ними с испусканием γ -кванта будут оставаться маловероятными. Это также говорит об очень малой вероятности перехода из возбужденных состояний ${}^{48}_{20}\text{Ca}^*$ в его более низкие возбужденные состояния с изменением спинов на значения $2+$ или $4+$. Таким образом, переход исходного ядра ${}^{48}_{21}\text{Sc}^{6+}$ при электронном захвате в основное состояние для ядра кальция, оказывается, по такому пути невозможным.

Из реакции (1) и таблицы видно, что ядра ${}^{48}_{20}\text{Ca}^*$ не могут сбросить возбуждение за счет испускания γ -кванта, поскольку энергии электронов еще будет недостаточно – порог второй реакции, хотя и мал, но создает определенный энергетический запрет для перехода между каналами. Кроме этого, имеется большое различие в квантовых числах ядер в реакции (1).

Данные по энергиям возбужденных состояний ${}^{48}_{20}\text{Ca}^*$ и энергиям гамма-квантов приведены в таблице.

Экспериментальные данные по изотопу ${}^{48}_{20}\text{Ca}^{0+}$ [10]

Возбужденные состояния ядра ${}^{48}_{20}\text{Ca}^*$		
Энергия возбужденных состояний (MeV)	Квантовые числа	Энергия гамма-кванта (MeV)
3,8315	2+	3,8313
3,8317	2+	3,8322
3,832	2+	3,8318
3,832.3	2+	3,8323
3,8325	2+	3,8322
4,283	0+	0,451
4,503	4+	0,672

Квантовые запреты в γ - и β - переходах здесь играют очень важную роль: во-первых, практически невозможен переход между основными состояниями ядер ${}^{48}_{21}\text{Sc}^{6+}$ и ${}^{48}_{20}\text{Ca}^{0+}$, а первый возбужденный уровень у ${}^{48}_{20}\text{Ca}^*$ оказывается чуть большим, чтобы переход на него стал бы возможным. Это говорит о большой вероятности образования ядер ${}^{48}_{20}\text{Ca}^*$ в квази-возбужденных состояниях. Действительно, при электронном захвате дочернее ядро ${}^{48}_{21}\text{Sc}^{6+}$ могло бы перейти в нижнее или даже в основное состояние ядра ${}^{48}_{20}\text{Ca}^{0+}$, но этому мешают правила отбора, из которых следует, что переходы с сильно различающимися спинами ($|\Delta I| > 1$) оказываются сильно подавленными.

Как пример, приведем данные для возбужденных состояний ядра ${}^{24}\text{Mg}$, возникающих при β -переходе из ядра натрия ${}^{24}\text{Na}$ [18, 19]. Эксперимент дает следующие значения для переходов между уровнями: с $\Delta I = 4$ вероятность оказывается порядка $\omega \approx 10^{-13}$, для $\Delta I = 2$ вероятность $\omega \approx 10^{-5}$, а для $\Delta I = 0$ $\omega \approx 1$.

Хотя эти приведенные данные относятся к прямому переходу, что соответствует лабораторным экспериментам в земных условиях, важно, что запрет следует из общих правил квантовой физики и является справедливым. Отметим, что, если различие в квантовых числах ядер в начальном и конечном состояниях больше, вероятность перехода становится на порядки меньше. Конечно, при этом следует учитывать сумму квантовых чисел, приходящихся на легкие частицы (нейтрино и гамма-кванты).

Существенным являются и условия снятия возбуждения за счет испускания гамма квантов. В лабораторных экспериментах в земных условиях такое снятие возбуждения ограничивается только правилами соответствия квантовых чисел в конечном и начальном состояниях. Но в сверхплотной материи такой процесс может быть «запертым» уже самой сверхплотной средой. Перенос энергии в среде становится очень сложным процессом, и его описание требует учета многих взаимозависимостей и взаимосвязей. Уже тот факт, что длина волны гамма кванта возбуждения является много большей величины постоянной решетки, указывает на вовлеченность в процесс как излучающего ядра, так и соседних ядер, а также их воздействий на вырожденную электронную ферми-жидкость, появление квазичастиц в организованной сверхплотной среде и т.п.

Ясно поэтому, что вещество оболочек нейтронных звезд находится не только в условиях экстремально высоких давлений, но и в условиях сильно нелинейных взаимодействий. Привычный анализ состояния вещества становится затруднительным из-за появления комплекса новых явлений и процессов в экстремально плотной среде. Поэтому, процессы, протекающие в нейтронных звездах, требуют учета большого числа явлений и более сложных расчетов и анализа протекающих процессов. Одним из мощных инструментов теоретического анализа в этом случае является квантовая теория квазичастиц, дополненной методами физики нелинейных явлений. В этом плане развиваемый авторами теоретический подход описания вещества в экстремальных условиях позволяет выявить и дать численные оценки ряда важных явлений и процессов, происходящих в оболочках нейтронных звезд. В основу подхода положены не только квантовая физика квазичастиц, но и квантовая теория систем нескольких взаимодействующих частиц (или тел) с учетом резонансных состояний [13-16, 20, 21].

Нелинейные взаимодействия в сверхплотных кристаллических структурах внешних оболочек нейтронных звезд, приводят к ряду новых явлений и эффектов. Нелинейность в таких средах обязана чрезвычайно малому параметру решетки, значительно меньшему размера электронных атомных орбит. Такие сверхплотные кристаллы, где расстояния между ядрами вещества очень малы, стимулируют образование возбужденных состояний ядер в реакциях электронного захвата и поддерживают их длительное существование. Показано, что рост плотности числа таких ядер и их нелинейные взаимодействия ведут к генерации высоких мод и индуцированному излучению в кристалле. В свою очередь, энергичные гамма кванты, рассеиваясь на ядрах и электронах среды, могут порождать нейтрино-антинейтринные пары, и могут вызывать фотоядерные реакции и реакции с выбиванием нейтронов из ядер [14, 16].

Сброс индуцированного излучения сменяется периодом накопления возбужденных состояний. Время накопления возбужденных состояний зависит, конечно, от элементного состава вещества и глубины залегания данного слоя оболочки. При достижении критических значений плотности возбужденных ядер возникает лавинный процесс – индуцированный сброс когерентного излучения или сверх возбуждения ядер с последующим выбросом массы свободных нейтронов [16, 20, 21].

Нелинейные процессы в оболочках нейтронных звезд сопровождаются, кроме того, и периодическими всплесками излучений нейтрино [14, 21].

В сверхплотных кристаллах ядерные реакции и возбужденные состояния ядер становятся участниками резонансных взаимодействий фононов кристалла с фононами внутри ядра. Такие процессы особенно интенсивно будут возникать на определенных глубинах в оболочках нейтронных звезд, где становятся возможными ядерные реакции захвата электронов ядрами (нуклидами), находящимися в узлах кристаллической решетки. Для каждого нуклида имеется своя пороговая глубина в оболочке нейтронной звезды, с которой начинаются соответствующие реакции захвата электронов.

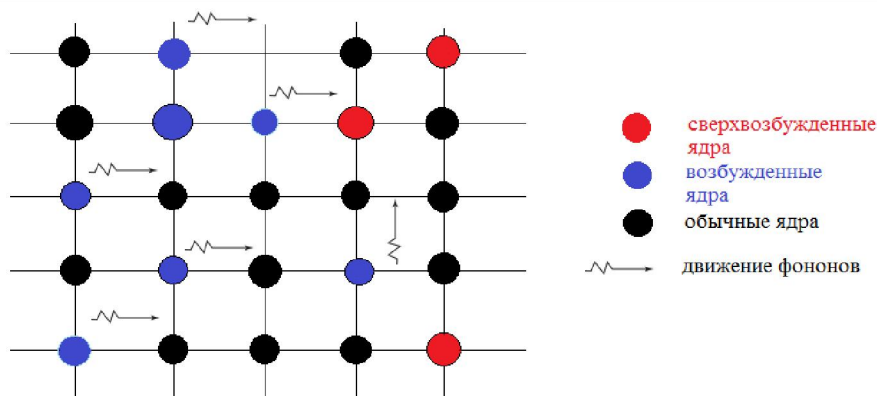


Рисунок 1 – Резонансные взаимодействия фононов кристалла с фононами ядра

В зависимости от элементного состава первичного вещества нейтронной звезды, им будут отвечать разные типы ядерных реакций. Оценка энергетического выхода этих реакций и их особенностей даст понимание развития ядерных процессов в нейтронных звездах и роли их первичного химического состава.

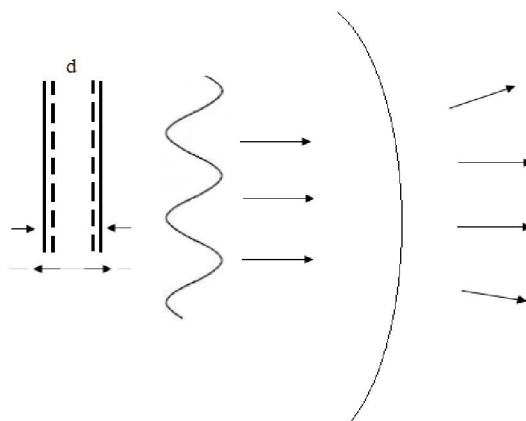


Рисунок 2 – Распространение волн, модулирующих излучение

Резонансные переходы между кристаллическими и ядерными фононами, между фононами и фотонами (поляритоны), фермиевскими электронами, экситонами и ядрами будут усиливать нелинейный отклик как внутри самих ядер, так и между ядрами в сверхплотном кристалле. Нелинейные взаимодействия в самой кристаллической среде и внутри ядер кристалла ведут к периодическим выплескам высокоэнергичных электромагнитных волн, локальным изменениям плотности в слое оболочки и, соответственно, к звездотрясениям, генерации нейтринного излучения и другим неординарным явлениям (см. рисунок 2).

Так, расчеты показали, что микроструктура излучений нейтронных звезд зависит от их элементного состава или, более конкретно, от скорости накопления критической плотности ядер в возбужденных состояниях. Эта скорость определяется скоростью реакций обратного β -распада, т.е. скоростью реакций слабого взаимодействия – именно такие реакции и содержат информацию о ядрах (нуклидах) материи и об элементном составе вещества нейтронной звезды.

На основании полученных выводов нами предлагается провести комплекс экспериментов с согласованной регистрацией потоков нейтрино и микроструктуры гамма излучений от нейтронных звезд для определения их элементного состава и динамики внутренних процессов.

В настоящий момент идет широкомасштабный сбор данных электромагнитных излучений, особенно, в оптическом и радиодиапазонах [22] а также эксперименты по регистрации рентгеновских источников [23]. Однако нейтринные эксперименты в сочетании с регистрацией радио и рентгеновских излучений пока не проводятся. Проведение предлагаемых комплексных экспери-

ментов может значительно обогатить наши знания о состояниях вещества в экстремальных условиях.

Важно отметить и следующее. Экстремально высокие плотности вещества ведут к своеобразному упрощению его структуры, что, в свою очередь, дает возможность исследования этой структуры в рамках теорий ферми-жидкости, квантовой теории взаимодействия сложных систем, физики квазичастиц и нелинейных взаимодействий. Их совместное использование ведет к определенным упрощениям общего описания, несмотря на кажущуюся возрастающую сложность.

Указанные теории и используемые в них методы были применены и обобщены для описания процессов, происходящих в оболочке нейтронной звезды и в центральном твердом ядре белых карликов [20, 21].

Конечно, такое рассмотрение имеет вполне определенные пределы, которые ограничены, прежде всего, плотностями вещества сравнимыми или большими средней плотности ядерной материи. При таких плотностях уже должна работать физика субъядерных систем, т.е. квантовая хромодинамика, ее методики и подходы.

Свойства мантии и ядра нейтронной звезды остаются за рамками проводимых исследований – их физика пока непонятна и проявлений, прямо связанных с ними, в экспериментах и наблюдениях пока не обнаружено.

Однако, многие процессы и наблюдаемые явления такие, как глюки, внезапные выбросы вещества и излучения, паузы или провалы в спектрах, уже могут быть оценены и интерпретированы в рамках разработанных выше подходов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] The NASA Astrophysics Data System: adswww.harvard.edu/; science.nasa.gov/astrophysics/astrophysics-data-centers.
- [2] Shapiro S. L., Teukolsky S. A., Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects, Wiley, New York.-1983.
- [3] Потехин А.Ю. УФН.- 2010. Т. 180. № 12. - С.1279-1304.
- [4] Popov S.B., The Zoo of neutron stars, Phys of Particle and Nuclei, V-39, 1136, 2008.
- [5] Андерсен Р., Эхо Большого взрыва, В мире науки, № 12. 2013.
- [6] Воронов В.К., Подоштелов А.В., Современная физика, М. КомКнига 2005, 512 с., ISBN 5-484-00058-0.
- [7] Нусипалиева М., Насирова Д., Такибаева М. О ядерных реакциях в оболочках нейтронных звезд. Известия НАН РК. Сер. физ.-мат. - 2013. № 2 (288). - С. 35-38.
- [8] Насирова Д.М., Такибаев Н.Ж., Курмангалиева В.О., Такибаева М.Н., «Реакции обратного β – распада в оболочках нейтронных звезд», Известия НАН РК, серия физико-математическая, 2 (294), 2014, с. 50-52.
- [9] Киржниц Д.А., О внутреннем строении сверхплотных звезд, ЖЭТФ, Т 38. Вып. 2. 503, 1960/
- [10] <http://cdfc.sinp.msu.ru/>
- [11] <http://canrdb.kaznu.kz>
- [12] Takibayev N., Neutron Resonance States in Overdense Crystals, Few-Body Systems, 2013, V 54, 447-450 DOI 10.1007/s00601-012-0410-6.
- [13] Takibayev N., Class of Model Problems in Three-Body Quantum Mechanics That Admit Exact Solutions, Physics of Atomic Nuclei, 2008, V 71, 460-468, ISSN 1063-7788.
- [14] Takibayev N., Exact Analytical Solutions in Three-Body Problems and Model of Neutrino Generator, EPJ Web of Conferences 3, 05028 (2010); DOI:10.1051/epjconf/20103005028.
- [15] Takibayev N., Kato R., Takibayeva M., Sarsembayeva A., Nasirova D., “Neutron Resonances in Few-Body Systems and the EOS of Neutron Star Crust”, Few-Body Systems, 2013. - DOI 10.1007/s00601-013-0598-0.
- [16] Takibayev N., Kato R., Nasirova D., “Excited nuclei in Neutron Star Crust”, Adv. Studies Theor. Phys, 2013. Vol.- 7. - P.151 – 161.
- [17] Насирова Д.М. "Трехчастичные нейтронные резонансы и реакции в оболочках нейтронных звезд", Известия НАН РК, № 3 (289), Алматы, 2013, с. 8-13
- [18] Мухин К.Н., Экспериментальная ядерная физика, том 1 Физика атомного ядра, М, Энергоатомиздат, 1983, 616 с.
- [19] Otsuka N., Semkova V., Kenzhebayev N., Ergashev F., Kurmangalieva V., Nusipalyeva M., Takybayeva M., “Compilation of Experimental Nuclear Reaction Data Measured in Central Asia”, INDC, Proceedings of the Fourth Asian Nuclear Reaction Database Development Workshop, IAEA, February 2014, Vienna, Austria, p 56-60.
- [20] Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по физике Насировой Д.М., 2013 г., 121 с.
- [21] Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по физике Такибаевой М.Н., 2014 г., 151 с.
- [22] // <http://chandra.harvard.edu/>
- [23] ATNF Pulsar Catalogue, Australia Telescope National Facility, <http://www.atnf.csiro.au>

REFERENCES

- [1] The NASA Astrophysics Data System: adswww.harvard.edu; science.nasa.gov/astrophysics/astrophysics-data-centers.
- [2] Shapiro S. L., Teukolsky S. A., Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects, Wiley, New York.-1983. (in Russ.)
- [3] Potechin A.Y.UFN.- 2010. T. 180. № 12. - С.1279-1304. (in Russ.)
- [4] Popov S.B., The Zoo of neutron stars, Phys of Particle and Nuclei, V-39, 1136, 2008. (in Eng.)
- [5] Andersen R., EhoBolshogovzryiva, V mire nauki, № 12. 2013.(in Russ.)
- [6] Voronov V.K., Podoplelov A.V., Sovremennayafizika, M. KomKniga,2005, ISBN 5-484-00058-0, 512 s.(in Russ.)
- [7] Nusipalieva M., Nasirova D., Takibaeva M. O yaderniyhreaktsiyah v obolochkahneytronnyihzvezd. Izvestiya NAN RK. ser. fiz.-mat. - 2013. # 2 (288). - S. 35-38.(in Russ.)
- [8] Nasirova D.M., Takibaev N.Zh., Kurmangalieva V.O., Takibaeva M.N., «Reaktsii obratnogo beta – raspada v obolochkah neytronnyih zvezd», Izvestiya NAN RK, seriya fiziko-matematicheskaya, 2 (294), 2014, s. 50-52.(in Russ.)
- [9] KirzhnitsD.A., Ovnutrennemstroeniisverhplotnyihzvezd, ZhETF, T 38. Vyip. 2. 503, 1960. (in Russ.)
- [10] <http://cdfc.sinp.msu.ru/>
- [11] <http://canrdb.kaznu.kz>
- [12] Takibayev N., Neutron Resonance States in Overdense Crystals, Few-Body Systems, 2013, V 54, 447-450 DOI 10.1007/s00601-012-0410-6.(in Eng.)
- [13] Takibayev N., Class of Model Problems in Three-Body Quantum Mechanics That AdmitExact Solutions, Physics of Atomic Nuclei, 2008, V 71, 460-468, ISSN 1063-7788.(in Eng.)
- [14] Takibayev N., Exact Analytical Solutions in Three-Body Problems and Model of Neutrino Generator,EPJ Web of Conferences 3, 05028 (2010); DOI:10.1051/epjconf/20103005028.(in Eng.)
- [15] Takibayev N.,Kato R., Takibayeva M., Sarsembayeva A., NasirovaD.,“Neutron Resonances in Few-Body Systems and the EOS of Neutron Star Crust”, Few-Body Systems, 2013. - DOI 10.1007/s00601-013-0598-0.(in Eng.)
- [16] Takibayev N.,Kato R., Nasirova D., “Exited nuclei in Neutron Star Crust”, Adv. Studies Theor. Phys, 2013. Vol.- 7. - P.151 – 161.(in Eng.)
- [17] Nasirova D.M. " Trehchastichnyieneytronnyierezonansyiireaktsii v obolochkahneytronnyihzvezd", Izvestiya NAN RK, # 3 (289), Almatyi, 2013, s. 8-13.(in Russ.)
- [18] Muhin K.N., Eksperimentalnayayadernayafizika, tom 1 Fizikaatomnogoyadra, M, Energoatomizdat, 1983, 616 s.(in Russ.)
- [19] Otsuka N., Semkova V., Kenzhebeyev N., Ergashev F., Kurmangalieva V., Nusipalyeva M., Takybayeva M., “Compilation of Experimental Nuclear Reaction Data Measured in Central Asia”, INDC, Proceedings of the Fourth Asian Nuclear Reaction Database Development Workshop, IAEA, February 2014, Vienna, Austria, p 56-60.(in Eng.)
- [20] Dissertatsiyanasoiskanieuchenoystepenidoktorafilosofii (PhD) pofizikeNasirovoy D.M., 2013 g., 121 s.(in Russ.)
- [21] Dissertatsiyanasoiskanieuchenoystepenidoktorafilosofii (PhD) pofizikeTakibaevoy M.N., 2014 g., 151 s.(inRuss.)
- [22] // <http://chandra.harvard.edu/>
- [23] ATNF Pulsar Catalogue, Australia Telescope National Facility, <http://www.atnf.csiro.au>

НЕЙТРОНДЫҚ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ҚАБЫҚШАЛАРЫНДАҒЫ АСАТЫҒЫЗ КРИСТАЛЛДАРДАҒЫ ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕССТЕР

Н. Ж. Такибаев¹, М. Н. Такибаева¹, В. О. Курмангалиева¹, Д. М. Насирова²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: нейтрондық жұлдыздардың қабықшалары, фонндық және ядролық әсерлесулер, тығыздық осциляциялары.

Аннотация. Нейтрондық жұлдыздардың қабықшаларындағы физикалық процесстерді зерттеумен байланыстысоңғы жылдардағы зерттеулердің қысқаша нәтижелеріне шолу жасалған. Соның ішінде нейтрондардың асатығыз кристалдық құрылымдармен кванттық «қармау» құбылысы, ядролардың кері бета ыдырауы, фонндық және ядролық әсерлесулер, қозған ядролардың жергілікті жиналуы мен нейтрондық жұлдыздардың қабықшаларындағы тығыздық осциляциясы. Электромагниттік сәулелену пульсацияларында глюктарды сәйкес тіркеу бойынша және нейтрондық жұлдыздардың қабықшаларындағы элементтердің құрамын анықтау үшін жаңа тәжірибелер жасау негізделеді.

Поступила 17.03.2015 г.