

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2022-17-4-7>

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОЙ НЕЙТРОННОЙ МАТЕРИИ И НЕЙТРОННЫХ ЯДЕР

Окунев В.С.

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, Россия*

Ключевые слова: нейтронные ядра, ядерная фрагментация, ударная радиоактивность.

Аннотация. Основная цель работы – выявление путей получения чистой нейтронной материи. Автор использует результаты экспериментов по делению тяжелых стабильных ядер, ядерная фрагментация, ударной радиоактивности. Результаты проведенного исследования показывают, что нейтронные ядра могут образовываться во всех этих процессах. Такие ядра формально относят к существующим.

POSSIBLE WAYS OF SYNTHESIS OF PURE NEUTRON MATTER AND NEUTRON NUCLEI

Okunev V.S.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: neutron nuclei, nuclear fragmentation, impact radioactivity.

Abstract. The main goal of the work is to reveal ways of obtaining pure neutron matter. The author uses the results of experiments on the fission of heavy stable nuclei, nuclear fragmentation, and impact radioactivity. The results of the study show that neutron nuclei can be formed in all these processes. Such nuclei are formally referred to as existing ones.

Среднее время жизни свободного нейтрона около 15 минут (β^-). В составе атомных ядер распады нейтронов стабилизированы, т.е. нейтроны ведут себя как стабильные частицы. Это основная причина, позволяющая надеяться на существование нейтронных ядер – ограниченной в пространстве нейтронной материи, не содержащей протонов и других частиц. Получить такие ядра пока не удалось, и в настоящее время их рассматривают как гипотетические объекты.

Нейтронная материя сосредоточена в нейтронных звездах и нейтронно-избыточных атомных ядрах. Нейтронные звезды не содержат чистую нейтронную материю. В центральной части таких звезд отношение числа нейтронов к числу протонов $N/Z \approx 8$. В центральной части звезды присутствуют электроны, мезоны, гипероны и другие частицы. Чистая нейтронная материя существует в составе гало нейтронно-избыточных ядер и в поверхностном слое некоторых тяжелых ядер (например, тонкий нейтронный слой окружает ядро ^{208}Pb [1]). Однако выделить из состава гало нейтронные ядра пока не удалось: нейтроны, испускаемые таким гало-ядром, «рассыпаются» за время, сравнимое с характерным временем ядерного взаимодействия. Соотношение N/Z в нейтронно-избыточных гало-изотопах известных легких ядер достигает шести (^7H). Получение нейтронных ядер

можно ожидать при взаимном смещении нейтронной и протонной материи в составе ядра. Такое возможно при вынужденном делении тяжелых стабильных ядер [2, 3], ядерной фрагментации [4] и ударной радиоактивности [5, 6].

Наиболее эффективным способом получения нейтронных ядер можно считать деформацию протонного радиуса (размера) тяжелого ядра, что способствует обособлению нейтронной материи в составе обычного нейтронно-избыточного ядра. Для этого нужны ядра с большим отношением N/Z . Есть два способа увеличить N/Z . Первый предполагает получение легких ядер с большим избытком нейтронов. Эти ядра получают облучением нейтронами. Другой путь связан с использованием тяжелых ядер. (Для наблюдения ударной радиоактивности и нейтронных ядер представляет интерес исследование материалов, более тяжелых, чем железо и никель.) В составе устойчивых тяжелых ядер, не перегруженных нейтронами, достаточно нейтронов для образования нейтронного ядра. Нейтронная материя обособливается в тяжелом или среднем ядре за счет внешнего воздействия на него адронами (посредством ядерной реакции), электромагнитного воздействия, высокого давления (столкновения макрообъектов на высоких скоростях) и др. Затем от ядра спонтанно отделяется относительно небольшое нейтронное ядро. С точки зрения возможности практической реализации такой путь наиболее перспективен. Чем больше размер ядра, тем легче сформировать область нейтронной материи в ядре. Далее необходимо создать условия для взаимного сдвига протонной и нейтронной материи в составе ядра.

В ядерных реакциях возбуждается гигантский дипольный резонанс, сдвигающий протоны относительно нейтронов. В конце 1940-х гг. исследовалось вынужденное деления висмута, свинца, таллия, платины и тантала нейтронами кинетической энергии до 100 МэВ, дейтронами (200 МэВ) и ионами гелия (400 МэВ). При ударной радиоактивности (коллективных радиоактивных распадов атомных ядер, инициированных внешним механическим воздействием) деформируется (сплющивается) протонная материя. Исследовались столкновения металлов на скоростях около 1 км/с. Наиболее информативен анализ результатов столкновения висмута-209 (полуметалл) со сталью.

В обоих способах в ядрах образуется область нейтронной материи и при определенных условиях наблюдаются устойчивые в течение длительного времени группы испаряющихся квазисвободных нейтронов (квазиядро), из которых успевает сформироваться нейтронное ядро. Из нейтронного ядра образуется обычное атомное ядро, состоящее из протонов и нейтронов, окруженное электронным облаком.

Квазиядро представляет собой группу нейтронов, удерживаемую силами взаимного ядерного притяжения этих нейтронов и тяжелого фрагмента, оставшегося от разделившегося ядра (в исследованиях [2-5] использовался ^{209}Bi). Эта обособленная группа нейтронов испускается за время ядерного

взаимодействия (с небольшой задержкой за счет электромагнитного взаимодействия). По существу, это уже самостоятельная ядерная структура – нейтронное ядро, не рассыпающееся (!) на отдельные нейтроны. Для повышения устойчивости ядра энергетически выгоден переход части нейтронов в протоны посредством изменения проекции изотопического спина одного из d -кварков в составе нескольких нейтронов. Процесс реализуется за счет энергии симметрии ядра: тенденции к стабильности ядер с одинаковым числом нейтронов и протонов. Действие энергии симметрии говорит о самостоятельности нейтронного ядра, об отсутствии его связи (ядерными силами взаимного притяжения) с материнским ядром. При вынужденном делении свинца и висмута авторы [2-4] говорят об испарении 10...12 нейтронов. Если число квазисвободных нейтронов 11, то трансмутация пяти нейтронов в протоны соответствует образованию ядра ^{11}B , шести – ^{11}C (распадающегося в ^{11}B) вблизи тяжелого фрагмента, оставшегося от ^{209}Bi . Оставшийся от ядра ^{209}Bi тяжелый кластер (^{198}Bi) распадается посредством слабого взаимодействия в ^{198}Pt . Окончательно получаем: $^{209}\text{Bi} \rightarrow ^{198}\text{Pt} + ^{11}\text{B}$ [5]. Характерное время слабого взаимодействия (которое и определяет время жизни нейтронного ядра) на много порядков превышает время ядерного и электромагнитного взаимодействий. Значит, по формальным признакам нейтронное ядро существует.

В реакциях вынужденного деления стабильных ядер увеличение скорости частицы, инициирующее деление, ведет к уменьшению вероятности рождения нейтронного ядра. Деление происходит без образования нейтронного ядра. При ударной радиоактивности увеличение скорости столкновения макрообъектов также ведет к уменьшению вероятности рождения нейтронного ядра. Происходят распады по разным каналам, в том числе кластерный распад $^{209}\text{Bi} \rightarrow ^{198}\text{Pt} + ^{11}\text{B}$, где ядро бора образуется не из нейтронного ядра, а сразу в процессе распада ^{209}Bi .

Наиболее доступным способом получения чистой нейтронной материи в форме нейтронных ядер можно считать столкновение макрообъектов на скоростях ~ 1 км/с, при которых реализуется ударная радиоактивность. При этом важно, чтобы скорость столкновения не превышала критическую, соответствующую кулоновскому взрыву металла [6].

Время жизни нейтронных ядер, полученных таким способом, определяется слабым взаимодействием (одновременными множественными β^- -распадами нейтронов в составе нейтронного ядра). В результате характерное время жизни нейтронного ядра на много порядков превышает время сильного взаимодействия. Нейтронное ядро не испускает нейтроны. Это характерно только для существующих ядер.

Список литературы

1. Horowitz C.J., Ahmed Z., Jen C.-M., et al. Weak charge form factor and radius of ^{208}Pb through parity violation in electron scattering // Phys. Rev. C 85, 032501(R) (2012), <https://doi.org/10.48550/arXiv.1202.1468>.

2. Serber R. Nuclear reactions at high energies // Phys. Rev. 1947. Vol. 72. P. 1114.
3. Goeckermann R.H., Perlman I. High Energy Induced Fission of Bismuth and Lead // Phys. Rev. 1949. Vol. 78. P. 629.
4. Перфилов Н.А., Ложкин О.В., Шамов В.П. Процессы фрагментации и деления при взаимодействии частиц высоких энергий с ядрами // Успехи физических наук. 1960. Т. LXX. Вып. 1. С. 3-56.
5. Marakhtanov M.K., Okunev V.S. Physics of the transmutation of stable elements at the collision of macro-objects with regard to high speeds // Phys.: Conf. Ser. 1115 (2018) 052020. doi: 10.1088/1742-6596/1115/5/052020.
6. Окунев В.С. Ударная радиоактивность и нейтронные ядра / под ред. А.Н. Морозова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2021. 312 с.

References

1. Horowitz C.J., Ahmed Z., Jen C.-M., et al. Weak charge form factor and radius of ^{208}Pb through parity violation in electron scattering // Phys. Rev. C 85, 032501(R) (2012), <https://doi.org/10.48550/arXiv.1202.1468>.
2. Serber R. Nuclear reactions at high energies // Phys. Rev. 1947. Vol. 72. P. 1114.
3. Goeckermann R.H., Perlman I. High Energy Induced Fission of Bismuth and Lead // Phys. Rev. 1949. Vol. 78. P. 629.
4. Perfilov N.A., Lozhkin O.V., Shamov V.P. Processes of fragmentation and fission during the interaction of high-energy particles with nuclei // Successes of physical sciences. 1960. Vol. LXX. Is. 1. Pp. 3–56.
5. Marakhtanov M.K., Okunev V.S. Physics of the transmutation of stable elements at the collision of macro-objects with regard to high speeds // Phys.: Conf. Ser. 1115 (2018) 052020. doi: 10.1088/1742-6596/1115/5/052020.
6. Okunev V.S. Impact radioactivity and neutron nuclei / ed. A.N. Morozov. Moscow: Publ> house of BMSTU, 2021. 312 p.

Окунев Вячеслав Сергеевич – кандидат
технических наук, доцент кафедры
физики
okunevvs@bmstu.ru

Okunev Viacheslav Sergeevich – candidate of
technical sciences, associate professor of the
Department of Physics

Received 24.07.2022