

На правах рукописи

Сушенок Евгений Олегович

**Описание бета-распадных характеристик
нейтронно-избыточных ядер с учетом тензорного
нуклон-нуклонного взаимодействия**

Специальность: 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна – 2018

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики имени Н. Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель: **Северюхин Алексей Павлович**
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник ЛТФ ОИЯИ

Официальные оппоненты: **Камерджиев Сергей Павлович**
доктор физико-математических наук, профессор,
старший научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт»

Ефимов Александр Дмитриевич
кандидат физико-математических наук, доцент,
старший научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Защита состоится _____ 2019 г. в _____ на заседании диссертационного совета Д 720.001.01 при Объединенном институте ядерных исследований (Лаборатория теоретической физики) по адресу: 141980, г. Дубна, Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Объединенного института ядерных исследований (http://wwwinfo.jinr.ru/announce_disser.htm).

Автореферат разослан «_____» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 720.001.01, к. ф.-м. н.

Быстрицкий Юрий Михайлович

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Исследования структуры нейтронно-избыточных ядер представляют одно из наиболее актуальных направлений ядерной физики низких энергий. Сильная нейтрон-протонная асимметрия ядра, перегруженного нейтронами, может приводить к появлению новых подоболочек и даже к изменению магических чисел, что сказывается на его бета-распадных свойствах. Эффекты перестройки оболочек представляют огромный интерес для современных программ экспериментальных исследований бета-распада и запаздывающей нейтронной эмиссии ядер, расположенных в областях ядерной карты, близких к предполагаемым траекториям астрофизического процесса быстрого нуклеосинтеза (r -процесса). Эти исследования, прежде всего, призваны уточнить наши представления о характеристиках бета-распада ядер вблизи нейтронных оболочек $N = 50, 82, 126$. Они в значительной степени ответственны за пики в кривой распространенности элементов $A = 80, 130, 195$, известные из наблюдательных данных по метеоритам и звездам с пониженным отношением Fe/H (low-metallicity stars). Интерес к нуклидам вблизи оболочек $Z = 28, N = 50$, кроме традиционных исследований дважды магического ядра ${}^{78}\text{Ni}$, обусловлен также представлениями о возможном существовании так называемого слабого r -процесса, ответственного за образование элементов в области пика $A = 80$. Его механизм отличается от “основного” r -процесса, реализующегося для нуклидов $A > 120$. Поскольку проблема возможных сценариев r -процесса пока далека от своего разрешения, уточнение бета-распадных данных в этой области ядерной карты весьма актуально. Фундаментальный аспект проблемы связан с изучением эволюции структуры ядра в экспериментально недоступной области ядер, что требует развития самосогласованных подходов с использованием реалистичного эффективного взаимодействия нуклонов.

Одним из основных подходов при описании коллективных возбуждений является приближение случайных фаз (ПСФ). В рамках ПСФ волновые функции однофоновых состояний являются суперпозицией двухквaziчастичных конфигураций. Рассматривая только однофоновые возбуждения, удается получить достаточно точное и физически ясное описание возбуждений при низких, промежуточных и высоких энергиях в четно-четных ядрах. Очень популярным в последнее время стало описывать зарядово-обменные ядерные возбуждения и бета-распадные свойства ядер с помощью квазичастичного ПСФ с нерелятивистскими эффективными двухчастичными силами или силами, полученными из релятивистских лагранжианов. Такие расчеты не требуют введения новых параметров, так как остаточное взаимодействие получено самосогласованным образом с тем же самым функционалом плотности энергии как и среднее поле. Следует отметить предсказания в теории конечных ферми-систем зарядово-обменных состояний, так называемых пигми-резонансов, расположенных ниже

гигантского гамов-теллеровского (ΓT) резонанса.

Современные экспериментальные исследования, выполненные с помощью изучения реакции (n, p) и (p, n) , обнаружили дополнительную суммарную силу ΓT -переходов при энергиях выше ΓT -резонанса. Это помогает объяснить расхождения между экспериментальными данными и теоретическими оценками, сделанными в однофононном приближении квазичастичного ПСФ. Для правильного описания фрагментации силы ΓT -переходов необходимо принять во внимание более сложные конфигурации. Также важный вклад дает учет тензорного нуклон-нуклонного взаимодействия. Выбор параметров тензорной части взаимодействия Скирма является актуальной проблемой с середины 70-х годов и до сих пор. Роль изоскалярных и изовекторных членов тензорного взаимодействия была детально проанализирована при описании свойств основного состояния дважды магических ядер. При этом параметры центрального и тензорного взаимодействия фитировались самосогласованным образом. Эти параметризации взаимодействия Скирма активно используются в расчетах зарядово-обменных мод ядерных возбуждений.

Учет связи между простыми и сложными конфигурациями приводит к быстрому увеличению размеров конфигурационного пространства. Сепарабельная аппроксимация остаточного взаимодействия позволяет обойти эту трудность. В рамках этого подхода остаточное взаимодействие представляется в виде сил Ландау—Мигдала, где параметры Ландау выражаются через параметры сил Скирма. Используя квадратурную формулу Гауссова типа для N точек, можно остаточное взаимодействие свести к сумме из N сепарабельных членов. Таким образом, среднее поле получается самосогласованным образом в приближении Хартри—Фока (ХФ) с силами Скирма, а уравнения ПСФ решаются с сепарабельным остаточным взаимодействием. Результаты, полученные с сепарабельным приближением для сил Скирма, очень близки к результатам расчётов с полным взаимодействием Скирма. Этот подход был обобщен на случай учета спаривания и эффектов связи между одно- и двухфононными компонентами волновых функций возбужденных состояний. Применимость сепарабельной аппроксимации частично-дырочного взаимодействия Скирма была также применена для описания гамов-теллеровских и спин-дипольных зарядово-обменных состояний. Так же как и в квазичастично-фононной модели, можно ввести зарядово-обменные фононы и учесть связь с 4-квазичастичными конфигурациями. Учет связи сложных конфигураций не требует введения новых параметров.

В рамках этого подхода было показано, что включение тензорного взаимодействия и учет двухфононных конфигураций ведет к заметному ускорению бета-распада нейтронно-избыточных ядер. Следует отметить, что среди двухфононных конфигураций основной вклад в расчете периода дает конфигурация $[1_1^+ \otimes 2_1^+]$, так как состояние 2_1^+ родительского ядра является нижайшим коллективным возбуждением,

что приводит к наибольшей фрагментации силы ГТ-переходов в окне бета-распада. Таким образом, возникла необходимость в применении подхода, учитывающего тензорное взаимодействие, к описанию многообразия бета-распадных характеристик в широком интервале энергий возбуждений дочернего ядра. При исследовании эволюции периодов нейтронно-избыточных ядер вполне естественно учесть спин-изоспиновое взаимодействие в канале частица-частица.

Целью диссертационной работы является изучение влияния совокупности эффектов центрального и тензорного спин-изоспинового нуклон-нуклонного взаимодействия на характеристики бета-распада нейтронно-избыточных ядер, таких как период полураспада и вероятность эмиссии запаздывающих нейтронов.

Были поставлены следующие **задачи**:

1. Из 36 параметризаций сил Скирма, включающих различный вклад тензорного взаимодействия, отобрать те, которые обеспечивают правильное описание гамов-теллеровского резонанса и свойств бета-распада дважды магического нейтронно-избыточного ядра ^{132}Sn . При этом проверить описание свойств нижайшего квадрупольного возбуждения.
2. Учесть эффект блокировки неспаренных нуклонов при описании энергии отрыва нейтронов и энергосодержания бета-распада нейтронно-избыточных ядер.
3. В рамках сепарабельной аппроксимации сил Скирма, включающих тензорное взаимодействие, обобщить уравнения квазичастичного приближения случайных фаз для зарядово-обменных мод ядерных возбуждений на случай включения канала частица-частица.
4. Исследовать взаимосвязь эффектов тензорного взаимодействия в канале частица-дырка и спин-изоспинового взаимодействия в канале частица-частица на свойства бета-распада нейтронно-избыточных ядер вблизи нейтронных оболочек $N = 50$ и $N = 82$.

Положения, выносимые на защиту:

1. В рамках сепарабельной аппроксимации сил Скирма уравнения квазичастичного приближения случайных фаз для зарядово-обменных мод ядерных возбуждений обобщены на случай включения остаточного взаимодействия в канале частица-частица.
2. На основе экспериментального энергосодержания и периода бета-распада дважды магического ядра ^{132}Sn произведен выбор оптимальных параметризаций сил Скирма с различным вкладом тензорного взаимодействия и достаточно сильным

отталкивающим центральным спин-изоспиновым взаимодействием ($G'_0 \geq 0.1$), необходимого для правильного описания гамов-теллеровского резонанса.

3. За счет учета эффекта блокировки неспаренных нуклонов улучшено описание энергоделения бета-распада нейтронно-избыточных ядер и энергии отрыва нейтронов дочерних ядер.
4. Показано, что при ослаблении нейтрон-протонной части тензорного взаимодействия относительно нейтрон-нейтронной и протон-протонной составляющих тензорных сил усиливается роль остаточного взаимодействия в канале частица-частица при описании эмиссии запаздывающих нейтронов, сопутствующей бета-распаду нейтронно-избыточных ядер с открытыми оболочками.

Научная новизна:

С помощью подхода, основанном на квазичастичном приближении случайных фаз с эффективным нуклон-нуклонным взаимодействием Скирма, исследованы бета-распадные характеристики нейтронно-избыточных средних и тяжелых сферических ядер вблизи нейтронных оболочек $N = 50, 82$.

1. Впервые изучено влияние учета и тензорного взаимодействия в канале частица-дырка, и спин-изоспинового взаимодействия в канале частица-частица на описание вероятности эмиссии запаздывающих нейтронов. При этом проверяется правильность описания периода полураспада, свойства нижайшего квадрупольного возбуждения и наличие сферической симметрии атомного ядра в основном состоянии.
2. Установлено, что учет эффекта блокировки неспаренных нуклонов при расчете энергий связи нечетно-нечетных и нечетно-четных ядер улучшает описание энергоделения бета-распада нейтронно-избыточных ядер. На примере $^{74,76,78,80}\text{Ni}$ показано, что учет эффекта блокировки приводит к правильному описанию энергоделения и энергий отрыва нейтронов в дочерних ядрах.

Научная и практическая значимость:

Экспериментальные данные по бета-распадным характеристикам и эмиссии запаздывающих нейтронов зачастую являются единственным источником информации о распределении силы переходов Гамова—Теллера при изучении свойств нейтронно-избыточных ядер вблизи нейтронных оболочек $N = 50, 82$. Благодаря одновременному учету вкладов эффектов центрального и тензорного спин-изоспинового взаимодействий, показано, что при описании вероятности эмиссии нейтронов важно влияние тензорного взаимодействия. Расчеты выполнены при условии, что атомные ядра в исследуемой области ядерной карты обладают равновесной сферической симметрией.

При этом показано, что изменение нейтрон-протонного тензорного взаимодействия не нарушает это ограничение. Результаты диссертации могут применяться в исследованиях свойств спектра возбуждений в нейтронно-избыточных ядрах, удаленных от линии бета-стабильности.

Степень достоверности полученных результатов подтверждена удовлетворительным описанием экспериментальных данных по бета-распадным характеристикам атомных ядер из разных областей ядерной карты с помощью одного набора параметров в рамках приближения случайных фаз с самосогласованным средним полем, полученным с использованием взаимодействия Скирма, которое является одним из успешных методов изучения структуры ядра. Наши результаты, полученные в рамках данного метода, находятся в согласии с результатами работ других авторов.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, были представлены на международных конференциях и совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Москва 2013, Минск 2014, С.-Петербург 2015), международных научных конференциях молодых ученых и специалистов (Дубна 2014–2018), сессиях программно-консультативного комитета по ядерной физике (Дубна 2015–2017), Научной сессии НИЯУ МИФИ (Москва 2015), международной конференции “Проблемы математической и теоретической физики и математическое моделирование” (Москва 2016), международном семинаре по ядерной физике ЛТФ-KLFTP (Дубна 2016), международной конференции по ядерной физике (Закопане 2016, 2018), международной конференции по физике частиц и астрофизике (Москва 2017), Гельмгольцовой международной школе “Теория ядра и астрофизические приложения” (Дубна 2017).

Личный вклад:

1. Автор обобщил уравнения квазичастичного приближения случайных фаз для зарядово-обменных мод ядерных возбуждений на случай включения канала частица-частица.
2. Автор усовершенствовал программный код, реализующий это обобщение, и разработал код для расчета энерговыделения бета-распада с учетом эффекта блокировки неспаренных нуклонов.
3. Автор выполнил численные расчеты и интерпретировал их результаты, участвовал в написании научных статей на основе полученных результатов.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 9 работах, из них 6 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, 3 статьи в зарегистрированных научных электронных изданиях.

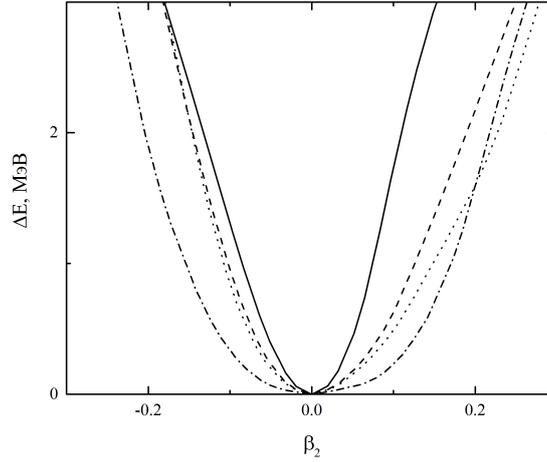


Рис. 1. Зависимость энергии деформации нейтронно-избыточных изотопов никеля от безразмерного параметра квадрупольной деформации. Для каждого рассмотренного изотопа ^{74}Ni , ^{76}Ni , ^{78}Ni и ^{80}Ni кривые обозначены пунктирной, штриховой, сплошной и штрих-пунктирной линией соответственно.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность исследования, дан обзор научной литературы по изучаемой проблеме, поставлены цель и задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость представляемой работы.

Первая глава посвящена изучению свойств основного состояния родительского и дочернего атомных ядер процесса бета-распада. Приведены уравнения Хартри—Фока с взаимодействием Скирма, включающим тензорные силы. При этом потенциал спин-орбитального взаимодействия имеет следующий вид:

$$U_{\text{SO}}^{(q)} = \frac{W_0}{2r} \left(2 \frac{d\rho_q}{dr} + \frac{d\rho_{q'}}{dr} \right) + \left(\alpha \frac{J_q}{r} + \beta \frac{J_{q'}}{r} \right), \quad (1)$$

где ρ_q и J_q ($q = n, p$) — нуклонные и спин-орбитальные плотности соответственно, а α и β содержат вклады центральных и тензорных сил. Спектр одночастичных состояний с учётом континуума определяется диагонализацией гамильтониана Хартри—Фока на базисе собственных функций гармонического осциллятора. Нейтронно-избыточные ядра в изучаемой области ядерной карты обладают равновесной сферической симметрией (см. рисунок 1).

Нейтрон-нейтронные и протон-протонные парные корреляции описываются зависящими от плотности контактными силами. Эффективное нейтрон-протонное взаимодействие в канале частица—частица выбрано в той же форме. Спаривание трактуется

в приближении Бардина—Купера—Шриффера. Стоит отметить, что изучаются свойства основного состояния ядер с сильной нейтрон-протонной асимметрией, поэтому нейтрон-протонным взаимодействием можно пренебречь в этом приближении. При описании нечетных систем нуклонов учитывается влияние неспаренных частиц на сверхтекучие свойства основного состояния ядра:

$$\Delta_j = \frac{1}{2} \sum_{j' \neq j_2} V_{jj'} \frac{(2j' + 1)\Delta_{j'}}{\sqrt{\Delta_{j'}^2 + (E_{j'} - \lambda)^2}} + \frac{1}{2} V_{jj_2} \frac{(2j_2 - 1)\Delta_{j_2}}{\sqrt{\Delta_{j_2}^2 + (E_{j_2} - \lambda)^2}}, \quad (2)$$

где $V_{jj'}$ обозначают матричные элементы спаривательного потенциала, λ — химические потенциалы соответствующей системы нуклонов (нейтронов или протонов). Квантовые числа $j_2 = \{n_2 l_2 j_2 m_2\}$ описывают состояние около поверхности Ферми, на котором находится неспаренный нуклон и которое должно быть заблокировано. Идеи такого подхода были высказаны в конце 50-х годов в работах В.Г. Соловьева.

Точность расчета энергосвободы бета-распада нейтронно-избыточного ядра (Q_β) и энергии отрыва нейтрона в дочернем ядре (S_n) определяет достоверность предсказания периода полураспада и вероятности эмиссии запаздывающих нейтронов. За счёт учёта эффекта блокировки неспаренных нуклонов улучшено описание энергосвободы бета-распада нейтронно-избыточных ядер и энергии отрыва нейтронов дочерних ядер. Роль этого эффекта при описании энергосвободы бета-распада продемонстрирована на рисунке 2 и при этом вклад составляет не более, чем 1 МэВ в случае изотопов $^{74-80}\text{Ni}$.

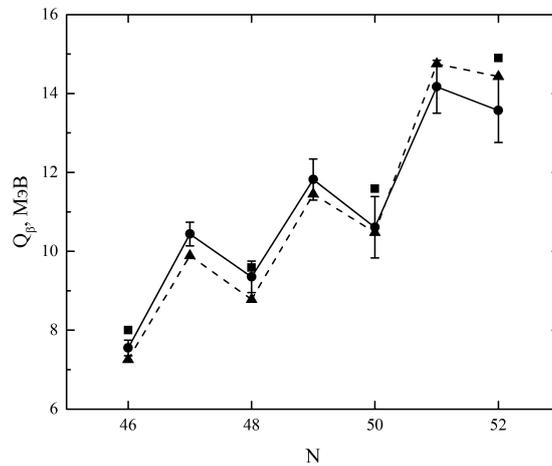


Рис. 2. Энергосвободы процесса бета-распада $^{74-80}\text{Ni}$, рассчитанные с учетом эффекта блокировки (▲) и без учета эффекта блокировки (■). Приведено сравнение с экспериментальными данными (●).

На базе параметризаций сил Скимы с различным вкладом нейтрон-протонного тензорного взаимодействия выполнен анализ характеристик основных состояний родительского и дочернего ядер вблизи заполнения нейтронных оболочек $N = 50, 82$.

Для решения поставленной задачи выбраны две параметризации: T43 и T45, которые соответствуют сильным ($\beta/\alpha = 2.0$) и сравнительно слабым ($\beta/\alpha = 0.7$) нейтрон-протонным тензорным взаимодействиям (относительно нейтрон-нейтронных и протон-протонных тензорных сил). На примере нейтронно-избыточных изотопов никеля и кадмия показано, что значения Q_β и S_n , рассчитанные с параметризациями T43, T45, воспроизводят экспериментальную зависимость от числа нейтронов с достаточно хорошей точностью.

Во второй главе изложен подход, основанный на квазичастичном приближении случайных фаз с самосогласованным средним полем, полученным из взаимодействия Скирма. Остаточные взаимодействия в частично-дырочном канале и канале частица-частица могут быть получены как вторые производные функционала плотности энергии по нормальной и парной плотностям нуклонов соответственно. Остаточное взаимодействие представляется в виде суммы сепарабельных членов, что позволяет свести решение системы линейных уравнений к нахождению корней секулярного уравнения. В этой главе уравнения квазичастичного ПСФ для зарядово-обменных мод ядерных возбуждений обобщены на случай учёта остаточного взаимодействия в канале частица-частица. Размерность секулярной матрицы не превосходит $(8N + 4) \times (8N + 4)$ и не зависит от размера конфигурационного пространства. Если не учитывать канал частица-частица, то система уравнений ПСФ упрощается до размерности матрицы $(4N + 4) \times (4N + 4)$. Отключение тензорного взаимодействия позволяет свести размерность матрицы до $4N \times 4N$. Сепарабельная аппроксимация остаточного взаимодействия Скирма даёт возможность проводить расчёты в больших двухквазичастичных пространствах. Для учёта сложных конфигураций волновые функции состояния 1^+ дочернего ядра могут быть записаны в виде суперпозиции членов с различным числом фононных операторов. Учет этой связи не требует введения новых параметров. Здесь также записаны уравнения для нахождения спектров состояний, описываемых этими волновыми функциями. Одновременный учёт тензорных корреляций и эффектов связи с двухфононными конфигурациями позволяет нам не использовать эффективный фактор подавления силы ГТ-переходов. Эта схема расчета применяется для изучения характеристик бета-распада нейтронно-избыточных ядер и последующей мультинейтронной эмиссии.

Период бета-распада нейтронно-избыточных ядер вычисляется как сумма вероятностей энергетически разрешенных ГТ-переходов с весом в виде функции Ферми. В силу различия временных масштабов бета-распада и последующей эмиссии нейтронов мы предполагаем статистическую независимость этих двух процессов. Вероятность эмиссии накладывает дополнительное, наряду с периодом полураспада, условие на бета-силовую функцию: спектральное распределение матричных элементов ГТ-переходов в окне бета-распада.

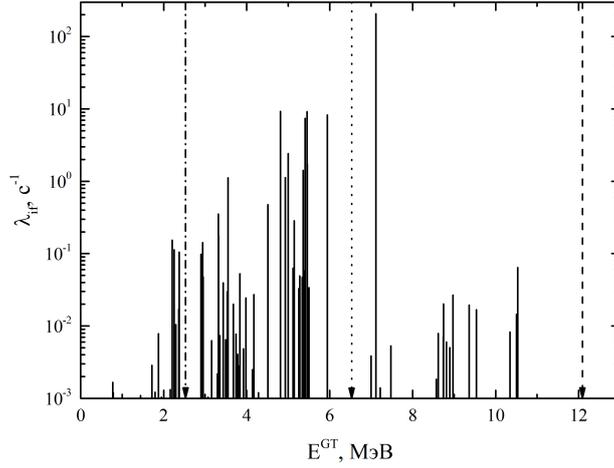


Рис. 3. Скорости бета-распада ^{80}Ni , рассчитанные с взаимодействием Скирма Т43. Штриховой стрелкой обозначена разность энерговыведения Q_β и энергии отрыва одного нейтрона S_n , пунктирной стрелкой — $Q_{\beta 2n}$ и штрих-пунктирной — $Q_{\beta 3n}$

Целью третьей главы является определение роли тензорного взаимодействия при описании бета-распадных свойств нейтронно-избыточных ядер вблизи нейтронных оболочек $N = 50, 82$. При проведении расчетов учитывался одночастичный континуум до 100 МэВ. Такой учет одночастичного континуума позволяет полностью исчерпать правило сумм Икеды, $3(N - Z)$. Для достаточно хорошего описания экспериментального энерговыведения и периода бета-распада дважды магического ядра ^{132}Sn использовались 36 параметризации сил Скирма с различным вкладом тензорного взаимодействия. Критерием отбора также являлось отталкивающее центральное спин-изоспиновое взаимодействие ($G'_0 \geq 0.1$), необходимое для правильного описания гамов-теллеровского резонанса. Параметризации Т43, Т45, Т54, Т55, Т56, Т65, Т66 были выбраны. При этом удаётся описать и свойства нижайшего квадрупольного возбуждения ядра ^{132}Sn .

Таблица 1. Периоды бета-распада $T_{1/2}$ и вероятности эмиссии запаздывающих нейтронов P_n для ядер $^{74,76,78,80}\text{Ni}$, рассчитанные с силами Скирма Т43 и Т45.

Ni	Т43 ($\beta/\alpha = 2$)		Т45 ($\beta/\alpha = 0.7$)		Эксперимент
	$T_{1/2}$,	P_n , %	$T_{1/2}$,	P_n , %	
					$T_{1/2}$, мс
74	40	1	281	3	508 ± 5
76	20	9	162	11	235 ± 3
78	10	12	115	100	122 ± 5
80	4	80	40	0	$24^{+26.0}_{-17.2}$

На примере нейтронно-избыточных изотопов никеля с магическим числом протонов $Z = 28$ продемонстрировано влияние нейтрон-протонного тензорного взаимо-

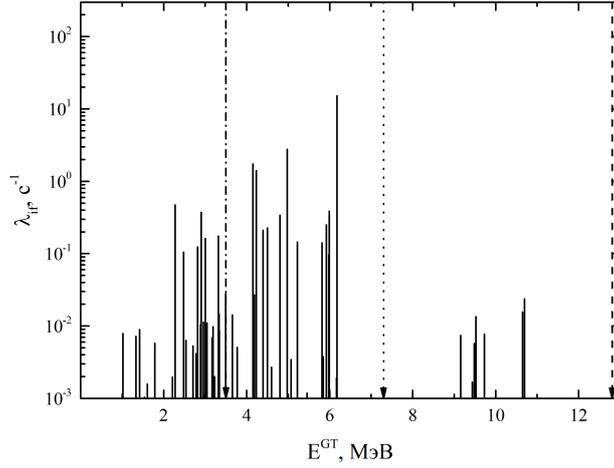


Рис. 4. Скорости бета-распада ^{80}Ni , рассчитанные с взаимодействием Скирма Т45. Штриховой стрелкой обозначена разность энергосвободы Q_β и энергии отрыва одного нейтрона S_n , пунктирной стрелкой — $Q_{\beta 2n}$ и штрих-пунктирной — $Q_{\beta 3n}$.

действия на описание периодов бета-распада и вероятности эмиссии запаздывающих нейтронов (см. таблицу 1). Отметим, что влиянием остаточного взаимодействия в канале частица-частица можно пренебречь в этом случае. Для решения поставленной задачи выбраны снова две параметризации, Т43 и Т45, которые правильно описывают экспериментальные значения Q_β и S_n . Результаты, полученные с взаимодействием Т45, на качественном уровне воспроизводят поведение экспериментально известных периодов $^{74,76,78,80}\text{Ni}$ с увеличением числа нейтронов. Расчеты с силами Скирма Т43, с более сильным нейтрон-протонным тензорным взаимодействием, приводят к увеличению энергии ГТ-переходов и ускорению бета-распада. Расчеты вероятности эмиссии запаздывающего нейтрона, сопутствующей бета-распаду $^{74,76}\text{Ni}$, дают близкие значения P_n как с взаимодействием Т43, так и с Т45. Получено хорошее согласие с экспериментальной вероятностью эмиссии запаздывающего нейтрона $P_n = 14.0 \pm 3.6\%$, в случае бета-распада ^{76}Ni . Так же показано влияние эффектов заполнения новой оболочки сверх $N = 50$. На рисунках 3 и 4 приведены скорости бета-распада ядра ^{80}Ni , рассчитанные с силами Скирма Т43 и Т45 соответственно. Показано, что ослабление нейтрон-протонного тензорного взаимодействия (см. рисунок 4) приводит к сильному сдвигу спектра энергий ГТ-переходов в низкоэнергетическую область. Таким образом, наши расчеты с взаимодействием Т45 предсказывают высокую вероятность эмиссии двух запаздывающих нейтронов, сопутствующей бета-распаду ^{80}Ni , тогда как в случае сил Скирма Т43 более вероятна однонейтронная эмиссия (см. таблицу 1). Такое расхождение в результатах расчетов объясняется сильной чувствительностью вероятности эмиссии запаздывающих нейтронов к свойствам бета-силовой функции.

Роль канала частица-частица при описании свойств бета-распада нейтронно-

Таблица 2. Эффект учета канала частица-частица на периоды бета-распада ($T_{1/2}$) и вероятности эмиссии запаздывающих нейтронов (P_{1n}, P_{2n}) в изотопах кадмия. Расчеты выполнены без учета остаточного взаимодействия (I) и с учетом остаточного взаимодействия (II) в канале частица-частица. Экспериментальные значения вероятности эмиссии $P_{n,tot} = 3.5 \pm 1.0 \%$ и $P_{n,tot} = 60 \pm 15 \%$ в случае бета-распада ^{130}Cd и ^{132}Cd соответственно.

	I			II			Экспт.
	$T_{1/2}$, мс	P_{1n} , %	P_{2n} , %	$T_{1/2}$, мс	P_{1n} , %	P_{2n} , %	$T_{1/2}$, мс
^{126}Cd	265	< 0.1	–	166	< 0.1	–	513 ± 6
^{128}Cd	181	7.1	–	123	3.7	–	245 ± 5
^{130}Cd	121	13.5	–	88	10.5	–	127 ± 2
^{132}Cd	38	74.8	25.2	29	82.0	18.0	82 ± 4

избыточных ядер показана на примере изотопов кадмия с числом протонов $Z = 48$. В этом случае вкладом остаточного взаимодействия в канале частица-частица пренебречь нельзя (см. таблицу 2). Периоды бета-распада $^{126,128,130,132}\text{Cd}$ рассчитаны без учета и с учетом остаточного взаимодействия в канале частица-частица. Показано, что на качественном уровне, результаты расчетов описывают экспериментальную эволюцию периодов бета-распада. При этом предельное усиление эффективного нейтрон-протонного взаимодействия в канале частица-частица приводит к уменьшению периода бета-распада ^{130}Cd до $T_{1/2} = 74$ мс. Эти расчеты выполнены с взаимодействием Скирма Т43 в канале частица-дырка. Ослабление нейтрон-протонного тензорного взаимодействия в случае сил Скирма Т45 не влияет на характер данной зависимости.

Как показано в таблице 2 максимальное влияние канала частица-частица найдено при описании вероятности эмиссии запаздывающих нейтронов в случае бета-распада ядра ^{132}Cd . Установлено, что ослабление нейтрон-протонного тензорного взаимодействия (в случае сил Скирма Т45) приводит к заметному уменьшению вероятности эмиссии двух запаздывающих нейтронов по сравнению с расчётами, выполненными с взаимодействием Т43. Таким образом продемонстрировано, что при ослаблении нейтрон-протонного тензорного взаимодействия усиливается влияние эффективного спин-изоспинового взаимодействия в канале частица-частица на бета-распадные характеристики нейтронно-избыточных ядер.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации, соответствующие положениям, выносимым на защиту.

Основная часть результатов диссертации получена в рамках гранта РНФ №16-12-10161.

Результаты диссертации опубликованы в работах.

1. *Сушенок Е. О., Северюхин А. П.* Тензорные корреляции и период β -распада ^{132}Sn . // Письма в ЭЧАЯ. — 2015. — Т. 12. — № 4. — С. 781.
2. *Северюхин А. П., Сушенок Е. О.* Влияние сложных конфигураций на описание свойств β -распада ^{132}Sn . // Ядерная физика. — 2015. — Т. 78. — № 7-8. — С. 725.
3. *Sushenok E. O., Severyukhin A. P.* The blocking effect on the β -decay properties of the neutron-rich Ni isotopes. // Acta Physica Polonica B. — 2017. — Vol. 48. — No. 3. — P. 533.
4. *Sushenok E. O., Severyukhin A. P.* The effect of the unpaired nucleons on the β -decay properties of the neutron-rich nuclei. // Journal of Physics: Conference Series — 2017. — Vol. 788. — P. 012046.
5. *Severyukhin A. P., Arsenyev N. N., Borzov I. N., Sushenok E. O.* Multi-neutron emission of Cd isotopes. // Physical Review C. — 2017. — Vol. 95. — P. 034314.
6. *Сушенок Е. О., Северюхин А. П., Арсеньев Н. Н., Борзов И. Н.* Роль тензорного взаимодействия в описании эмиссии запаздывающих нейтронов в нейтронно-избыточных изотопах никеля. // Ядерная физика. — 2018. — Т. 81. — № 1. — С. 17.
7. *Sushenok E. O., Severyukhin A. P., Arsenyev N. N., Borzov I. N.* The impact of the tensor interaction on the β -delayed neutron emission of the neutron-rich Ni isotopes. // European Physical Journal Web of Conference. — 2018. — Vol. 177. — P. 09010.
8. *Сушенок Е. О., Северюхин А. П., Арсеньев Н. Н., Борзов И. Н.* Влияние динамического спаривания на бета-распадные характеристики нейтронно-избыточных ядер. // Ядерная физика. — 2019. — Т. 82. — № 1. В печати.
9. *Sushenok E. O., Severyukhin A. P., Arsenyev N. N., Borzov I. N.* The competition of tensor interaction and neutron-proton pairing in the beta-decay of the neutron-rich isotopes. // Proceedings of The XXII International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists (AYSS-2018). European Physical Journal Web of Conference. — 2019. В печати.