

Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№ 6 • 2014 • НОЯБРЬ–ДЕКАБРЬ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

СОДЕРЖАНИЕ

Обзоры

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Ишханов Б.С., Степанов М.Е., Третьякова Т.Ю. Ядерная спектроскопия изотопов $^{40-48}\text{Ca}$ 3

Физика конденсированного состояния вещества

Волкова О.С., Васильев А.Н., Ховайло В.В. Квантовые основные состояния нитратов меди 23

Статьи

Теоретическая и математическая физика

Дубиковский А.И., Силаев П.К., Тимофеевская О.Д. Об одном возможном способе перенормировки давления Казимира в шаре 34

Эпендиев М.Б. Классическая электродинамика ускоренно движущегося протяженного заряда 40

Никитин Н.В., Сотников В.П., Томс К.С. Зависящие от времени неравенства Белла в форме Вигнера 46

Перепёлкин Е.Е., Иноземцева Н.Г., Репникова Н.П., Садовникова М.Б. Учет эффекта пространственного заряда в гидродинамическом приближении 53

Поляков П.А., Русакова Н.Е., Самухина Ю.В. О новых точных решениях задачи электростатики проводников 57

Боголюбов А.Н., Грушинский А.Н., Мухартова Ю.В., Бельнская О.Е. Математическая модель движения конвективных ячеек в мантии под действием источника на границе мантия–ядро 61

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Владимиров И.Ю., Пахомов Н.И., Шведун В.И., Кубышин Ю.А., Ригла Х.П., Захаров В.В. Квадрупольная линза и магниты вывода компактного разрезного микротрона 70

Радиофизика, электроника, акустика

Кузелев М.В., Хапаева Е.А. К теории электромагнитных взаимодействий релятивистского электронного пучка и плазмы в коаксиальном волноводе во внешнем магнитном поле 75

Оптика и спектроскопия. Лазерная физика

<i>Ворончев Н.В., Данилишин Ш.Л., Халили Ф.Я.</i> Интерферометр Саньяка как гравитационно-волновой детектор третьего поколения	81
--	----

Физика конденсированного состояния вещества

<i>Хунджиа А.Г., Бровкина Е.А., Мельников М.М., Птицын А.Г.</i> Структура самоаккомодационных комплексов мартенситных кристаллов в сплавах с эффектом памяти формы	90
---	----

Биофизика и медицинская физика

<i>Белоусов А.В., Калачев А.А., Осипов А.С.</i> Вычисление дозиметрических характеристик источников для брахитерапии методом Монте-Карло	95
<i>Стовбун С.В., Яковенко Л.В.</i> Физико-химические основы биологической активности и фармакологических свойств противовирусного препарата «Панавир»	101
<i>Твердислов В.А., Яковенко Л.В., Мазуров М.Е., Калюжный И.М.</i> Автоволновая модель образования везикул на поверхности океана	107
<i>Брандт Н.Н., Исмагилов Р.Р., Приезжев А.В., Светлакова А.С., Чикишев А.Ю.</i> Изучение взаимодействия альбумина с наноалмазными пленками методом КР-спектроскопии ...	110

Астрономия, астрофизика и космология

<i>Абдульмянов Т.Р.</i> О механизме формирования тел и роста масс тел Солнечной системы на ранних этапах ее эволюции	115
--	-----

Физика Земли, атмосферы и гидросферы

<i>Чаплина Т.О., Степанова Е.В., Чашечкин Ю.Д.</i> Структурная устойчивость картины переноса несмешивающихся жидкостей в вихревом течении	122
---	-----

Указатель статей и материалов, опубликованных в журнале «Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия» в 2014 г.	128
--	-----

ОБЗОР ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Ядерная спектроскопия изотопов $^{40-48}\text{Ca}$

Б. С. Ишханов^{1,2}, М. Е. Степанов^{1,2,a}, Т. Ю. Третьякова^{2,b}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра общей ядерной физики.

²Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ). Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

E-mail: ^astepanov@depni.sinp.msu.ru, ^btretyakova@dubna.ru

Статья поступила 01.08.2014, подписана в печать 23.08.2014.

Анализируется природа возбужденных состояний изотопов $^{40-48}\text{Ca}$ в области энергий до нуклонного порога. Изотопы $^{40-48}\text{Ca}$ интересны тем, что в них происходит преимущественное заполнение нейтронами оболочки $1f_{7/2}$. Взаимодействие между нейтронами оболочки $1f_{7/2}$ и нуклонами остова $1d_{2s}$ приводит к образованию многочастичных возбужденных состояний с несколькими вакансиями в оболочке $1d_{2s}$. Рассчитаны энергии одночастичных состояний протонов и нейтронов в $^{40-48}\text{Ca}$ методом Хартри–Фока с потенциалом Скинра. Показано, как в этой модели происходит изменение энергии одночастичных состояний, образование магических чисел $N = 20, 28$, изменение зарядовой и нуклонной плотностей ядерной материи в изотопах $^{40-48}\text{Ca}$ с ростом числа нейтронов от 20 до 28. Когерентные взаимодействия нуклонов оболочки $1f_{7/2}$ и остова $1d_{2s}$ проявляются и в области энергии за нуклонным порогом, приводя к конфигурационному и изоспиновому расщеплению гигантского дипольного резонанса.

Ключевые слова: изотопы $^{40-48}\text{Ca}$, спектр возбужденных состояний, метод Хартри–Фока, взаимодействие Скинра, деформация атомных ядер, парное взаимодействие.

УДК: 539.14. PACS: 21.10.-k, 27.40.+z, 21.60.Jz.

Введение

Изучение свойств атомных ядер дает уникальную информацию о трех основных силах природы — сильном, слабом и электромагнитном взаимодействиях. Экспериментально, независимо от различных моделей ядра, эта информация может быть получена исходя из одной из основных характеристик атомного ядра — массы атомного ядра. Изучая массовые распределения цепочек изотопов — ядер, имеющих одинаковое число протонов Z и разное число нейтронов N , — можно определить границы существования атомных ядер с данным Z , определить, является ли атомное ядро стабильным или радиоактивным, определить тип и энергии продуктов радиоактивного распада.

В табл. 1 приведена информация об основных характеристиках изотопов кальция Ca ($Z = 20$). Самым легким известным изотопом является ^{34}Ca , имеющий массовое число $A = 34$. ^{34}Ca находится на границе протонной радиоактивности и распадается с испусканием протона. Изотопы $^{36,37}\text{Ca}$ являются излучателями запаздывающих протонов. В изотопе ^{35}Ca возможны три канала радиоактивного распада: e -захват (ϵ) и e -захват с испусканием одного ϵp и двух протонов $\epsilon 2p$. Изотопы Ca с массовыми числами $A = 38, 39$ и 41 являются β^+ -радиоактивными. Изотопы с массовыми числами $A = 45, 47, 49 - 57$ являются β^- -радиоактивными, изотопы $^{51-53}\text{Ca}$ распадаются с испусканием запаздывающих нейтронов.

Изотоп ^{40}Ca является $2\beta^+$ -радиоактивным ядром с периодом полураспада $T_{1/2} > 3 \cdot 10^{21}$ лет, изотопы

^{46}Ca и ^{48}Ca являются $2\beta^-$ -радиоактивными ядрами с периодами полураспада $T_{1/2} > 0.3 \cdot 10^{16}$ и $5.8 \cdot 10^{22}$ лет соответственно. Так как периоды полураспада изотопов $^{40,46,48}\text{Ca}$ много больше времени существования Солнечной системы, данные изотопы относят к числу стабильных изотопов. Таким образом, стабильными изотопами кальция являются $^{40,42,43,44,46,48}\text{Ca}$. В табл. 1 для них приведено процентное содержание в естественной смеси.

На рис. 1 показаны зависимости удельной энергии связи $\epsilon(N)$, энергии отделения нейтрона $B_n(N)$, двух нейтронов $B_{nn}(N)$, протона $B_p(N)$, двух протонов $B_{pp}(N)$ и α -частицы в изотопах Ca от числа нейтронов N в ядре. В зависимости энергии отделения нейтронов в изотопах Ca отчетливо проявляется четно-нечетный эффект, обусловленный спариванием нейтронов, находящихся на одной подоболочке.

Повышенная стабильность изотопов $^{40,48}\text{Ca}$ ($Z = 20$, $N = 20, 28$) является основанием определить числа 20 и 28 как магические.

Важную роль в формировании структуры атомных ядер играет спин-орбитальное взаимодействие. В работе [5] впервые было показано, что образование магических чисел 28, 50, 82 и 126 объясняется спин-орбитальным расщеплением ядерных состояний $1f_{7/2} - 1f_{5/2}$, $1g_{9/2} - 1g_{7/2}$, $1h_{11/2} - 1h_{9/2}$ и $1i_{13/2} - 1i_{11/2}$. Состояния с орбитальным моментом l расщепляются на два состояния с различной взаимной ориентацией спинового s и орбитального l моментов: $j = l + s$ и $j = l - s$. Уровень с максимальным значением j при данном l опускается