

**Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования Московской области  
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»  
(Университет «Дубна»)  
Факультет естественных и инженерных наук**

## **Кафедра Ядерной физики**

### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ АТОМНЫХ ЯДЕР И ЯДЕРНЫЕ МОДЕЛИ»**

**Для направления 011200.62 Физика**

Дубна, 2010

УМК разработан д.ф.-м.н., профессором Р. В. Джолосом

Протокол заседания кафедры «Ядерная физика»

№ \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой, профессор \_\_\_\_\_ /Ю.Ц. Оганесян/

Декан факультета \_\_\_\_\_ / А.С. Деникин /  
(подпись)

дата

Проректор по учебной работе

С.В. Моржухина

дата

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московской области «Международный университет природы, общества и человека «Дубна»

**(Университет «Дубна»)**  
**Факультет естественных и инженерных наук**  
**Кафедра «Ядерная физика»**

**УТВЕРЖДАЮ**

проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.В. Моржухина

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

## **ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

# **«ТЕОРИЯ АТОМНЫХ ЯДЕР И ЯДЕРНЫЕ МОДЕЛИ»**

по направления **011200.62 Физика**

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: бакалавр

Курс (семестр): 4 курс, 8 семестр

г. Дубна, 2010 г.

Автор программы:

Джолос Р.В., д. ф.-м. н., профессор кафедры «Ядерная физика» \_\_\_\_\_

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и учебным планом по направлению подготовки 011200.62 Физика

Программа рассмотрена на заседании кафедры «Ядерная физика»

Протокол заседания № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой, профессор \_\_\_\_\_ / Оганесян Ю.Ц. /

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета естественных и инженерных наук \_\_\_\_\_ / Деникин А.С. /

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рецензент: \_\_\_\_\_

(ученая степень, ученое звание, Ф.И.О., место работы, должность)

Руководитель библиотечной системы \_\_\_\_\_ / Черепанова В.Г. /  
(подпись) (ФИО)

## Оглавление

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ .....	3
1. Аннотация .....	6
2. Цель и задачи дисциплины .....	7
3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины. ....	7
4. Объём дисциплины и виды учебной работы: .....	7
5. Разделы (темы) дисциплины, содержание и виды занятий .....	7
Содержание разделов дисциплины: .....	8
Практические занятия .....	9
6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины .....	9
Основная литература.....	9
Дополнительная литература:.....	9
Периодические издания: .....	10
Справочные ресурсы и материалы в Интернет: .....	10
Перечень программного обеспечения .....	10
7. Материально-техническое обеспечение дисциплины .....	11
8. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины .....	11
Тесты .....	11
Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы: ..	12
Перечень вопросов для подготовки к экзамену .....	14
9. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.....	14
Методические рекомендации для преподавателей .....	14
Методические рекомендации для студентов.....	15

## 1. Аннотация

### *Место курса в профессиональной подготовке бакалавров*

Дисциплина «Теория атомных ядер и ядерные модели» относится к циклу дисциплин специализации. Курс опирается на знания студентов, приобретенные ранее при изучении курсов «Общая физика (Ядерная физика)», «Квантовая механика», «Математический анализ», «Линейная алгебра». По содержанию данная дисциплина взаимосвязана с изучаемой одновременно дисциплиной специализации «Специальный семинар по физике ядра и ядерным реакциям». Курс обеспечивает студентов теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для описания основных характеристик структуры атомных ядер при нерелятивистских энергиях.

### *Методы обучения (в т.ч. инновационные)*

Преподавание дисциплины «Теория атомных ядер и ядерные модели» предусматривает активное использование следующих методов обучения: мультимедийных презентаций с представлением экспериментальных данных и компьютерных расчетов; в т.ч. инновационных методов: интерактивной работой с базой знаний ЛЯР ОИЯИ по низкоэнергетическим ядерным реакциям – Интернет-сервером “Nuclear Reaction Video”, применением других образовательных Интернет-ресурсов.

### *Требования к студентам*

В качестве входных знаний студенты должны владеть основными законами квантовой физики, знать основные свойства атомных ядер, основные типы ядерных реакций, методы их экспериментального и теоретического исследования.

### *Виды контроля и формы работ студентов:*

контроль освоения текущего материала, итоговый контроль – экзамен.

### *Методика формирования результирующей оценки.*

Для оценки результатов деятельности студента по изучению дисциплины используется четыре показателя:

- участие в аудиторной работе,
- посещение занятий,
- контроль освоения текущего материала,,
- уровень ответов на экзаменационные вопросы.

### *Пояснения автора*

Атомное ядро является достаточно хорошо изученным примером многочастичной системы, и представления и теоретические методы, разработанные для расчета различных характеристик атомных ядер, нашли применение и при изучении других квантовых многочастичных систем, таких как атомные кластеры, квантовые дырки и т.д.. В ходе данного курса студент должен получить представление об экспериментальных методах измерения различных характеристик состояний ядер, усвоить такие понятия как среднее поле ядра, деформация ядер, парные корреляции нуклонов в ядрах, коллективные возбуждения ядер, освоить методы диагонализации гамильтонианов, представляющие различные модели ядра.

При разработке программы особое внимание уделялось тому, чтобы ее содержание было ориентировано на изложение материала с учетом современного состояния теории структуры атомных ядер. При этом студенты получают необходимую подготовку для того, чтобы научиться выполнять простые расчеты различных характеристик ядер. Изложение каждой темы осуществляется так, чтобы была видна связь различных подходов к описанию структуры ядер. В ходе изучения дисциплины студенты получают:

- знания основ теории атомного ядра; основные знания об экспериментальных методах измерения различных величин, характеризующих структуру ядер; основ, существующих моделей ядерной структуры; понятий о форме ядра, среднем поле ядра, парных корреляций нуклонов, ротационных и вибрационных возбуждениях ядер, методе Хартри-Фока-Боголюбова,  $u$ - $v$  преобразовании Боголюбова, приближении хаотических фаз.

- умение применять полученные знания на практике для расчета в рамках общеизвестных методов и моделей теории структуры ядра различных характеристик основных и возбужденных состояний атомных ядер.

## 2. Цель и задачи дисциплины

### Цели освоения дисциплины:

- освоение студентами основных понятий, современных представлений о структуре ядер и методов расчета различных характеристик основных и возбужденных состояний атомных ядер, используемых для описания ядерной структуры;
- получение представления об экспериментальных методах измерения различных характеристик состояний ядер;

### Задачи освоения дисциплины:

- усвоить такие понятия как среднее поле ядра, деформация ядер, парные корреляции нуклонов в ядрах, коллективные возбуждения ядер;
- освоить методы диагонализации гамильтонианов, представляющие различные модели ядра;
- приобрести навыки использования математического аппарата квантовой физики для объяснения свойств атомных ядер.

## 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:** основные экспериментальные свойства и теоретические модели атомных ядер, .

**Уметь:** объяснять наблюдаемые свойства атомных ядер на основе оптимальных теоретических моделей.

**Владеть навыками:** навыками расчета характеристик атомных ядер.

**Приобрести опыт деятельности:** практической работы по интерпретации экспериментальных данных о свойствах атомных ядер, полученных на ускорителях ОИЯИ.

## 4. Объём дисциплины и виды учебной работы:

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
<b>Общая трудоемкость</b>	60	60
<b>Аудиторные занятия:</b>	54	54
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Семинары (С)		
Лабораторные работы (ЛР)		
<b>Самостоятельная работа:</b>	6	6
<b>Вид итогового контроля</b> (зачет, экзамен)		экзамен

## 5. Разделы (темы) дисциплины, содержание и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ	ЛР	Сам. работа
1	Глобальные свойства ядер	4	2		
2	Взаимодействие с электромагнитным полем	2	2		1
3	Нуклон-нуклонные силы	2	2		
4	Модель Ферми-газа	2	2		1
5	Гидродинамическая модель	4	2		1
6	Обобщенная модель ядра	4	2		1
7	Оболочечная модель	10	4		1
8	Микроскопические модели ядра	8	2		1

**Итого: 36 18 6**

## Содержание разделов дисциплины:

### 1. Глобальные свойства ядер

- 1.1 Энергия связи. Формула Бете—Вайцеккера.
- 1.2 Размеры ядер.
- 1.3 Плотность ядер. Поверхность ядра.
- 1.4 Радиоактивность. Альфа- и бета распад. Цепочки радиоактивного распада.

### 2. Взаимодействие с электромагнитным полем

- 2.1 Магнитный дипольный и электрический квадрупольный моменты ядер.
- 2.2 Взаимодействие ядер с электромагнитным полем окружающих электронов атомов и молекул.

### 3. Нуклон-нуклонные силы

- 3.1 Нуклон—нуклонное взаимодействие.
- 3.2 Симметрии.
- 3.3 Влияние ядерной среды.
- 3.4 Эффективные силы.

### 4. Модель Ферми-газа.

- 4.1 Длина свободного пробега нуклонов в ядре.
- 4.2 Концепция среднего поля ядра.
- 4.3 Модель ферми—газа.
- 4.4 Плотность уровней ядра в модели ферми—газа.

### 5. Гидродинамическая модель ядра.

- 5.1. Гидродинамическая модель ядра. Описание поверхности ядра.
- 5.2... Коллективные возбуждения сферических ядер.
- 5.3 Квадрупольные и октупольные колебания.
- 5.4 Фононы. Вибрационные спектры.
- 5.5 Правила сумм для электромагнитных переходов.
- 5.6 Оболочечные эффекты.

### 6. Обобщенная модель ядра

- 6.1 Деформированные ядра. Вращательные возбуждения.
- 6.2 Гамильтониан Бора. Момент инерции.
- 6.3 Аксиальная симметрия.
- 6.4 Асимметричный ротатор.
- 6.5 Модель Давыдова—Филиппова.
- 6.6 Супердеформация.
- 6.7 Периодические орбиты.

### 7. Оболочечная модель ядра

- 7.1 Оболочечная модель ядра. Экспериментальные данные.
- 7.2 Средний потенциал.
- 7.3 Спин—орбитальное взаимодействие.
- 7.4 Оболочечный подход к описанию систем многих частиц.
- 7.5 Новые магические числа.
- 7.6 Оболочечная модель, учитывающая деформацию ядер.
- 7.7 Анизотропный гармонический осциллятор. Гамильтониан Нильссона.
- 7.8 Расчет энергии деформации. Метод Струтинского.
- 7.9 Модель частица—ротатор. SU(3) модель Эллиота.
- 7.10 Модель взаимодействующих бозонов. Динамические симметрии.



## 8. Микроскопические модели ядра

- 8.1 Парные энергии.
- 8.2 Парные корреляции сверхпроводящего типа в ядрах.
- 8.3 Преобразование Боголюбова.
- 8.4 Метод Хартри—Фока.
- 8.5 Приближенное вторичное квантование. Вибрационные возбуждения ядер.

### Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование семинаров (практических занятий)	Кол-во ч.
С1	1	Глобальные свойства ядер.	2
С2	2	Взаимодействие с электромагнитным полем	2
С3	3	Нуклон-нуклонные силы.	2
С4	4	Модель Ферми-газа.	2
С5	5	Гидродинамическая модель ядра	2
С6	6	Обобщенная модель ядра.	2
С7	7	Оболочечная модель сферического ядра	2
С8	7	Оболочечная модель деформированного ядра	2
С9	8	Микроскопические модели ядра.	2

## 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### Основная литература

1. Ишханов Б. С., Капитонов И. М., Юдин Н. П.. "Частицы и атомные ядра", М., Издательство ЛКИ, 2007.
2. Шевелев А. К. Структура ядра / Шевелев Александр Киприянович. - М.: КомКнига, 2006. - 312с.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Том 5, Атомная и ядерная физика. М.-ФИЗМАТЛИТ, 2011
4. Орир Дж. Физика: Полный курс. Примеры, задачи, решения: Учебник / Орир Джей; Пер.с англ.и науч.ред. Ю.Г.Рудого, А.В.Беркова. - М.: КДУ, 2011. - 752с.
4. Широков Ю. М., Юдин Н. П.. Ядерная физика. М.: Наука, 1972.

### Дополнительная литература:

1. Субатомная физика: Вопросы.Задачи.Факты: Учебное пособие / Под.ред.Б.С.Ишханова. - М.: Издательство Московского университета, 1994. - 224с
2. Поликанов С.М. Изомерия формы атомных ядер / Поликанов Сергей Михайлович. - М.: Атомиздат, 1977. - 200с. – 1 шт
3. Калинин Б.Н. Некоторые вопросы теории ядра и ядерных реакций / Калинин Б.Н. - Алматы, 2011. - 202с. – 3 шт
4. Бете Г. Элементарная теория ядра / Бете Г., Моррисон Ф.; Пер.с англ. О.А.Владимировой; Под ред. В.Б.Берестецкого. - М.: Иностранная литература, 1958. - 356с.
5. Валантэн Л. Субатомная физика: ядра и частицы: В 2 т. Т.2 : Дальнейшее развитие / Валантэн Люк; Пер.с фр. Н.Н. Колесникова. - М.: Мир, 1986. - 336с.:
6. Нерсесов Э.А. Основные законы атомной и ядерной физики: Учебное пособие / Нерсесов Эдуард Аристаркесович. - М.: Высшая школа, 1988. - 288с.
7. Ядерная энциклопедия / Авт.и гл.ред. А.А.Ярошинская. - М.: Благотворительный фонд Ярошинской, 1996. - 656с.: ил.
8. Адлер И. Внутри ядра / Адлер Ирвинг; Пер.с англ. Г.А.Васильева,В.А.Кучеряева,Ю.В.Орлова. - М.: Атомиздат, 1968. - 152с.

9. Робертсон Б. Современная физика в прикладных науках / Робертсон Б.; Пер.с англ. под ред. Е.М.Лейкина. - М.: Мир, 1985. - 272с.

### Периодические издания:

1. Ядерная физика / Учредитель: РАН; Гл.ред. Ю.Г. Абов. - М. : Наука. - Журнал, выходит 1 раз в месяц. - Основан в 1965 году.

### Справочные ресурсы и материалы в Интернет:

1. <http://nndc.bnl.gov>
2. <http://nrv.jinr.ru/nrv>
3. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
4. <http://theory.asu.ru/>
- 5.

### Перечень программного обеспечения

База знаний по низкоэнергетическим ядерным реакциям Nuclear Reaction Video / ЛЯР ОИЯИ/ (см. рис. 1,2,3), <http://nrv.jinr.ru/nrv/>

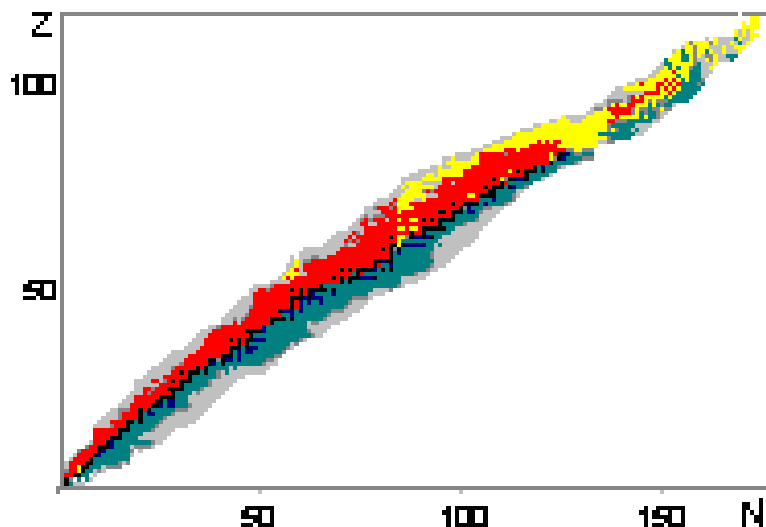


Рис. 1 Карта атомных ядер в базе знаний по низкоэнергетическим ядерным реакциям Nuclear Reaction Video / ЛЯР ОИЯИ /

Nucleus	Binding energy (MeV)			Radius <sup>R,N,R</sup> (fm) & Deformation <sup>D</sup>	
	Experiment [D]	Theory [D]	St. corr. [D]	$r_0^{R,N,R} \cdot 10^2 = 5.4379 \pm 0.0046$ [4]	
<sup>197</sup> <sub>79</sub> Au <sup>118</sup> Gold Z <sub>exp</sub> =32+ T <sub>1/2</sub> =6.34e+9 y Abundance: 100%	Mass Excess -31.157 (25)	-30.810	-5.560	$\beta_{Z^+}$ - 0.131 $\beta_{Z^-}$ - 0.831 $\beta_{N^+}$ - 0.007	
<b>Excited States</b> click on a plot to process it	<b>Known and possible Decays</b>			<b>Q-values (keV)</b>	
855.5 keV 3/2+ 2.67 ps				n - decay 954.40	
730.7 keV 7/2+ 1.09 ps				β <sup>-</sup> - decay -599.66	
583.0 keV 5/2+ 4.01 ps				β <sup>+</sup> - decay -1740.94	
547.5 keV 7/2+ 4.01 ps				e capture -718.94	
522.5 keV 5/2+ 1.77 ps				1p - sep.en. -5703.10	
493.1 keV 11/2- 7.73 s				2p - sep.en. -16842.60	
383.8 keV 5/2+ 18.80 ps				1n - sep.en. -8971.10	
77.3 keV 1/2+ 1.01 ns				2n - sep.en. -14714.00	
0.0 keV 3/2+ 6.34e+9 y				2p <sup>-</sup> - decay -2779.93	
				β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> -7384.96	
	β <sup>-</sup> 2n -16223.56				
	β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> -11707.06				
	β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> -13819.76				
	β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> 897.84				
	β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> -5357.66				
	β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> -8992.93				
	β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> -16845.04				
	β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> β <sup>-</sup> -186.14				

Рис. 2. Пример информации об атомном ядре  $^{197}\text{Au}$  в базе знаний по низкоэнергетическим ядерным реакциям Nuclear Reaction Video / ЛЯР ОИЯИ /

**NRV: Shell model**

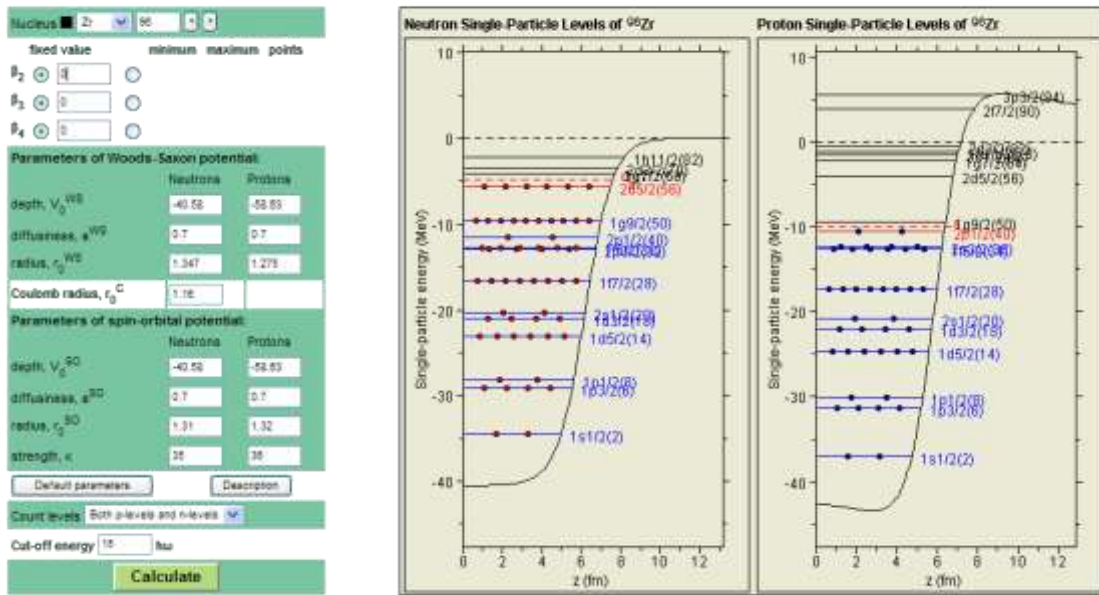


Рис. 3. Пример построения на экране монитора схемы расположения уровней с графиками потенциалов для ядра  $^{96}\text{Zr}$ .

**7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. мультимедийный проектор;
2. иллюстративный материал в форме компьютерных презентаций и образовательных материалов из Интернет;
3. персональные компьютеры или ноутбуки с доступом в Интернет.

**8. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

**Тесты**

В ходе курса проводится тест по теме:

- Т1 - Свойства атомных ядер, модель Ферми-газа и оболочечная модель

**Образец теста по теме**

- «Свойства атомных ядер, модель Ферми-газа и оболочечная модель»

**Вопрос № 1**

Химический потенциал ферми- системы– это...

- 1) скорость протекания химической реакции.
- 2) производная энергии системы по числу частиц;
- 3) электростатический потенциал, создаваемый ядром атомом химического элемента.

**Вопрос № 2**

В каждом квантовом состоянии может находиться фермионов:

- 1) один;
- 2) не более одного;
- 3) не более двух;
- 4) любое количество.

**Вопрос № 3**

В каждом квантовом состоянии может находиться бозонов:

- 1) один;
- 2) не более одного;
- 3) не более двух;
- 4) любое количество.

Вопрос № 4

Плотность состояний квантового ферми-газа ...

- 1) пропорциональна энергии частиц  $E$ ;
- 2) пропорциональна квадратному корню из энергии частиц  $\sqrt{E}$ ;
- 3) не зависит от энергии частиц.

Вопрос № 5

Если уровень Ферми для нейтронов в атомном ядре заметно выше, чем уровень Ферми для протонов, то такое ядро...

- 1) стабильно;
- 2) испытывает бета-распад с испусканием электрона;
- 3) испытывает бета-распад с испусканием позитрона.
- 4) испытывает альфа-распад
- 5) испускает гамма-излучение.

Вопрос № 6

При увеличении значения орбитального квантового числа величина расщепления уровней энергии нуклона с различными значениями числа  $j$ ...

- 1) не изменяются;
- 2) увеличивается;
- 3) уменьшается;

Вопрос № 7

Расстояние до линии стабильности от граничных нейтронной и протонной линий стабильности...

- 1) одинаковы;
- 2) больше для протонной линии;
- 3) больше для нейтронной линии.

Вопрос № 8

Энергия отделения нуклона от атомного ядра больше у ...

- 1) четно-четного ядра;
- 2) нечетно-нечетного ядра;
- 3) четно-нечетного ядра;

Вопрос № 9

Максимальной энергии связи отвечают:

- 1) наиболее легкие ядра, до гелия-4;
- 2) наиболее тяжелые ядра, после свинца;
- 3) средние ядра, в районе железа.

Вопрос № 10

При равенстве остальных квантовых чисел в оболочечной модели сферического ядра...

- 1) уровень с большим  $j$  лежит ниже уровня с меньшим  $j$ ;
- 2) уровень с большим  $j$  лежит выше уровня с меньшим  $j$ ;
- 3) уровень с большим  $j$  совпадает с уровнем с меньшим  $j$ .

## Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:

### 1. Глобальные свойства ядер

- 1.1 Выписать формула, описывающая распределение плотности нуклонов в ядре. Значения радиуса ядра и параметра диффузности
- 1.2 Рассчитать объем ядра, используя для плотности нуклонов формулу Вудса-Саксона.
- 1.3 Используя формулу Бете-Вайцзеккера найти соотношение между числами протонов и нейтронов в ядре для заданного полного числа нуклонов при условии максимума энергии связи.
- 1.4 Закон радиоактивного распада. Среднее время жизни ядра.

- 1.5 В цепочке радиоактивного распада, состоящей из трех ядер, определить как изменяется во времени количество каждого из ядер.

## **2. Взаимодействие с электромагнитным полем**

- 2.1 Выписать формулу для магнитного момента ядра.
- 2.2 Привести формулу для квадрупольного момента ядра.
- 2.3 Получить выражение для Зеемановского расщепления уровней ядра в магнитном поле.
- 2.4 Вывести выражение, описывающее расщепление уровней ядра в электрическом поле, обладающем квадрупольным моментом.

## **3. Нуклон-нуклонные силы**

- 3.1 Каковы следствия трансляционной и ротационной инвариантности для потенциала Взаимодействия нуклонов.
- 3.2 Привести выражение для тензорных сил.
- 3.3 Получить мультипольное разложение для поверхностных дельта-сил.

## **4. Модель Ферми-газа.**

- 4.1 Получить волновые функции нуклонов в модели Ферми газа для сферически Симметричной прямоугольной ямы.
- 4.2 Получить выражение для среднего числа экситонов при заданной температуре ядра.
- 4.3 Установить связь температуры с энергией возбуждения ядра.

## **5. Гидродинамическая модель ядра.**

- 5.1 Получить выражение для радиуса поверхности ядра через параметры формы ядра.
- 5.2 Получить ограничения на значения параметров формы ядра из условия сохранения объема ядра.
- 5.3 Получить ограничения на значения параметров формы ядра из условия сохранения неизменным положения центра ядра.
- 5.4 Установить связь параметров, характеризующих форму ядра в лабораторной и внутренней системах координат.

## **6. Обобщенная модель ядра**

- 6.1 Основываясь на классическом выражении для энергии жидкой капли, совершающей колебания малой амплитуды, получить гамильтониан, используемый при квантовомеханическом рассмотрении вибрационных возбуждений.
- 6.2 Получить выражение для спектра коллективных квадрупольных возбуждений сферического ядра.
- 6.3 Получить выражение для массового коэффициента гамильтониана, описывающего мультипольные колебания формы ядра.
- 6.4 Получить выражение для квадрупольного момента в обобщенной модели ядра.
- 6.5 Получить выражение для спектра ротационных возбуждений деформированного ядра.

## **7. Оболочечная модель ядра**

- 7.1 Выписать гамильтониан оболочечной модели ядра, включающий спин-орбитальное взаимодействие.
- 7.2 Какими квантовыми числами характеризуются одночастичные состояния сферических ядер?
- 7.3 Асимптотические квантовые числа, характеризующие одночастичные состояния в модели Нильссона.
- 7.4 Получить выражение для энергии взаимодействия нуклона с поверхностными колебаниями ядра.

## **8. Микроскопические модели ядра**

- 8.1 Получить выражение для гамильтониана оболочечной модели ядра в представлении вторичного квантования.
- 8.2 Получить выражение для оператора числа частиц через операторы рождения и уничтожения квазичастиц.

- 8.3 Получить выражение для вероятности заселения одночастичного состояния через коэффициенты  $u$ - $v$  преобразования.
- 8.4 Получить выражение для среднеквадратичных флуктуаций числа частиц в модели Бардина-Купера-Шиффера.
- 8.5 Выразить оператор рождения фонона через операторы рождения квазичастиц.
- 8.6 Вычислить коммутатор линейных комбинаций бифермионных операторов, образующих фононные операторы в приближении Тамма-Данкова.
- 8.7 Вывести секулярное уравнение для энергии фонона в приближении Тамма-Данкова.
- 8.8 Вычислить среднее от произведения четырех операторов рождения и уничтожения нуклонов в основном состоянии ядра в приближении Хартри-Фока.

### **Перечень вопросов для подготовки к экзамену**

1. Изоспин. Энергия связи ядер. Насыщение ядерных сил. Плотность и размеры ядер.
2. Стабильность ядер. Формула Бете—Вайцзеккера.
3. Радиоактивный распад ядер.
4. Взаимодействие с электромагнитным излучением. Магнитный дипольный и электрический квадрупольный моменты.
5. Нуклон—нуклонное взаимодействие. Симметрии.
6. Длина свободного пробега нуклона в ядре. Ферми—газ.
7. Плотность ядерных уровней.
8. Модель жидкой капли. Параметризация поверхности ядра.
9. Поверхностные колебания относительно сферически симметричной равновесной формы. Фононы. Квадрупольные и октупольные колебания.
10. Электрические квадрупольные переходы в модели жидкой капли. Правила сумм.
11. Деформированные ядра. Вращательные и колебательные возбуждения.
12. Правила Алага.
13. Асимметричный ротатор. Большие угловые моменты.
14. Оболочечная модель ядра. Магические ядра. Среднее поле. Спин—орбитальные силы. Одночастичная схема уровней.
15. Потенциал гармонического осциллятора. Собственные функции.
16. Деформация. Анизотропный гармонический осциллятор. Квантовые числа. Схема Нильссона.
17. Вторичное квантование. Частичные и дырочные уровни. Основное состояние ядра. Возбужденные состояния.
18. Связь частиц с колебаниями поверхности.
19. Парные корреляции.  $u$ — $v$  преобразование Боголюбова.
20. Двухквазичастичные возбуждения. Энергетическая щель в спектре. Спектры возбуждения нечетных ядер.
21. Микроскопическое описание вибрационных возбуждений. Фононы. Секулярное уравнение.
22. Метод Хартри—Фока.
23. Метод Струтинского.

## **9. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.**

### **Методические рекомендации для преподавателей**

Курс лекций рассчитан на студентов кафедр теоретической физики и экспериментально ядерной физики. Данный курс лекций является одновременно и вводным и базовым при изучении структуры атомных ядер. Освоение этого материала необходимо как для формирования общих представлений о свойствах ядер, так и для последующего более глубокого изучения отдельных разделов ядерной физики. Курс построен так, чтобы после его усвоения студенты могли

самостоятельно более детально знакомиться с имеющимися подходами к описанию структуры ядер и выполнять простые расчеты различных характеристик.

### **Методические рекомендации для студентов.**

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает изучение отдельных разделов тем дисциплины по материалам лекции и рекомендованной литературе.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников.

.