

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Факультет физико-математических и естественных наук

Институт физических исследований и технологий

Рекомендовано МССН

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Рекомендуется для направления подготовки/специальности

03.03.02 «Физика»

Квалификация (степень) выпускника

бакалавр

1. Цели и задачи дисциплины: Главной целью курса является создание у студентов фундаментальной базы знаний по ядерной физике и частицам, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение явлений из этой области в рамках цикла курсов по экспериментальной и теоретической физике и специализированных курсов.

Задачи дисциплины: сформировать у студентов единую, логически непротиворечивую физическую картину процессов в ядерной физике, их проявлений в окружающем нас мире включая астрофизику и практические приложения. Необходимо показать, что создание такой картины происходит поэтапно, путем обобщения экспериментальных данных и построения на их основе моделей наблюдаемых явлений. Дисциплина включает: характерные параметры атомных ядер, явление радиоактивности, типы взаимодействий частиц и свойства ядерных сил, модели атомных ядер, ядерные реакции, характеристики взаимодействия ядерного излучения с веществом, частицы и их взаимодействия (электромагнитное, сильные и слабые взаимодействия), современные астрофизические представления, реакции распада и термоядерные реакции, ускорители частиц для изучения ядерных реакций, структура спектров излучений, ядерный магнитный резонанс и его приложения.

2. Место дисциплины в структуре ООП: Дисциплина «Физика атомного ядра и элементарных частиц» относится к базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.03.02 – Физика, модуль «Общая физика». Изучение дисциплины базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению «Физика»: на модуле «Общая физика», дисциплинах «Электронное строение вещества» профессионального цикла.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	ОПК-1: способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	Дисциплины модулей «Математика», «Общая физика», «Теоретическая физика»	Квантовая теория

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: основные явления и закономерности ядерных процессов, их пространственно-временные параметры, основные теоретические представления и модели физики ядра и частиц, экспериментальные методы исследований этих объектов.

Уметь: решать физические задачи, связанные процессами распада и синтеза ядер, прохождением ядерных излучений через вещество, определением доз облучения и требуемой защиты от него, с анализом спектров излучения возбужденных ядер, использовать при решении задач основные законы, теоретические представления и модели ядерной физики.

Владеть: навыками применения ядерных моделей при интерпретации экспериментальных данных, их обработке, для предсказания возможной динамики систем в ядерной физике, демонстрировать способность проводить физические эксперименты по ядерной физике с использованием закономерностей ядерных процессов, оценивать статистические характеристики ядерных процессов.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы: Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		В	С		
Аудиторные занятия (всего)	45	21	24		
В том числе:					
Лекции	30	14	16		
Практические занятия (ПЗ)					
Семинары (С)	15	7	8		
Лабораторные работы (ЛР)					
Самостоятельная работа (всего)	99	15	84		
В том числе:					
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат					
Другие виды самостоятельной работы					
Самостоятельное решение задач по дисциплине					
Изучение литературы по дисциплине					
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	экзамен				
Общая трудоемкость, час	144	36	108		
зач. ед.	4	1	3		

5. Содержание дисциплины (модуля).

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Статистические свойства атомного ядра. Энергия связи ядра.	Основные характеристики, зеркальные ядра, магические числа, виды ядер, взаимодействия частиц в ядре. Формула Вейцекера, удельная энергия связи и ее зависимость от атомного числа, насыщение ядерных сил, дефект масс, упаковочный коэффициент, энергии симметрии и спаривания, возможные реакции для малых и больших атомных чисел.
2.	Размеры ядер, мультипольные электрические моменты	Основные формулы, характерные размеры и сечения ядер, распределение электрического заряда в ядре, методы определения размеров ядер. Взаимодействие ядер с электрическим полем, определение мультипольных электрических моментов, характерные параметры, зависимость от зарядового числа, влияние на сверхтонкую структуру энергетических уровней ядра.
3.	Спин ядра. Влияние спина ядра на эффект Зеемана	Возможные спины ядер, влияние спина ядра на сверхтонкую структуру спектральных линий, методы определения спинов ядер, магнитный момент ядра и его связь со спином, линия водорода с длиной волны 21 см в космическом излучении. Влияние спина ядра на характеристики эффекта Зеемана, выводы из оболочечной

		модели ядра
4.	Радиоактивность ядер. Ядерные модели. Ядерные реакции.	Виды радиоактивности ядер, законы радиоактивного распада, характерные энергии радиоактивного излучения. Методы обработки данных измерений радиоактивности. Капельная и оболочечная модели ядер, области применимости, физические следствия. Реакции деления и синтеза ядер, характерные энергии, приложения в ядерных реакторах и термоядерных установках.
5.	Четность.	Четность ядер, роль слабых взаимодействий, сохранение четности.
6.	Прохождение заряженных частиц и гамма-квантов через вещество	Модели прохождения заряженных частиц и гамма-квантов через вещество, основные параметры и зависимость потерь от энергии, массы частиц. Детекторы частиц.
7.	Космические лучи. Ускорители частиц.	Первичное и вторичное космические излучения, атмосферные ливни, образование мюонов. Основные виды ускорителей частиц, главные характеристики ускорителей, диапазоны энергий ускоренных частиц, приложения в ядерной физике.

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	Семинары	СРС	Всего час.
1.	Статистические свойства	2	-		1	7	10
2.	Энергия связи ядра.	2	-		1	7	10
3.	Размеры ядер.	2	-		1	7	10
4.	Спин ядра.	2	-		1	7	10
5.	Радиоактивность ядер.	4	-		1	11	16
6.	Ядерные модели.	2	-		1	7	10
7.	Влияние спина ядра на эффект Зеемана.	2	-		1	7	10
8.	Четность.	2	-		1	7	10
9.	Мультипольные электрические моменты	2	-		1	7	10
10.	Прохождение заряженных частиц и гамма-квантов через вещество	4	-		2	11	17
11.	Ядерные реакции	2	-		2	7	11
12.	Космические лучи.	2	-		1	7	10
13.	Ускорители частиц.	2	-		1	7	10
	Итого	30	-		15	99	144

6. Лабораторный практикум – дисциплина Физический практикум по физике атомного ядра и элементарных частиц

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудо-емкость (час.)
1.	5	Статистика регистрации частиц радиационного фона с помощью счетчика Гейгера и овладение навыками обработки результатов измерений	6
2.	10	Взаимодействие альфа-частиц с веществом, определение эффективного сечения взаимодействия гамма-квантов с	8

		веществом ,	
3.	12	Космическое излучение на уровне моря.	4
4.	5	Средняя величина, отклонением от средней величины, дисперсия и стандартное отклонение, гистограммы.	4
5.	10	Ионизационные камеры, пропорциональные счетчики для регистрации радиоактивных излучений.	2

Состав лабораторного практикума

- Первичное космическое излучение: а) спектральный состав; б) химический состав; в) оценка мощности излучения, интенсивности, времени жизни космических лучей.
- Вторичное космическое излучение : а) появление m-компоненты; б) появление e-компоненты; в) угловое распределение излучения; г) интенсивности m-компоненты и e-компоненты.
- Методы регистрации частиц: а) трековые системы; б) ионизационные счетчики (ионизационная камера, пропорциональный счетчик); в) счетчик Гейгера; г) сцинтиллятор; д) фотоумножитель; е) полупроводниковые детекторы.
- Методы обработки данных измерений потоков частиц, рентгеновского и гамма излучений:
 - статистика регистрации частиц, статистические и систематические ошибки измерений;
 - средняя величина, отклонением от средней величины, дисперсия и стандартное отклонение;
 - распределения Пуассона и Гаусса, построение гистограммы распределения по экспериментальной выборке результатов измерений потоков частиц, рентгеновского и гамма излучений.
- Определение эффективного сечения взаимодействия гамма-квантов с веществом методом поглощения.
- Градуировка g-спектрометра на основе измерения с помощью многоканального амплитудного анализатора энергетического спектра конверсионных электронов.

7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)
1.	1.	Статистические свойства	1
2.	2.	Энергия связи ядра.	1
3.	3.	Размеры ядер.	1
4.	4.	Спин ядра.	1
5.	5.	Радиоактивность ядер.	1
6.	6.	Ядерные модели.	1
7.	7.	Влияние спина ядра на эффект Зеемана.	1
8.	8.	Четность.	1
9.	9.	Мультипольные электрические моменты	1
10.	10.	Прохождение заряженных частиц и гамма-квантов через вещество	2
11.	11.	Ядерные реакции	2
12.	12.	Космические лучи.	1
13.	13.	Ускорители частиц.	1

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционный компьютер, компьютерный проектор, электронная доска, аудитория для компьютерного тестирования.

9. Информационное обеспечение дисциплины

базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

телекоммуникационная учебно-информационная система (ТУИС)

Учебный портал РУДН

Научная электронная библиотека РУДН

<http://www.edu.ru/> – федеральный образовательный портал.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/demo/>- кабинет физических демонстраций МГУ.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/ofp/>

<http://www.alpud.ru/>- автоматизированные лабораторные практикумы удаленного доступа.

<http://prac-gw.sinp.msu.ru/atom.htm> - атомный и ядерный практикум МГУ.

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

Основная учебная литература.

- 1) Д.В. Сивухин. Атомная и ядерная физика. М.: Физматлит, изд-во МФТИ, 2002. - 784 с.
- 2) К.Н. Мухин. Введение в ядерную физику. М.: Атомиздат, 1965. - 720 с.
- 3) И.М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц: учебник. М.: Физматлит, 2010.

Дополнительная учебная литература.

- 1) В.М. Гладский, П.И. Самойленко. Сборник задач с решениями. Нижний Новгород: Дрофа, 2002. - 288 с.
- 2) М.А. Михайлов. Ядерная физика и физика элементарных частиц: В 2-х ч. Ч. 1: Учебное пособие. Изд-во: МПГУ, 2011 г.

Учебник, учебное пособие:

Д.В. Сивухин. Общий курс физики: Учебное пособие для вузов. В 5 т. Т. V. Атомная и ядерная физика. М.: Физматлит, 2011.

Конспект лекций, описание лабораторных работ.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Необходимо обеспечить себя рекомендованными учебными материалами. Для получения глубоких и прочных знаний, твердых навыков и умений, необходима, кроме проработки лекционного материала, систематическая самостоятельная работа студента. Дополнить конспект лекций, выделить главное студент должен самостоятельно, пользуясь предлагаемыми учебными пособиями.

12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

При прохождении данного курса студентам рекомендуется больше внимания уделять основным понятиям ядерной физики, результатам экспериментов в области физики атомного ядра и частиц, методам исследований в области физики атомного ядра, главным явлениям и закономерностям ядерных процессов, знать их пространственно-временные параметры, основные теоретические представления и модели физики ядра и частиц, экспериментальные методы исследований этих объектов, понимать физику процессов распада и синтеза ядер, прохождения ядерных излучений через вещество, определение доз облучения и требующейся защиты от него, овладеть навыками применения ядерных моделей при интерпретации экспериментальных данных, их обработке, проведения физических экспериментов по ядерной физике с использованием закономерностей ядерных процессов, оценивать статистические характеристики ядерных процессов.

Шкала оценок

Соответствие систем оценок (согласно Приказу Ректора № 996 от 27.12.2006 г.)

Баллы БРС	Традиционные оценки в РФ	Баллы для перевода оценок	Оценки	Оценки
86-100	5	95-100	5+	A
		86-94	5	B
69-85	4	69-85	4	C
51-68	3	61-68	3+	D
		51-60	3	E
0-50	2	31-50	2+	FX
		0-30	2	F
51-60	Зачет		Зачет	Passed

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине Физика атомного ядра и элементарных частиц

Направление/Специальность: 03.03.02 Физика

Код контролируемой компетенции или	Раздел	Тема	Формы контроля уровня освоения ООП						Баллы темы	Баллы раздела	
			Опрос	Тест	Коллоквиум	Выполнение ДЗ	Выполнение КР	Выполнение КП			Экзамен
ОПК-1	Типы взаимодействия частиц в ядре, статистические характеристики атомных ядер. Радиоактивность, характерные времена и виды распадов, радиоактивные семейства, законы радиоактивного распада	Статистические характеристики атомных ядер	2	3			3	3	11	9	29
		Радиоактивность, ее параметры		3			3	9			
		Законы радиоактивного распада		3			3	9			
ОПК-1	Ядерные модели, прохождение заряженных частиц и гамма-квантов через вещество, ядерные реакции, деление атомных ядер, цепная реакция	Ядерные модели	2	3			3	3		9	29
		Характеристики прохождения частиц и электромагнитного излучения через вещество		3			3	9			
		Деление атомных ядер		3			3	9			
ОПК-1	Ядерные реакторы, ядерное топливо, активная зона реактора, виды реакторов, термоядерные реакции синтеза	Характеристики ядерных реакторов	2	3			3	3		9	20
		Термоядерный синтез, токамаки		3			3	9			
ОПК-1	Ускорители заряженных частиц, виды ускорителей, использование встречных пучков, космические лучи	Принципы работы ускорителей, характерные параметры ускорителей	2	3			3	3		9	11
ОПК-1	ОКК										
Итого			8	27					27	27	11

Перечень домашних заданий по темам

- 1) определение ядерной реакции, запись, входной и выходные каналы реакции;
- 2) энергетический спектр β -излучения, связь с испусканием нейтрино или антинейтрино;
- 3) внутренняя конверсия электронов;
- 4) распределение электрического заряда по радиусу;
- 5) взаимодействия гамма-квантов с веществом, рождение электронно-позитронных пар;
- 6) виды β -распадов;
- 7) основные параметры ускорителей;
- 8) альфа-распад с точки зрения квантовой механики;
- 9) формула Вейцекера и области энергетической выгодности для реакций синтеза и деления;
- 10) магические и дважды магические ядра;
- 11) основной закон радиоактивного распада;
- 12) внутренние и внешние нуклоны, ядерный остов;
- 13) влияние внешних условий на радиоактивный распад;
- 14) основные взаимодействия между нуклонами в ядре;
- 15) естественная и искусственная радиоактивности;
- 16) виды радиоактивных распадов;
- 17) зарядовая симметрия взаимодействия нуклонов.

Требования к написанию рефератов, курсовых работ

При написании рефератов и курсовых работ необходимо руководствоваться следующими требованиями. Во-первых, их содержание должно включать следующие разделы: Введение, Главы основного материала, Заключение и список цитированной литературы. Во Введении дается формулировка решаемой задачи, указывается ее новизна, важность для науки и практических приложений, имеющиеся публикации по рассматриваемой проблеме или близкие к ней. Затем идет основная глава, в которой описывается постановка решаемой в работе задачи, описание используемых методов анализа рассматриваемого процесса или эффекта, обоснование выбора характерных параметров. В следующей главе должны быть изложены результаты проведенных аналитических и численных расчетов, дано их графическое представление, характерные особенности динамики изученного процесса. Затем должна быть формулировка выводов из результатов выполненного исследования. В Заключении работы кратко описываются главные особенности проведенного анализа, основные результаты и следующие из них рекомендации для практических приложений, например, для прогноза динамики рассмотренного процесса, и предложения по экспериментальной проверке изученного эффекта. Выражается благодарность коллегам, способствовавшим успешному выполнению данного исследования. После Заключения приводится список цитированной литературы.

Задачи и упражнения

- 1) используя формулу Вейцекера определить на плоскости (A, Z) область устойчивости нейтронно и протонно избыточных ядер относительно альфа и бета распадов;
- 2) почему ядро не содержит электроны?
- 3) чем обусловлена тонкая структура спектра излучения возбужденных ядер?
- 4) описать равновесие при радиоактивном распаде материнского ядра;
- 5) обосновать тип взаимодействия, которое является основным при анализе прохождения тяжелых заряженных частиц через вещество;
- 6) основные параметры космических лучей;
- 7) объяснить причину большого пробега нейтрино в веществе;
- 8) причина возникновения эффекта Мессбауэра;
- 9) механизм формирования спектра электронов при β^- -распаде;

- 10) физика механизма Гамова для альфа-распада ядер;
- 11) сформулировать условия стационарного режима работы ядерного реактора;
- 12) условия реализации термоядерной реакции;
- 13) тонкая структура спектра излучения возбужденных ядер;
- 14) равновесие при радиоактивном распаде материнского ядра;
- 15) активность радиоактивного источника;
- 16) среднее время жизни радиоактивного ядра и период его полураспада;
- 17) роль центробежного потенциала в альфа-распаде;
- 18) эффективная энергия сталкивающихся частиц в ускорителе на встречных пучках;
- 19) изомерные состояния ядер;
- 20) бетатрон, принцип работы.

Вопросы для самопроверки и обсуждений по темам

1. Виды радиоактивности, строение ядер, типы взаимодействия частиц в ядре.
2. Энергия связи ядра, устойчивость ядер.
3. Измерение спинов и магнитных моментов ядер.
4. Законы радиоактивного распада.
5. Альфа-распад, бета-распад.
6. Одночастичные и коллективные модели, обобщенные модели ядер.
7. Прохождение тяжелых и легких заряженных частиц через вещество.
8. Аннигиляционные потери, возникновение ливней.
9. Ускорители (генератор Ван-дер-Граафа, линейные ускорители, циклические ускорители, автофазировка, микротрон, бетатрон, синхрофазотрон, ускорители на встречных пучках).
10. Источники нейтронов и других нейтральных частиц, получение нейтрино и антинейтрино.
11. Детекторы частиц (электронные детекторы, другие виды детекторов, характеристики детекторов, счетчики Гейгера - Мюллера, черенковские детекторы, камера Вильсона, ядерные фотоэмульсии, искровые камеры).
12. Законы сохранения в ядерных реакциях (сохранение энергии, импульса, момента импульса, электрического заряда, барионного заряда, лептонных зарядов, сохранение четности; энергия реакции, эндотермические реакции, порог реакции).
13. Составные ядра (радиационный захват, подбарьерные процессы, симметрия углового распределения).
14. Деление атомных ядер, спонтанное деление, вторичные нейтроны, запаздывающие нейтроны, трансурановые элементы. Цепная реакция, ядерные реакторы.
15. Термоядерная проблема (реакции синтеза, УТС, дейтерий и тритий, условия реализации УТС, устойчивость и удержание плазмы в термоядерном реакторе).

Задания для самостоятельной работы по темам

1. Какие три типа радиоактивных излучений открыл Резерфорд?
2. Какие лучи β или γ обладают наибольшей проникающей способностью при равных энергиях?
3. Из чего состоит ядро?
4. Каково характерное время сильных взаимодействий в ядре?
5. Каков характерный радиус слабых взаимодействий?
6. Как изменится величина импульса фотона, если длина волны увеличилась в три раза? Какой формулой определяется энергия связи альфа-частицы в ядре?
7. Какова формула для радиуса ядра?
8. Какой вид радиоактивности имеют ядра с избыточным числом протонов или нейтронов? Ядро урана $^{238}\text{U}_{92}$ делится на два одинаковых осколка. Удельные энергии

связи: до деления 7.6 МэВ, после деления 8.5 МэВ. Оценить энергию, высвобождающуюся при одном акте деления.

9. Максимальный спин ядра равен $9/2$. О чем это свидетельствует?
10. Имеют ли фотоны момент импульса?
11. Что такое электронный захват?
12. Может ли быть распад ядра с вылетом ядра углерода?
13. Единицы радиоактивного распада?
14. Постоянная распада λ , число ядер радиоактивного элемента N . Записать активность радиоактивного источника?
15. Условие радиоактивного равновесия?
16. Какой спектр частиц при β -распаде?
17. Какое взаимодействие в ядре приводит к рождению нейтрино?
18. В чем состоит эффект Мессбауэра?
19. Какая модель ядра объясняет происхождение магических чисел?
20. Основной механизм торможения тяжелых заряженных частиц в веществе?
21. Сколько фотонов рождается при аннигиляции пары электрон-позитрон?
22. На каком ускорителе можно получать максимальные эффективные энергии ускоренных частиц для исследований ядер и элементарных частиц?
23. Какие законы сохранения должны выполняться в ядерных реакциях?
24. При каком значении коэффициента размножения k реакция деления ядер стационарна? Какой критерий Лоусона для самоподдерживающейся термоядерной реакции $d+t$? Какие температуры необходимы для термоядерного реактора?

Перечень рефератов по темам

- 1) Динамика спектра альфа-частиц при прохождении слоистой среды.
- 2) Прохождение гамма-излучения через слой неоднородной среды
- 3) Ультрарелятивистское серфотронное ускорение заряженных частиц в космической плазме.
- 4) Границы областей спонтанного распада ядер при избытке нейтронов или протонов.
- 5) Построение гистограммы и определение других характеристик радиоактивности на основе экспериментальной выборки данных регистрации излучения радиоактивного образца.
- 6) Возможные реакции спонтанного деления ядер для массовых чисел $A > 120$.
- 7) Спектральный состав космического излучения для энергий частиц более 100 ГэВ.
- 8) Вторичное космическое излучение.
- 9) Сравнительный анализ параметров мюонной и электронной компонент космических лучей.
- 10) Сравнительный анализ характеристик методов регистрации частиц с энергиями более 1 МэВ.
- 11) Динамика радиоактивного распада материнского ядра в случае двух устойчивых дочерних ядер.

Тестовые задания по темам (для текущего контроля)

- 1) Используя формулу Вейцекера определить на плоскости (A, Z) область устойчивости нейтронно и протонно избыточных ядер относительно альфа и бета распадов.
- 2) Структура спектров альфа-частиц при распадах тяжелых ядер.
- 3) Какие взаимодействия учитывает формула Вейцекера для энергии связи ядра?
- 4) Статистические характеристики ядер.
- 5) Почему ядро не содержит электроны?
- 6) Чем обусловлена тонкая структура спектра излучения возбужденных ядер?
- 7) Когда квадрупольный электрический момент отличен от нуля?

- 8) Какое взаимодействие является основным при анализе прохождения тяжелых заряженных частиц через вещество?
- 9) Как описать равновесие при радиоактивном распаде материнского ядра?
- 10) Описать временную динамику радиоактивного распада с участием 3 типов ядер.
- 11) Основные параметры космических лучей.
- 12) Методики анализа результатов измерений радиоактивного распада образцов.
- 13) Основные элементы устройства ядерного реактора.
- 14) Условия реализации термоядерной реакции, характерные энергии реакций синтеза.
- 15) Оптимальные условия стационарного режима работы ядерного реактора.
- 16) Чем обусловлена большая длина пробега нейтрино в веществе?
- 17) Какие эффекты объясняет оболочечная модель ядра?
- 18) Эффект Мессбауэра.
- 19) Какое взаимодействие в ядре приводит к рождению нейтрино?
- 20) Какой спектр частиц электронов при β -распаде ?
- 21) Механизм Гамова возникновения альфа-распада ядер.
- 22) В каких случаях возникает β -распад ядер.
- 23) Чем определяется активность радиоактивного источника?
- 24) В каких взаимодействиях элементарных частиц сохраняется четность?

Тренинговые задания

- 1) Определение радиоактивности, диапазон постоянной распада, виды радиоактивных распадов.
- 2) Объяснение магических свойств ядер. Что характерно для зеркальных ядер?
- 3) Какие ядра относятся к семействам : изотопы, изотоны, изобары.
- 4) Предсказания оболочечной модели ядра.
- 5) Статические и динамические характеристики ядер.
- 6) Обобщенная модель ядра: внутренние и внешние нуклоны, ядерный остов.
- 7) Законы радиоактивного распада, постоянная распада, среднее время жизни радиоактивного ядра, период полураспада.
- 8) Вклады в энергию связи ядра: кулоновского взаимодействия, энергия симметрии, спаривания нуклонов, поверхностных нуклонов. Магические и дважды магические ядра.
- 9) Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество : кривая Брэгга, сравнение удельных потерь для разных частиц.
- 10) Прохождение легких заряженных частиц через вещество, роль углового рассеяния, динамика интенсивности потока легких частиц вдоль направления его движения, максимальный и средний пробеги частиц.
- 11) Энергетические диаграммы альфа-распада. Альфа-распад с точки зрения квантовой механики (туннелирование, высота барьера, вероятность его прохождения, роль центробежного потенциала, связанного с орбитальным движением).
- 12) Основные параметры ускорителей, сравнение с естественными источниками быстрых частиц (радиоактивные элементы, космические лучи).
- 13) Спин ядра и сверхтонкая структура спектральных линий.
- 14) Примеры β -распадов, энергетическое условие для распада, виды β -распадов (электронный, позитронный, e -захват).
- 15) Взаимодействия гамма-квантов с веществом, вклад рождения электронно-позитронных пар в его сечение в зависимости от энергии g -кванта.
- 16) Эффект Вавилова-Черенкова в излучении электромагнитных волн, физический механизм, использование для измерений скорости быстрых заряженных частиц (черенковские детекторы).
- 17) Определение ядерной реакции, ее запись, входной и выходные каналы реакции, дифференциальное и интегральное сечения реакций, поляризованные частицы, законы сохранения при анализе ядерных реакций.

- 18) Изомерные состояния ядер, метастабильные уровни ядер, конкуренция β -распадов и g -переходов. Прямые ядерные реакции (ПЯР); реакции срыва, подхвата, передачи, квазиупругого рассеяния.
- 19) Эффект Мессбауэра, физический механизм, условия реализации резонансных излучения и поглощения g -квантов, уменьшение ширины линии. Ядерный фотоэффект, реакции фоторождения.
- 20) Бетатрон, принцип работы, основные соотношения.
- 21) Ядерные реакторы, роль замедлителей, отражателей и регулирующих стержней, ТВЭЛы.
- 22) Ускоритель с бегущей волной, предускорение частиц, использование ускоряющих волн с переменной фазовой скоростью.
- 23) Получение трансурановых элементов, типичные реакции, зависимость от интенсивности потока облучающих нейтронов.
- 24) Цепная ядерная реакция, ядерное топливо, основные изотопы для ядерного горючего

Перечень вопросов итоговой аттестации по курсу

1) Открытие радиоактивности, строение ядер (нуклоны, их заряды, массы и спины, зарядовое и массовое числа ядер, зеркальные ядра), изотопы, изотоны, изобары, запись ядер. Определение радиоактивности, характерное время, естественная и искусственная радиоактивности, виды радиоактивных распадов, законы сохранения, радиоактивные семейства. Оболочечная модель ядра, объяснение магических свойств ядер, самосогласованное нуклонное поле, предсказания оболочечной модели.

2) Основные взаимодействия между нуклонами в ядре (электромагнитное, сильное, слабое, гравитационное), характерные радиусы действия и времена, кванты поля взаимодействия, зарядовая симметрия взаимодействия нуклонов, легкие, средние и тяжелые ядра. Законы радиоактивного распада, постоянная распада, среднее время жизни радиоактивного ядра, период полураспада. Обобщенная модель ядра: внутренние и внешние нуклоны, ядерный остов.

3) Стабильные и радиоактивные ядра, статические и динамические характеристики ядер. Виртуальные частицы. Активность радиоактивного источника, единицы измерения активности, влияние внешних условий на радиоактивный распад. Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество, ионизационные потери, вероятность взаимодействия с ядрами.

4) Энергия связи ядра, запись, качественный вид графика в зависимости от массового числа. Вклады в энергию связи ядра: кулоновского взаимодействия, энергия симметрии, спаривания нуклонов, поверхностных нуклонов. Магические и дважды магические ядра. Основной закон радиоактивного распада, временной ход при учете распада дочерних ядер (радиоактивное равновесие). Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество: максимальное и минимальное значения прицельного параметра, влияние релятивизма.

5) Использование радиоактивных распадов для измерения промежутков времени, в частности, возраста Земли. Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество : кривая Брэгга, сравнение удельных потерь для разных частиц. Альфа-распад, условия альфа-распада, пробег альфа-частиц. Прохождение легких заряженных частиц через вещество, роль углового рассеяния, изменение интенсивности потока легких частиц вдоль направления его движения, максимальный и средний пробеги частиц.

6) Формула Вейцекера. Области энергетической выгоды для реакций синтеза и деления. Тонкая структура спектров альфа-излучения. Энергетические диаграммы альфа-распада. Альфа-распад с точки зрения квантовой механики (туннелирование, высота барьера, вероятность его прохождения, роль центробежного потенциала, связанного с орбитальным движением).

7) Тормозное излучение легких заряженных частиц (радиационные потери), радиационная длина. Спин ядра и сверхтонкая структура спектральных линий. Боровский радиус орбиты электрона, энергии уровней, излучение при переходах. Длиннопробежные альфа-частицы, облегченные и необлегченные распады. Основные параметры ускорителей, сравнение с естественными источниками быстрых частиц (радиоактивные элементы, космические лучи).

8) Распределение электрического заряда по радиусу. Мюоны, мезоатомы. Неопределенность энергии частиц в ядре. Примеры β -распадов, энергетическое условие для распада, виды β -распадов (электронный, позитронный, e -захват). Прохождение g -квантов через вещество, виды потерь, комптоновское рассеяние на электронах, комптоновская длина. Взаимодействия гамма-квантов с веществом, рождение электронно-позитронных пар и его сечение в зависимости от энергии g -кванта.

9) Роль спин-орбитального взаимодействия в тонкой структуре линий, механизмы возникновения сверхтонкой структуры (связь со спином ядра, его магнитным дипольным моментом). Энергетический спектр β -излучения, связь с испусканием нейтрино или антинейтрино. Эффект Вавилова-Черенкова в излучении электромагнитных волн, физический механизм, использование для измерений скорости быстрых заряженных частиц (черенковские детекторы). Опыты по доказательству существования нейтрино (обратный β -распад), несохранение четности в β -распадах.

10) Определение ядерной реакции, запись, входной и выходные каналы реакции, дифференциальное и интегральное сечения реакций, поляризованные частицы, законы сохранения при анализе ядерных реакций. Измерение спинов и магнитных моментов ядер. Метод магнитного резонанса. Типы переходов ядер из возбужденного в нормальное состояние, внутренняя конверсия электронов. Экзотермические и эндотермические реакции, порог реакции, энергия реакции, релятивистский инвариант и вычисление порога реакции в лабораторной системе координат.

11) Понятие четности, закон сохранения четности, роль слабого взаимодействия. Изомерные состояния ядер, метастабильные уровни ядер, конкуренция β -распадов и g -переходов. Прямые ядерные реакции (ПЯР); реакции срыва, подхвата, передачи, квазиупругого рассеяния. Взаимодействие ядра с внешним электрическим полем, разложение по мультиполям, дипольный и квадрупольный моменты ядра.

12) Эффект Мессбауэра, физический механизм, условия реализации резонансных излучения и поглощения g -квантов, уменьшение ширины линии. Ядерный фотоэффект, реакции фоторождения. Понятие составного ядра, характерное время жизни, запись ядерной реакции через составное ядро.

13) Капельная модель ядра, несжимаемость ядерной жидкости, основные параметры (плотность числа нуклонов, массовая плотность, среднее расстояние между нуклонами, неопределенность их энергии). Открытие деления атомных ядер, медленные нейтроны, замедление быстрых нейтронов. Вторичные нейтроны: мгновенные, запаздывающие.

14) Бетатрон, принцип работы, основные соотношения. Ускоритель на встречных пучках частиц, эффективная энергия сталкивающихся пучков, темп ускорения, преимущества, накопительные кольца, тип ускоряемых частиц. Ядерные реакторы, роль замедлителей, отражателей и регулирующих стержней, ТВЭЛы. Ускоритель с бегущей волной, предускорение частиц, использование ускоряющих волн с переменной фазовой скоростью.

15) Получение трансурановых элементов, типичные реакции, зависимость от интенсивности потока облучающих нейтронов. Подкритическое, критическое и надкритическое состояния ядерного реактора, схема активной зоны. Цепная ядерная реакция, ядерное топливо, основные изотопы для ядерного горючего

Критерии оценки знаний и умений студентов по изучаемой дисциплине

Студенты, имеющие более 50 процентов пропусков практических занятий и лекций или неудовлетворительные оценки (более 50 процентов), считаются хронически неуспевающими и не допускаются без отработок к итоговому занятию.

Критерии оценки экзамена с учетом БРС (максимально 27 баллов)

Характеристика ответа	Баллы в БРС
Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний об объекте, проявляющаяся в свободном оперировании понятиями, умении выделить существенные и несущественные его признаки, причинно-следственные связи. Знание об объекте демонстрируется на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей. Ответ формулируется в терминах науки, изложен литературным языком, логичен, доказателен, демонстрирует авторскую позицию студента.	27-25
Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний об объекте, доказательно раскрыты основные положения темы; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Знание об объекте демонстрируется на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей. Ответ изложен литературным языком в терминах науки. Могут быть допущены недочеты в определении понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа.	23-24
Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, доказательно раскрыты основные положения темы; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Ответ изложен литературным языком в терминах науки. В ответе допущены недочеты, исправленные студентом с помощью преподавателя.	20-22
Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, изложен литературным языком в терминах науки. Могут быть допущены недочеты или незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью преподавателя.	18-19
Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, изложен в терминах науки. Однако допущены незначительные ошибки или недочеты, исправленные студентом с помощью «наводящих» вопросов преподавателя.	15-17
Дан полный, но недостаточно последовательный ответ на поставленный вопрос, но при этом показано умение выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Ответ логичен и изложен в терминах науки. Могут быть допущены 1–2 ошибки в определении основных понятий, которые студент затрудняется исправить самостоятельно.	13-14
Дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в	11-12

раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Студент может конкретизировать обобщенные знания, доказав на примерах их основные положения только с помощью преподавателя. Речевое оформление требует поправок, коррекции.	
Дан неполный ответ, логика и последовательность изложения имеют существенные нарушения. Допущены грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, теорий, явлений, вследствие непонимания студентом их существенных и несущественных признаков и связей. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть конкретные проявления обобщенных знаний не показано. Речевое оформление требует поправок, коррекции.	9-10
Дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.	8
Не получены ответы по базовым вопросам дисциплины.	7-0

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Руководитель направления 03.03.02

Директор института физических исследований и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза