

*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**

**ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ АТОМНОГО ЯДРА  
И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности  
03.03.02 «Физика»**

**Квалификация (степень) выпускника  
бакалавр**

### 1. Цели и задачи дисциплины:

Курс излагается для студентов-физиков на 3-м курсе обучения. Основной целью курса является общеобразовательная подготовка студентов по дисциплине «Физика атомного ядра и элементарных частиц», создание фундаментальной базы для усвоения программы специализированных курсов. Для реализации поставленной цели в процессе преподавания курса решаются следующие задачи: 1) анализ основных физических понятий и законов; 2) приложение законов физики к практическим задачам; 3) формирование у студентов единой, логически непротиворечивой физической картины мира.

### 2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Физический практикум по физике атомного ядра и элементарных частиц» относится к базовой части, блок Б1.О.01.09 учебного плана.

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	УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Физический практикум по Механике, Физический практикум по Молекулярной физике, Физический практикум по Электричеству и магнетизму, Физический практикум по Атомной физике	
2	УК-3. Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	Физический практикум по Механике, Физический практикум по Молекулярной физике, Физический практикум по Электричеству и магнетизму, Физический практикум по Атомной физике	Учебная практика
3	ОПК-2. Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	Радиоэлектроника	Физические методы исследований

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:** теоретические основы, основные понятия законы и модели физики атомного ядра и частиц, методы теоретических и экспериментальных исследований в физике.

**Уметь:** решать физические задачи, использовать при решении основные законы, представления и модели физики, а также применять полученные знания для анализа

основных задач, типичных для естественнонаучных дисциплин; использовать теоретические знания для объяснения результатов физических экспериментов.

**Владеть:** методами обработки, анализа и интерпретации физического эксперимента.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		В	С
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>60</b>	<b>28</b>	<b>32</b>
В том числе:			
<i>Лекции</i>			
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>			
<i>Семинары (С)</i>			
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	60	28	32
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>84</b>	<b>8</b>	<b>76</b>
Общая трудоемкость	час	<b>144</b>	<b>36</b>
	зач. ед.	<b>4</b>	<b>1</b>

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
1.	Первичное космическое излучение	Открытие радиоактивности, открытие нейтрона, нуклоны, состав атомных ядер, статистические свойства атомного ядра Типы взаимодействия частиц в ядре, статистические характеристики атомных ядер, четность, виды элементарных частиц
2.	Вторичное космическое излучение	Статистические характеристики атомных ядер, размеры и эффективные сечения ядер, энергия связи ядра, устойчивость ядер, кварковая модель Спин ядра, сверхтонкая структура спектральных линий, влияние спина ядра на эффект Зеемана, электрические свойства ядер, эффект Мессбауэра Радиоактивность, характерные времена и виды распадов, радиоактивные семейства, законы радиоактивного распада, альфа-распад, бета-распады, спектры, роль орбитального момента, закон Гейгера-Нэттолла Ядерные модели, одночастичные и коллективные модели, нейтрино, лептонный заряд и его сохранение, гамма излучение, внутренняя конверсия электронов, метастабильные ядра, ядерная изомерия
3.	Методы регистрации частиц	Прохождение заряженных частиц и гамма-квантов через вещество, формула Бора, пробег частицы, эффект Комптона, рождение электронно-позитронных пар, возникновение ливней, излучение Вавилова-Черенкова Ядерные реакции, виды и основные определения, законы сохранения, порог реакции, составные ядра, детекторы частиц, источники нейтронов Ядерные реакции, деление атомных ядер, цепная реакция, вторичные и запаздывающие нейтроны, трансурановые

		элементы, магические ядра, получение трансураниевых элементов Ядерные реакторы, ядерное топливо, активная зона реактора, обогащение урана, ТВЭЛы, виды реакторов
4	Статистическая обработка данных измерений	Природный реактор в Осло, условия его возникновения, необходимость развития ядерной энергетики Термоядерные реакции синтеза, УТС, условия реализации, дейтерий и тритий, устойчивость и удержание плазмы в термоядерном реакторе, токамаки Ускорители заряженных частиц, виды ускорителей, ускоритель Ван дер Графа, бетатрон, практические приложения ускорителей Принципы работы ускорителей, характерные энергии ускоренных частиц, использование встречных пучков заряженных частиц Основные параметры ускоренных частиц в космических лучах, влияние космической погоды

## 5.2. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб.зан.	СРС	Всего час.
1	Первичное космическое излучение			15	21	36
2	Вторичное космическое излучение			15	21	36
3	Методы регистрации частиц			15	21	36
4	Статистическая обработка данных измерений			15	21	36

## 6. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час.)
1	1	Тема 1, ЛР №1 Определение времени полураспада радиоактивного элемента.	10
2	1	Тема 2: ЛР №2 Исследование поглощения бета-частиц в веществе.	10
3	1	Тема 1: ЛР №3 Определение отношения жесткой и мягкой компонент КИ.	10
4	1	Тема 2: ЛР №4 Исследование углового распределения жесткой компоненты КИ.	10
5	1	Тема 1: ЛР №5 Статистика регистрации частиц.	10
6	2	Тема 2: ЛР №6 Энергетическая калибровка X-гау спектрометра.	10

7. Практические занятия (семинары) не предусмотрены.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория «Атомной и ядерной физики».

9. Информационное обеспечение дисциплины

а) программное обеспечение:

МЕНТОР

б) 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:**

а) основная литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики, т.1-4. – М.: Астрель, 2004(М.: КНОРУС, 2012)
2. С.П. Стрелков. Механика. СПб.: Лань, 2005.
3. Калашников С.Г. Электричество. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
4. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. СПб.: Лань, 2008.
5. Яворский В.М., Детлаф А.А. Курс физики. М.: Высшая школа, 2002.
6. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. С-Пб: Книжный мир, 2008.

б) дополнительная литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.1-3. – М.: Физматлит, 2006.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
3. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа, 2001.
4. Иродов И.Б. Задачи по общей физике. М.: Наука, 2010.
5. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2007.

## **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.

Для подготовки к выполнению лабораторных работ, их защите, а также для выполнения домашних заданий нужно использовать методические рекомендации и задания для самостоятельной работы по физике по соответствующим разделам, которые приведены в методических пособиях.

Баллы курса распределяются следующим образом. 90 баллов студент может получить за выполнение и защиту лабораторных работ. 10 баллов отводится на итоговый тест, проводимый на предпоследнем занятии семестра.

Студент должен выполнить и защитить шесть лабораторных работ.

За корректное выполнение и грамотное оформление результатов каждой лабораторной работы студент может получить до пяти баллов. Оформление включает в себя проведение всех необходимых расчетов, оценки погрешностей, представления экспериментальных данных и результатов расчетов в требуемом виде (табличном или графическом).

При защите каждой лабораторной работы студент может получить до десяти баллов. Защита лабораторной работы предполагает детальную проверку преподавателем понимания студентом всех этапов выполнения работы: подготовка и проведение измерений, мотивация выбора условий эксперимента, влияния внешних факторов и естественных ограничений, накладываемых на объекты измерения и измерительную аппаратуру, причины выбора той, или иной методики обработки и представления результатов опыта и пр. Кроме того при защите лабораторной работы студент обязан продемонстрировать знания в области курса, сопряженной с темой лабораторной работы, а так же подтвердить знания, полученные в предыдущих курсах.

Итоговый тест содержит вопросы по всему курсу.

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

**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 Физический практикум по физике атомного ядра и элементарных частиц**

Направление/Специальность: **03.03.02 физика**

Код контролируемой компетенции или ее части	Контролируемый раздел дисциплины	Контролируемая тема дисциплины	Наименование оценочного средства			Баллы темы	Баллы раздела
			Текущий контроль		Промежут. аттестация		
			Выполнение и оформление лаб. работ	Защиты лаб. работ	Экзамен /Зачет		
УК-1, УК-3, ОПК-2	Раздел 1: Типы взаимодействия частиц в ядре. Радиоактивность, законы радиоактивного распада. Прохождение частиц и гамма-квантов через вещество.	Тема 1, ЛР №1 Определение времени полураспада радиоактивного элемента.	ЛР №1 (5 б.)	ЛР №1 (10 б.)		15	30
		Тема 2: ЛР №2 Исследование поглощения бета-частиц в веществе.	ЛР №2 (5 б.)	ЛР №2 (10 б.)		15	
УК-1, УК-3, ОПК-2	Раздел 2: Закономерности космического излучения, основные параметры частиц в космических лучах.	Тема 1: ЛР №3 Определение отношения жесткой и мягкой компонент КИ.	ЛР №3 (5 б.)	ЛР №3 (10 б.)		15	30
		Тема 2: ЛР №4 Исследование углового распределения жесткой компоненты КИ.	ЛР №4 (5 б.)	ЛР №4 (10 б.)		15	
УК-1, УК-3, ОПК-2	Раздел 3: Статистическая обработка данных ядерного эксперимента. Приборы и методы регистрации частиц и гамма-квантов.	Тема 1: ЛР №5 Статистика регистрации частиц.	ЛР №5 (5 б.)	ЛР №5 (10 б.)		15	40
		Тема 2: ЛР №6 Энергетическая калибровка X-ray спектрометра.	ЛР №6 (5 б.)	ЛР №6 (10 б.)	Тест (10 б.)	25	
	<b>ИТОГО:</b>						<b>100</b>

### Контрольные вопросы к лабораторной работе №1

1. Запишите закон радиоактивного распада. Поясните физический смысл постоянной распада и периода полураспада.
2. Что называется активностью радиоактивного препарата? Перечислите известные Вам единицы измерения активности.
3. Запишите уравнения реакций для распада ядер по схеме  $\beta^+$  и  $\beta^-$ -распада, K-захвата.
4. Какие особенности  $\beta$ -распада свидетельствуют об участии нейтрино в этом процессе?
5. Какие естественные радиоактивные изотопы ответственны за постоянное внутреннее облучение человеческого организма?
6. Какой вклад во внутреннее облучение человека вносит изотоп  $^{19}\text{K}40$ ?
7. Какие факторы необходимо учитывать при оценке внутреннего облучения организма?
8. Определите концентрацию  $^{40}\text{K}$  в коровьем молоке, если на литр молока приходится 1.4 г естественного калия, и если он содержит 0,0119% радиоактивного  $^{40}\text{K}$

### Контрольные вопросы к лабораторной работе №2

1. Дайте определение удельных ионизационных потерь.
2. Доказать, что энергия, излучаемая при торможении в тормозящем поле протона, меньше энергии, излучаемой электроном в таком же тормозящем поле?
3. Как называется энергия электронов, при которой величина удельных радиационных потерь равна величине удельных ионизационных потерь?
4. Объяснить понятие радиационной длины.
5. В чём причина радиоактивности ядер?
6. Найти энергию  $E$  электронов в электрон-вольтах, после прохождения ими 0,5 мм пластины алюминия, если начальная энергия электронов равна 100 МэВ.
7. Найти полный путь, который частица проходит до остановки, если величина удельных потерь энергии частицы зависит от энергии по закону:  $dE/dx = E^{-1}$ , если начальная энергия частицы  $E_0 = 10$  эВ.
8. Что понимается под экстраполированным пробегом электронов?
9. Вычислить экстраполированный пробег электронов с энергией  $E = 0,6$  эВ в железе с атомной массой 56.
10. Рассчитать толщину алюминиевой мишени, полностью поглощающей электроны с энергией 1 МэВ.
11. Энергия протонов в ускорителе 100 МэВ. Подсчитать толщину поглотителя, из углерода, необходимую для снижения энергии до 20 МэВ.
12. Что такое «каскадные ливни»?
13. Опишите три вида  $\beta^-$ -распада.
14. В чем причина столь сильной разницы в периодах полураспада  $\beta^-$ -активных ядер?
15. В чём состоит закон радиоактивного распада?
16. Что такое период полураспада?
17. Вывести исходя из закона радиоактивного распада формулу для периода полураспада, считая известной постоянную распада  $\lambda$ .
18. Что такое фоновое излучение и какова причина его появления?
19. Как в данной работе вы определяли пробег электронов  $R$  и их максимальную энергию  $E_{\text{max}}$ ?

### Контрольные вопросы к лабораторной работе №3

1. Построить график зависимости интенсивности космического излучения в единицу времени от толщины фильтра  $x$ , измеренной в  $\text{г}/\text{см}^2$ :  $x[\text{г}/\text{см}^2] = x[\text{см}] \cdot \rho[\text{г}/\text{см}^3]$ ;  $\rho_{\text{Pb}} = 11,34 \text{ г}/\text{см}^3$ .
2. Определить интенсивность мюонов  $J_\mu$  (число частиц в секунду) и электронов  $J_e$  (число частиц в секунду). За интенсивность потока мюонов  $J_\mu$  следует принять интенсивность излучения, прошедшего 10 см свинцового фильтра. Интенсивность потока электронов  $J_e$  будет равна разности общей и мюонной интенсивностей:  $J_e = J - J_\mu$ .



3. Проанализировать форму кривой поглощения с точки зрения характера взаимодействия электронов и мюонов в свинце.

#### Контрольные вопросы к лабораторной работе №4

1. Построить полученное экспериментальное распределение  $J_{\text{Ксп}}(\theta)$ . Сравнить его с функцией  $J(\theta) \cos^2\theta$ .
2. Выделить долю частиц, поглотившихся из-за распада. Для этого на построенный график  $J_{\text{Ксп}}(\theta)$  нанести график  $J_i(\theta) = J(\theta) \cos^2\theta$ , где  $J(\theta) = W_0$  при  $\theta = 0$ .
3. Определить время жизни мюона  $\tau_0$  для разных значений зенитного угла  $\theta > 0$ .

#### Контрольные вопросы к лабораторной работе №5

1. Если при регистрации радиоактивного распада среднее число отсчетов в секунду равно 6, то какова вероятность зарегистрировать 10 импульсов в секунду?
2. При изучении радиоактивного источника за определенный промежуток времени было зарегистрировано 1600 распадов типа А и 5700 распадов типа В. В предположении, что распады А и В не зависят друг от друга, определите ошибку измерения отношения  $R = N_A/N_B$ ?
3. В эксперименте при реконструкции инвариантной массы пары  $e^+e^-$  было обнаружено 36 событий  $J_{\psi} \rightarrow e^+e^-$ , средняя масса составила  $3.100 \text{ МэВ}$ . Какова ошибка измерения, если точность аппаратуры составляет  $\Delta m/m = 1\%$ ?
4. Детектор регистрирует в среднем 2 частицы в секунду. С какой вероятностью он не зарегистрирует ни одной частицы в течение одной, двух или трех секунд?
5. За 10 мин детектор зарегистрировал 2121 импульс. Указать доверительный интервал (с доверительной вероятностью 70%) для оценки интенсивности источника.
6. Сколько импульсов должен зарегистрировать детектор, чтобы гарантировать ошибку в 3% при определении интенсивности потока событий?
7. Рассчитать среднее время между регистрациями двух событий и дисперсию, если интенсивность событий равна 10 имп/сек.
8. Активность источника излучения в среднем равна 90 имп/мин. Какова вероятность того, что измеренная скорость счета будет составлять 80 имп/мин, 120 имп/мин.?
9. Интенсивность излучения источника в одном направлении 160 имп/мин, а в направлении, перпендикулярном к первому, – 20 имп/мин. Сколько времени следует затратить на измерение той и другой интенсивности, если их отношение требуется определить с точностью 1%?
10. Интенсивность излучения радиоактивного источника около  $5 \cdot 10^2$  имп/мин. Сколько времени следует затратить на ее измерение с точностью 1%? Время измеряется секундомером с ценой деления 0,5 с.
11. Каковы среднеквадратичная и относительная ошибки в определении интенсивности излучения источника, если суммарная интенсивность (источник + фон) измерялась 1 час и составила 362 имп/мин, а интенсивность фона -  $31.2 \pm 0.4$  имп/мин?
12. Определите скорость счета случайных совпадений для схемы с разрешающим временем 10 нс, если загрузка одного из трактов 102 импульса в секунду, а второго 28 импульсов в секунду.
13. Два измерительных тракта регистрируют частицы от независимых источников. Один с частотой 3000 импульсов в секунду, а второй – 5000 импульсов в секунду. После подсоединения их к схеме совпадения за одну минуту было зарегистрировано 12 случайных совпадений. Определить разрешающее время схемы совпадений.
14. Черенковский счетчик создает 20 фотонов на частицу. Фотоумножитель конвертирует фотоны в фотоэлектроны с эффективностью 10%. Каждый фотоэлектрон создает сигнал. Какова вероятность того, что частица, попавшая в счетчик, не приведет к созданию сигнала? Сколько частиц из 1000 останется не зарегистрированными?

#### Контрольные вопросы к лабораторной работе №6

1. Какое излучение принято считать ионизирующим?

2. Охарактеризуйте понятия, гамма излучение, рентгеновское излучение, корпускулярное.
3. Охарактеризуйте спектр следующих типов излучений: гамма, тормозного, характеристического, корпускулярного.
4. Что такое доплеровское уширение спектральной линии?
5. Что определяет верхнюю границу спектра тормозного излучения?
6. Опишите закономерность изменения интенсивности ионизирующего излучения при взаимодействии с поглотителем конечной толщины.
7. Что такое коэффициент поглощения, и от каких параметров он зависит?
8. Определите понятия фотопоглощение, Комптон-эффект, рождение пар.
9. Определите понятие измерения ионизирующего излучения.
10. Опишите общую блок-схему построения блоков детектирования
11. Основные характеристики блоков детектирования.
12. Что такое энергетическое разрешение?
13. Что такое эффективность регистрации?
14. Назовите основные типы неорганических сцинтилляторов. Их преимущества и недостатки.
15. Основные характеристики сцинтилляционных детекторов.
16. Основные требования, предъявляемые к сцинтилляционным детекторам.
17. Принцип построения ППД.
18. Преимущества и недостатки сцинтилляционных и п-п детекторов.
19. Основные принципы построения спектрометров ионизирующего излучения.
20. Какие функции выполняет многоканальный анализатор импульсов.
21. Определите узлы, вносящие искажения в процесс измерений и методы их подавления.
22. Что такое «эффект наложения»?
23. Определите понятия «живое время», «мертвое время».
24. Опишите типичный спектр регистрируемый спектрометром и охарактеризуйте его особенности.
25. Опишите основные операции и процедуры при обработке полученных результатов.

Руководитель направления 03.03.02

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



О.Т. Лоза