

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Алтайский государственный университет»  
Институт цифровых технологий, электроники и физики  
Кафедра радиофизики и теоретической физики

**ФОНД  
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
по дисциплине**

Физика атомного ядра и элементарных частиц  
(наименование дисциплины)

03.03.02 Физика  
(код и наименование направления)

Медицинская физика, Современные функциональные материалы  
(профиль)

Разработчик:  
доцент кафедры РиТФ  
Н.В. Волков

Барнаул 2022

## ПАСПОРТ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 1. Перечень формируемых компетенций

ОПК-3: способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

ПК-1: способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.

ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

### 2. Планируемые результаты освоения дисциплины

№	Контролируемые разделы дисциплины	Код контролируемой компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование оценочного средства
1	Разделы 1-16	ОПК-3 ПК-1 ПК-2	Знает: основные принципы и законы ядерной физики, основные физические явления из физики атомного ядра и элементарных частиц. Знает: методы наблюдения и экспериментальные исследования; границы применимости физических моделей атомного ядра и элементарных частиц. Знает: некоторые основные задачи и законы физики атомного ядра и элементарных частиц. Умеет: решать некоторые основные задачи физики атомного ядра и элементарных частиц. Умеет: правильно выражать физические идеи, количественно формулировать и решать физические задачи, оценивать порядки физических величин. Умеет: измерять и анализировать результаты измерений в физике атомного ядра и элементарных частиц. Владеет: навыками	Практически задания.

			<p>работы с простейшими физическими приборами ядерной электроники.</p> <p>Владеет: методикой обработки результатов экспериментов по физике атомного ядра и элементарных частиц.</p> <p>Владеет: некоторыми основными законами и методами решения задач физики атомного ядра и элементарных частиц.</p>	
2	Лабораторный практикум по физике атомного ядра и элементарных частиц	ОПК-3 ПК-1 ПК-2	<p>Знает: основные принципы и законы ядерной физики, основные физические явления из физики атомного ядра и элементарных частиц.</p> <p>Знает: методы наблюдения и экспериментальные исследования; границы применимости физических моделей атомного ядра и элементарных частиц.</p> <p>Знает: некоторые основные задачи и законы физики атомного ядра и элементарных частиц.</p> <p>Умеет: решать некоторые основные задачи физики атомного ядра и элементарных частиц.</p> <p>Умеет: правильно выражать физические идеи, количественно формулировать и решать физические задачи, оценивать порядки физических величин.</p> <p>Умеет: измерять и анализировать результаты измерений в физике атомного ядра и элементарных частиц.</p> <p>Владеет: навыками работы с простейшими физическими приборами ядерной электроники.</p>	Лабораторные работы

			Владеет: методикой обработки результатов экспериментов по физике атомного ядра и элементарных частиц. Владеет: некоторыми основными законами и методами решения задач физики атомного ядра и элементарных частиц.	
3	Промежуточная аттестация: зачет	ОПК-3 ПК-1 ПК-2	Знает: основные принципы и законы ядерной физики, основные физические явления из физики атомного ядра и элементарных частиц. Знает: методы наблюдения и экспериментальные исследования; границы применимости физических моделей атомного ядра и элементарных частиц. Знает: некоторые основные задачи и законы физики атомного ядра и элементарных частиц. Умеет: решать некоторые основные задачи физики атомного ядра и элементарных частиц. Умеет: правильно выражать физические идеи, количественно формулировать и решать физические задачи, оценивать порядки физических величин. Умеет: измерять и анализировать результаты измерений в физике атомного ядра и элементарных частиц. Владеет: навыками работы с простейшими физическими приборами ядерной электроники. Владеет: методикой обработки результатов экспериментов по физике	Вопросы к экзамену.

			атомного ядра и элементарных частиц. Владеет: некоторыми основными законами и методами решения задач физики атомного ядра и элементарных частиц.	
--	--	--	--	--

**3. Типовые оценочные средства, необходимые для оценки планируемых результатов обучения:**

**ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**Оценочное средство – 1. Практические задания**

**1. Цель**

Приобретение студентами знаний, умений и навыков в соответствии с ФГОС ВО и учебному плану.

Формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков по главным положениям физики атомного ядра и элементарных частиц в соответствии с содержанием дисциплины.

Сообщить студентам основные принципы и законы ядерной физики, а также их краткое математическое выражение.

Ознакомить студентов с основными физическими явлениями из области физики атомного ядра и элементарных частиц, методами наблюдения и экспериментального исследования этих явлений, с методами измерения основных ядерно-физических величин, с методами обработки и анализа результатов эксперимента, с простейшими физическими приборами и методикой обработки результатов экспериментов по физике атомного ядра и элементарных частиц.

Сформировать у студентов навыки экспериментальной работы, ознакомить их с основными принципами физического эксперимента, научить правильно выражать физические идеи, количественно формулировать и решать физические задачи, оценивать порядки физических величин.

Дать студентам ясное представление о границах применимости физических моделей и гипотез в физике атомного ядра и элементарных частиц.

**2. Контролируемый раздел дисциплины:** разделы 1-16

**3. Проверяемые компетенции** ОПК-3, ПК-1, ПК-2

**4. Индикаторы достижения** Знает: основные принципы и законы ядерной физики, основные физические явления из физики атомного ядра и элементарных частиц. Знает: методы наблюдения и экспериментальные исследования; границы применимости физических моделей атомного ядра и элементарных частиц. Знает: некоторые основные задачи и законы физики атомного ядра и элементарных частиц. Умеет: решать некоторые основные задачи физики атомного ядра и элементарных частиц. Умеет: правильно выражать физические идеи, количественно формулировать и решать физические задачи, оценивать порядки физических величин. Умеет: измерять и анализировать результаты измерений в физике атомного ядра и элементарных частиц. Владеет: навыками работы с простейшими физическими приборами ядерной электроники. Владеет: методикой обработки результатов экспериментов по физике атомного ядра и элементарных частиц. Владеет: некоторыми основными законами и методами решения задач физики атомного ядра и элементарных частиц.

## 5. Пример оценочного средства

1. При лобовом столкновении двух атомных ядер с зарядами  $Z_1 e$  и  $Z_2 e$  и кинетическими энергиями  $T_1 \neq 0$  и  $T_2 = 0$  расстояние наибольшего сближения  $r_{\min}$  можно определить из равенства  $T_1 = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r_{\min}}$ . Объяснить почему. Далее, положить  $Z_1 = 2$ ,  $Z_2 = 79$ ,  $T_1 = 5$  МэВ и рассчитать  $r_{\min}$ .
2. Какую энергию должны иметь  $\alpha$ -частицы в опытах Резерфорда, чтобы при лобовом столкновении они захватывались ядрами  ${}^{197}_{79}\text{Au}$  (и происходили реакции  $\square^4_2\text{He} + \square^{197}_{79}\text{Au} \rightarrow {}^{201}_{81}\text{Tl}$ ). Справка:  $R = r_0 A^{1/3}$ ,  $r_0 \approx 1,20$  Фм,  $1 \text{ Фм} = 10^{-13} \text{ см}$ .
3. Оценить плотность нуклонов в атомных ядрах, а также плотность массы и плотность электрического заряда. Справка:  $m_n \approx m_p \approx 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ г}$ ,  $e \approx 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ .
4. Известны формула де Бройля  $\lambda = \frac{h}{p}$  и формулы Эйнштейна  $E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$  и  $T = E - mc^2$ . Дать комментарий. Далее, выразить  $\lambda$  через  $T$ . Далее, рассчитать  $\lambda$  для электрона и протона, если  $T = 100$  ГэВ. Справка:  $m_e \approx 9,11 \cdot 10^{-27} \text{ г}$ ,  $h \approx 6,23 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$ .
5. В опытах Хофштадтера электроны с кинетическими энергиями  $T = 250$  МэВ рассеивались на ядрах  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ . Были обнаружены три дифракционных минимума при углах рассеяния  $\theta_{\min} \approx 18^\circ, 31^\circ, 48^\circ$ . Исходя из этого, оценить размер  $R$  ядра кальция. Справка:  $\sin \theta_{\min} \approx n \frac{0,61}{R} \lambda$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$
6. Для энергии связи ядер справедлива формула  $W(A, Z) = (Zm_p c^2 + (A - Z)m_n c^2) - M(A, Z)c^2$ . Дать комментарий. Но в справочниках часто указывают не массу атомных ядер, а массу атома  $A(A, Z)$  и избыток (дефект) массы  $\Delta(A, Z) \equiv (A(A, Z) - A)$ . В связи этим доказать формулу  $W(A, Z) = (ZA(1,1)c^2 + (A - Z)m_n c^2) - A(A, Z)c^2 \equiv (Z\Delta(1,1)c^2 + (A - Z)\Delta_n c^2) - \Delta(A, Z)c^2$ . Энергию связи электронов в атоме не учитывать.
7. Из сравнения энергии связи зеркальных ядер  ${}^{11}_5\text{B}$  и  ${}^{11}_6\text{C}$  оценить величину  $r_0$  в формуле  $R = r_0 A^{1/3}$ . Справка:  $W(11, 5) \approx 76,2$  МэВ,  $W(11, 6) \approx 73,4$  МэВ,  $E_C \approx \frac{3Z(Z-1)e^2}{5R}$ .
8. Орбитальное квантовое число нуклона  $l = 3$ . Найти его чётность  $P$ , полный момент  $j$  и его проекции  $j_z$ . Справка: внутренняя чётность нуклона  $\pi = +1$ , а спин  $s = \frac{1}{2}$  (в единицах  $\hbar$ ).
9. Найти чётность  $P$ , спин  $J$  и его проекции  $J_z$  ядер  ${}^4_2\text{He}$  и  ${}^6_3\text{Li}$ . Орбитальные моменты нуклонов известны: у первого по четвёртый нуклонов  $l = 0$ , у остальных –  $l = 1$ .

10. Изотопический спин нуклонов  $T = \frac{1}{2}$ , причём у протона его проекция  $T_3 = \frac{1}{2}$ , а у нейтрона –  $T_3 = -\frac{1}{2}$ . Дать комментарий. Далее, вычислить  $T_3$  и (в основном состоянии)  $T$  у ядер  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^6_3\text{Li}$ ,  ${}^7_3\text{Li}$  и  ${}^{48}_{20}\text{Ca}$ .

## 6. Критерии оценивания

4-балльная шкала (уровень освоения)	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	1. Полнота выполнения практического задания; 2. Своевременность выполнения задания; 3. Последовательность и рациональность выполнения задания; 4. Самостоятельность решения;	Студентом задание выполнено самостоятельно. При этом составлен правильный алгоритм решения задания, в логических рассуждениях нет погрешностей, получен полный ответ.
Хорошо (базовый уровень)		Студентом задание выполнено с подсказкой преподавателя. При этом составлен правильный алгоритм выполнения задания, в логическом рассуждении и решении нет существенных ошибок; допущено не более двух несущественных ошибок, получен верный ответ.
Удовлетворительно (пороговый уровень)		Студентом задание выполнено с подсказками преподавателя. При этом задание понято правильно, в логическом рассуждении нет существенных ошибок, но допущены существенные ошибки в ходе выполнения задания, задание выполнено не полностью или в общем виде.
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		Студентом задание не выполнено.

## Сопоставление шкал оценивания

4-балльная шкала (уровень освоения)	Отлично (повышенный уровень)	Хорошо (базовый уровень)	Удовлетворительно (пороговый уровень)	Неудовлетворительно (уровень не сформирован)
Бинарная шкала	Зачтено			Не зачтено

## 5. Рекомендуемый перечень вопросов для самостоятельной подготовки.

1. Размер ядра. Опыты Резерфорда. Результаты рассеяния  $\alpha$ -частиц на  $^{208}_{82}\text{Pb}$ . Опыты Хофштадтера.
2. Упругое рассеяние электронов на ядрах. Двухпараметрическое распределение Ферми.
3. Ядерный парк. Стабильные, долгоживущие и радиоактивные ядра. NZ-диаграмма.
4. Энергия связи атомных ядер. Энергия отделения нуклона и сложной частицы от ядра. Массы ядер и методы их определения. Атомная единица массы.
5. Удельная энергия связи. Синтез и деление ядер как источники энергии. Сравнение ядерной энергии с кулоновской и гравитационной.
6. Свойства ядерных сил и нуклонов в ядре. Модель жидкой капли.
7. Формула Вайцекера. Объёмная, поверхностная и кулоновская энергии ядра. Принцип Паули и энергия симметрии ядра. Энергия спаривания.
8. Основное и возбуждённые состояния ядра. Диаграмма ядерных уровней. Сохраняющиеся величины и квантовые числа.
9. Определение спина ядер. Спин чётных и нечётных ядер по  $A$ . Взаимная компенсация моментов нуклонов в основном состоянии.
10. История и виды радиоактивности. Основной закон радиоактивного распада. Энергетические соотношения. Дорожка стабильности на NZ-диаграмме. Ядерное время.
11. Ядерные силы. Притяжение и короткодействие. Мощность и насыщение. Зависимость от спина и нецентральность. Зарядовая независимость и обменный характер. Спин-орбитальная добавка.
12. Оболочечная модель ядра. Схожесть и различие с оболочечной моделью атома. Магические числа. Свойства ядер с магическими числами.
13. Элементарные частицы. Определение и парк элементарных частиц. Время жизни, структура и классификация.
14. Систематика частиц. Фундаментальные фермионы. Кварки и лептоны. Фундаментальные бозоны. Глюоны, фотоны,  $W$  и  $Z$  бозоны. Адроны. Барионы и мезоны.

## Оценочное средство – 2. Лабораторные работы

### 1. Цель

Приобретение студентами знаний, умений и навыков в соответствии с ФГОС ВО и учебному плану.

Формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков по главным положениям физики атомного ядра и элементарных частиц в соответствии с содержанием дисциплины.

Сообщить студентам основные принципы и законы ядерной физики, а также их краткое математическое выражение.

Ознакомить студентов с основными физическими явлениями из области физики атомного ядра и элементарных частиц, методами наблюдения и экспериментального исследования этих явлений, с методами измерения основных ядерно-физических величин, с методами обработки и анализа результатов



эксперимента, с простейшими физическими приборами и методикой обработки результатов экспериментов по физике атомного ядра и элементарных частиц.

Сформировать у студентов навыки экспериментальной работы, ознакомить их с основными принципами физического эксперимента, научить правильно выражать физические идеи, количественно формулировать и решать физические задачи, оценивать порядки физических величин.

Дать студентам ясное представление о границах применимости физических моделей и гипотез в физике атомного ядра и элементарных частиц.


**2. Контролируемый раздел дисциплины:** Лабораторный практикум по физике атомного ядра и элементарных частиц

**3. Проверяемые компетенции** ОПК-3, ПК-1, ПК-2

**4. Индикаторы достижения** Знает: основные принципы и законы ядерной физики, основные физические явления из физики атомного ядра и элементарных частиц. Знает: методы наблюдения и экспериментальные исследования; границы применимости физических моделей атомного ядра и элементарных частиц. Знает: некоторые основные задачи и законы физики атомного ядра и элементарных частиц. Умеет: решать некоторые основные задачи физики атомного ядра и элементарных частиц. Умеет: правильно выражать физические идеи, количественно формулировать и решать физические задачи, оценивать порядки физических величин. Умеет: измерять и анализировать результаты измерений в физике атомного ядра и элементарных частиц. Владеет: навыками работы с простейшими физическими приборами ядерной электроники. Владеет: методикой обработки результатов экспериментов по физике атомного ядра и элементарных частиц. Владеет: некоторыми основными законами и методами решения задач физики атомного ядра и элементарных частиц.

## 5. Пример оценочного средства

### Ход работы



**Внимание !**

Перед началом выполнения работы в командной строке терминала выполните команду

```
$ . $HOME/bin/geant.sh
```

#### 1. Подготовительный этап.

1.1 Скачайте архив с исходными кодами лабораторной работы с Единого образовательного портала АлтГУ. Распакуйте архив

в рабочей директории, изучите его содержимое. В распакованной директории имеется папка `RutherfordScattering-src` с исходными кодами модели (без необходимости не стоит вносить правки в эти файлы). Каталоги `RutherfordScattering` в архиве считаются рабочими каталогами при выполнении данной лабораторной работы.

- 1.2 Перейдите в директорию `RutherfordScattering`, выполните компиляцию и сборку программы (если это не было сделано ранее). Для этого достаточно запустить скрипт `build.sh`. Запустите готовую программу в графическом режиме, выполните команду

```
$ ./LabRutherfordScattering
```

Изучите схему установки используя предложенную модель и описание установки, приведенное в параграфах «Описание эксперимента» и «Описание программной части».

- 1.3 Выполните в графическом окне команду `/run/beamOn 100`. В результате вы должны увидеть траектории 100  $\alpha$ -частиц, испущенных источником (см. рисунок 2). Сделайте снимок эксперимента для отчета.

#### Замечание!

Моделирование большого числа частиц в графическом режиме существенно замедляет работу программы. Визуализация такого количества траекторий не имеет особого смысла, поэтому следующие пункты задания будут выполняться в консольном режиме.

## 2. Выполнение опыта Резерфорда.

- 2.1 Находясь в директории `RutherfordScattering`, запустите моделирование рассеяния  $\alpha$ -частиц с энергией  $T_\alpha = 5.5$  МэВ в консольном режиме, выполните команду

```
$ ./LabRutherfordScattering run.mac > run.out
```

2.2 Результаты моделирования сохраняются в директорию **results**. Переименуйте файл **angle-distribution.dat** в этой директории в **angle-distribution-5MeV.dat**. Используя пакет **GNUplot**, постройте полученное угловое распределение  $\Phi_{\text{эксп}}(\theta)$ . Каковы характерные особенности полученного распределения? Чем они объясняются?

2.3 Проверка формулы Резерфорда. Вычислите значение коэффициента

$$\left( \frac{Z_{\alpha} Z_{\text{я}} e^2}{4T_{\alpha}} \right)^2,$$

входящего в формулу (4).

Постройте на одном графике теоретическое  $\Phi(\theta)$  (4) и экспериментальное  $\Phi_{\text{эксп}}(\theta)$  распределения. Подберите для  $\Phi_{\text{эксп}}(\theta)$  масштабирующий коэффициент, при котором графики распределений будут приблизительно совпадать на интервале  $[0.4; \pi/2]$ . Чем объясняется разница теоретического и экспериментального распределений?

2.4 Аппроксимируйте масштабированное экспериментальное распределение  $\Phi_{\text{эксп}}(\theta)$  на отрезке  $[0.4, \pi/2]$  следующей моделью

$$\Phi_{\text{аппрокс}}(\theta) = \frac{R}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}. \quad (5)$$

Найдите значение параметра  $R$ . Добавьте на график результат аппроксимации.

Используя полученное значение  $R$ , оцените значение  $r_{\min}$  по формуле

$$r_{\min} = \frac{Z_{\alpha} Z_{\text{я}} e^2}{T_{\alpha}}, \quad (6)$$

где  $Z_{\alpha}e$  — заряд  $\alpha$ -частицы,  $Z_{\text{я}}e$  — заряд ядра,  $T_{\alpha}$  — кинетическая энергия  $\alpha$ -частицы,

2.5 Повторите моделирование рассеяния  $\alpha$ -частиц с энергией  $T_{\alpha} = 22$  МэВ. Для этого достаточно отредактировать файл **run.msc** в рабочей директории **RutherfordScattering**. Поменяйте значение энергии частиц в этом файле.

## 6. Критерии оценивания

4-балльная шкала (уровень освоения)	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	5. Полнота выполнения практического задания; 6. Своевременность выполнения задания;	Студентом задание выполнено самостоятельно. При этом составлен правильный алгоритм решения задания, в логических рассуждениях нет погрешностей, получен полный ответ.
Хорошо (базовый уровень)	7. Последовательность	Студентом задание выполнено с подсказкой преподавателя. При этом составлен правильный алгоритм

	ь и рациональность выполнения задания; 8.Самостоятельность решения;	выполнения задания, в логическом рассуждении и решении нет существенных ошибок; допущено не более двух несущественных ошибок, получен верный ответ.
Удовлетворительно (пороговый уровень)		Студентом задание выполнено с подсказками преподавателя. При этом задание понято правильно, в логическом рассуждении нет существенных ошибок, но допущены существенные ошибки в ходе выполнения задания, задание выполнено не полностью или в общем виде.
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		Студентом задание не выполнено.

#### Сопоставление шкал оценивания

4-балльная шкала (уровень освоения)	Отлично (повышенный уровень)	Хорошо (базовый уровень)	Удовлетворительно (пороговый уровень)	Неудовлетворительно (уровень не сформирован)
Бинарная шкала	Зачтено			Не зачтено

#### 7. Рекомендуемый перечень вопросов для самостоятельной подготовки.

##### Опыт Резерфорда

Какую информацию несет дифференциальное сечение рассеяния?

Какова экспериментальная методика проверки формулы Резерфорда?

Что такое прицельный параметр?

Почему в опыте используются альфа-частицы, а не другие частицы, например, электроны?

##### Гамма-спектрометрия

Что такое аппаратный спектр?

Какие причины вызывают различие между аппаратным спектром и истинным энергетическим спектром?

Что такое функция отклика спектрометра?

Какие особенности появляются в спектре гамма-излучения при увеличении энергии гамма- квантов в источнике?

Объясните как формируются пики двойного вылета, одиночного вылета и полного поглощения?

##### Моделирование сэмплинг-калориметра

Что такое калориметр?

Чем отличаются ливни, инициированные лептонами и адронами?

Что такое энергетическое разрешение калориметра?

Как отличаются характеристики калориметров с органическими и неорганическими (кристаллическими) сцинтилляторами?

### **Оптические явления в физике элементарных частиц**

Каковы основные процессы взаимодействия гамма-квантов с веществом?

Какие оптические процессы происходят в веществе при распространении в нем гамма-квантов?

Что такое сцинтилляционный детектор?

Зачем в схеме эксперимента присутствует фотоумножитель?

Что такое временное разрешение детектора?

## **ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Курс разбит на темы, каждая из которых является отдельной проблемой в области физики частиц и/или ядерной физики. Основные темы сопровождаются лабораторными работами.

Для допуска к экзамену необходимо выполнить лабораторный практикум по курсу, а также выполнить практические задания.

Итоговая экзаменационная оценка по курсу ставится по итогам ответа на вопросы из билета. Билет содержит два вопроса. Для получения оценки "удовлетворительно" нужен полноценный развернутый ответ на один из вопросов, оценка "хорошо" ставится за полноценный развернутый ответ на один вопрос и частичный на второй, оценка "отлично" ставится за полноценные ответы на оба вопроса. Частичные ответы на вопросы не оцениваются. Продолжительность экзамена 1 час 30 минут.