

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.
Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ
протокол от
«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Атомная и ядерная физика
(наименование дисциплины (модуля))

Бакалавриат
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

03.03.03 Радиофизика
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Фундаментальная радиофизика
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Бакалавр
(бакалавр / магистр / специалист)

Очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

20__

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Данная дисциплина относится к базовой части ОПОП и обязательна для освоения в 5 семестре. Цель освоения дисциплины состоит в формировании у студента целостной системы знаний о базовых физических процессах, протекающих на уровне атомов и атомных ядер, а также об основах квантовой теории описания этих процессов, выработке навыков построения физических моделей и решения физических задач. Дисциплина является фундаментом для последующего изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-1 Способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности	З1 (ОПК-1) Знать методики получения базовых знаний в области атомной и ядерной физики У1 (ОПК-1) Уметь овладевать базовыми знаниями в области атомной и ядерной физики и использовать их в профессиональной деятельности В1 (ОПК-1) Владеть опытом получения базовых знаний в области атомной и ядерной физики, и их использования в профессиональной деятельности

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часа, из которых 66 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (48 часов – занятия лекционного типа, 16 часов – практические занятия, 2 часа – контрольные самостоятельные работы), 45 часов – экзамен, 33 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Становление атомной физики	25	7	9		16	9
2. Аппарат физики микрообъектов	21	12	2		14	7
3. Квантовая теория атомов	32	16	5		21	11
4. Физика атомного ядра	13	9			9	4
5. Квантовая информатика	6	4			4	2
В т. ч. текущий контроль	2		2		2	
Промежуточная аттестация – экзамен						

4. Образовательные технологии

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогичная форма проведения занятий. Лекционные занятия предусматривают использование проекционной аппаратуры для презентации таблиц, схем, рисунков и фотографий.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы,
- выполнение домашних заданий по решению задач.

Текущий контроль усвоения материала проводится путем проведения контрольных работ во время практических занятий и проверки выполнения домашних заданий.

Примеры контрольных заданий:

ФЭ-1. Определить красную границу фотоэффекта для цинка (работа выхода равна 3,74 эВ) и максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с его поверхности электромагнитным излучением с длиной волны 250 нм.

ЭК-2. Фотон с длиной волны 20 пм рассеялся на покоящемся свободном электроны на угол

45°. Найти длину волны рассеянного фотона и кинетическую энергию электрона отдачи.

УШ-2. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найти ширину ямы, если разность энергии между первым и вторым уровнями составляет 0,10 эВ.

ТС-2. Длины волны компонент дублета резонансной линии калия, обусловленной переходом $4P \rightarrow 4S$ равны 766,5 нм и 769,9 нм. Найти величину расщепления 4P терма в электрон-вольтах.

Примерный список домашних заданий:

1. Излучение абсолютно чёрного тела

Вычислить полную мощность теплового излучения Солнца. Оценить количество солнечной энергии, падающей на поверхность Земли в единицу времени. Оценить какая часть энергии, излучаемой Солнцем, приходится на видимый диапазон (400–800 нм).

2. Фотоны

[1] 1.1, 1.2, 1.3

3. Фотоэффект

[1] 2.2, 2.3, 2.4, 2.6, 2.7. 2.8

4. Эффект Комптона

[1] 3.2, 3.5

5. Атом Бора

[1] 13.4, 13.6 13.7, 13.8

6. Уравнение Шрёдингера

[2] 5.124, 5.125, 5.126, 5.131, 5.135, 5.136

7. Квантовая теория атома

[2] 5.143, 5.144, 5.147, 5.149

8. Тонкая структура спектра

Рассчитать величину тонкого расщепления линий Лайман-бета и «аш-бета» в атоме водорода.

[2] 5.162, 5.175

9. Эффект Зеемана

[1] 41.1

[2] 5.199

Литература:

[1] Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. V. Атомная и ядерная физика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 784 с.

[2] Иродов И. Е. Задачи по общей физике. — М.: Бином, 2014. — 431 с.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведено в приложении 1.

6.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способность студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой), решении задачи (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ.

Превосходно	Превосходная подготовка без недочетов
Отлично	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с очень незначительными погрешностями
Очень хорошо	В целом хорошая подготовка с некоторыми ошибками
Хорошо	Хорошая подготовка, но с рядом заметных ошибок
Удовлетворительно	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям
Неудовлетворительно	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания
Плохо	Подготовка совершенно недостаточная

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются:

- индивидуальное собеседование (ОПК — 1);
- домашние задания (ОПК — 1);
- контрольные работы (ОПК — 1);
- разноуровневые задачи и задания (ОПК — 1).

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются:

- индивидуальное собеседование (ОПК — 1);
- практические контрольные задания (ОПК — 1);
- разноуровневые задачи и задания, включающие задачи реконструктивного уровня (ОПК — 1).

Для оценивания результатов обучения в виде владений используются:

- индивидуальное собеседование (ОПК — 1);
- комплексные практические задания (ОПК — 1).

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Становление атомной физики

1. Тепловое излучение абсолютно чёрного тела. Формула Планка. Спектр равновесного излучения.
2. Фотоэлектрический эффект. Законы фотоэффекта. Теория Эйнштейна. Уравнение Эйнштейна. Работа выхода.
3. Понятие фотона. Энергия и импульс фотона. Эффект Комптона.
4. Волновые свойства частиц. Волна де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. Принцип неопределённости Гейзенберга.
5. Спектры атомов. Спектральные термы. Постоянная Ридберга. Серии спектральных линий.
6. Теория атома Бора. Постулаты Бора. Вычисление постоянной Ридберга. Недостатки теории.

Аппарат физики микрообъектов

7. Уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Квантование энергии.
8. Волновая функция. Статистический смысл волновой функции. Её свойства. Нормировка волновой функции.
9. Частица в потенциальной яме. Квантовый осциллятор. Его энергетический спектр и собственные функции.
10. Взаимодействие с потенциальным барьером. Туннельный эффект.
11. Постулаты квантовой механики. Динамические переменные и операторы. Оператор координаты. Оператор импульса. Оператор полной энергии. Коммутативность операторов. Условие одновременной измеримости динамических переменных.
12. Квантование момента импульса. Операторы проекции момента импульса и квадрата момента импульса. Их собственные значения. Орбитальное и магнитное квантовые числа.
13. Сложение моментов импульса системы частиц.

Квантовая теория атомов

14. Квантово-механическая теория водородоподобных атомов. Энергетический спектр. Квантовые числа. Спектр излучения. Пространственная структура состояний электрона.
 15. Магнитные свойства атомов. Связь магнитного момента с моментом импульса. Гиромагнитное отношение. Опыт Штерна — Герлаха. Гипотеза Гаудсмита — Уленбека. Спин. Орбитальный, спиновый и полный моменты импульса электрона в атоме.
 16. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура энергетических уровней и спектральных линий. Мультиплетность.
 17. Спин-орбитальное взаимодействие в многоэлектронных атомах. L-S-связь. jj-связь. Правила отбора при излучении.
 18. Эффект Зеемана (простой и сложный). Расчет множителя Ланде (g-фактора) и величины зеемановского расщепления в приближении L-S связи. Эффект Пашена — Бака. Эффект Штарка.
 19. Принцип тождественности элементарных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атомов. Периодическая система Д. И. Менделеева.
 20. Квантовая статистика. Связь спина со статистикой. Статистики Ферми — Дирака и Бозе — Эйнштейна. Химический потенциал. Бозе-конденсация.
 21. Распределения Ферми — Дирака и Бозе — Эйнштейна для идеального газа. Квантование фазового объёма. Критерий невырожденности. Фотонный газ. Электронный газ. Энергия Ферми.
 22. Зонная структура энергетических спектров твёрдых тел. Классификация на металлы, полупроводники и диэлектрики.
 23. Электрон в периодическом потенциале. Волны Блоха. Квазиимпульс. Эффективная масса. «Дырки». Электропроводность кристаллических тел.
 24. Теплоёмкость твёрдых тел. Теория теплоёмкости Эйнштейна. Теория теплоёмкости Дебая. Закон кубов. Температура Дебая.
- Физика атомного ядра
25. Основные характеристики атомных ядер. Спин атомного ядра. Сверхтонкая структура спектральных линий. Масса и энергия связи нуклонов в ядре.
 26. Модели атомных ядер. Капельная модель. Формула Вайцзеккера. «Магические» числа. Оболочечная модель.
 27. Радиоактивность. Основные типы радиоактивного распада. Закон радиоактивного распада. Период полураспада.
 28. Понятие о квантовой электродинамике. Диаграммы Фейнмана. Обменный характер электромагнитного взаимодействия. Виртуальные частицы.
 29. Сильное взаимодействие. Обменная теория взаимодействия нуклонов (теория Юкавы). π -мезоны. Изотопический спин. Странные частицы. Странность.
 30. Слабое взаимодействие. Распад нейтрона. Теория «слабых токов». Теория электрослабого взаимодействия. Калибровочные бозоны.
 31. Нейтрино. Детектирование нейтрино. Типы нейтрино. Проблема солнечных нейтрино. Нейтринные осцилляции. Масса нейтрино.
 32. Квантовая хромодинамика. Кварки. Кварковый состав адронов. Цветовой заряд. Глюоны. Конфайнмент.
 33. Стандартная модель. Бозон Хиггса. Спонтанное нарушение симметрии. Механизм Хиггса. Поле Хиггса.
 34. Классификация элементарных частиц. Лептоны, адроны. Фундаментальные взаимодействия. Их свойства.
 35. Законы сохранения в микромире. Барионное и лептонное числа. Понятие симметрии. Чётность. Зарядовое сопряжение. CPT-теорема.
- Квантовая информатика
36. Отличие квантовых измерений от классических. Квантовая суперпозиция. Квантовая интерференция. Чистые и смешанные состояния.
 37. Квантовая сцепленность (запутанность). Нелокальность квантовой физики. Парадокс

Эйнштейна — Подольского — Розена. ЭПР-пары фотонов. Теорема о невозможности клонирования квантовых состояний.

38. Квантовая телепортация. Базисные состояния Белла. Квантовая криптография. Квантовый канал. Квантовые компьютеры. Квантовые симуляторы.

Типовые контрольные задания:

Для оценки сформированности компетенции ОПК-1 используются контрольные задания, примеры которых приведены в пункте 5.

Полный комплект оценочных средств представлен в ФОНДЕ оценочных средств по дисциплине «Атомная и ядерная физика»

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. V. Атомная и ядерная физика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 784 с.
2. Фаддеев М. А., Чупрунов Е. В. Лекции по атомной физике. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 612 с.
3. Окунь Л. Б. Элементарное введение в физику элементарных частиц. — М.: Физматлит, 2006.

б) дополнительная литература:

1. Матвеев А. Н. Атомная физика. — М.: Высшая школа, 1989. — 439 с.
2. Матвеев А. Н. Оптика. — М.: Высшая школа, 1985. — 351 с.
3. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3. — М., 2009. — 368 с.
4. Бом Д. Квантовая теория. — М.: Наука, 1965. — 727 с.
5. Иванов М. Г. Как понимать квантовую механику. — М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2012. — 516 с.
6. Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц. — М.: Наука, 1988 — 272 с.
7. Сыщенко В. В. Физика элементарных частиц для начинающих. — М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2013. — 160 с.
8. Наука. Величайшие теории: выпуск 11: Революция в микромире. Планк. Квантовая теория. М.: Де Агостини, 2015. — 168 с.
9. Килин С. Я. Квантовая информация. — Успехи физических наук, Т. 169, № 5, с. 507–526, 1999.
10. Менский М. Б. Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов. — Успехи физических наук, Т. 170, № 6, с. 631–647, 2000.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. nuclphys.sinp.msu.ru — сайт кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 03.03.03 Радиофизика.

Автор _____ Коржиманов А. В.

Рецензент _____ Маругин А. В.

Заведующий кафедрой _____ Бакунов М. И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «9» декабря 2021 года, протокол № 07/21