

Ф18 Н

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Директор

МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

О. И. Родькин

«25» 2025

Регистрационный № УД- 1745-25 /уч.



ФИЗИКА АТОМА И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

6-05-0533-03 Медицинская физика

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 6-05-0533-03-2023 от 01.09.2023 и учебного плана учреждения высшего образования для специальности 6-05-0533-03 Медицинская физика Рег.№158-23/уч. от 07.04.2023

СОСТАВИТЕЛИ:

С.А. Маскевич, почетный профессор учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

С.А. Сокольский, доцент кафедры физической оптики и прикладной информатики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Н.Д. Стрекаль, профессор кафедры общей физики учреждения образования «Гродненский государственный университет им. Янки Купалы», доктор физико-математических наук, профессор;

А.И. Киевицкая, профессор кафедры ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 20 июня 2025);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол

№ 9 от 25 июня 2025)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель учебной дисциплины – формирование базовых знаний по физике микроскопических явлений на атомно-молекулярном уровне и умения применять их для решения практических задач.

Задачи учебной дисциплины:

1. анализ развития атомистических и становления квантовых представлений;
2. изучение важнейших экспериментальных фактов атомной физики и их взаимосвязи;
3. выявление специфики микроявлений и несостоятельности классической теории для их объяснения;
4. изучение основ квантовой механики и методов решения квантово-механических задач;
5. систематическое изучение и объяснение на основе квантовой теории строения и свойств атомов и молекул, их поведения во внешних полях и во взаимодействии друг с другом.
6. ознакомление с проявлением квантовых закономерностей в процессах, происходящих в организме человека.

Учебная дисциплина относится к модулю «Физика атома и физика ядра» государственного компонента наряду с учебной дисциплиной «Физика ядра и ионизирующего излучения».

Учебная дисциплина «Физика атома и атомных явлений» предполагает предварительное изучение дисциплин «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Основы векторного и тензорного анализа», «Теория функций комплексной переменной», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Уравнения математической физики».

Воспитательное значение учебной дисциплины «Физика атома и атомных явлений» заключается в формировании у студентов научного мировоззрения и глубокого понимания фундаментальных законов природы; развитии исследовательских навыков, аналитического мышления и способности к моделированию сложных физических процессов; воспитании познавательной активности, творческого подхода к решению задач, самостоятельности, ответственности и точности в научной работе; формировании стремления к саморазвитию, профессиональному росту и инновационной деятельности.

Изучение данной дисциплины способствует становлению высококвалифицированного специалиста, обладающего не только теоретическими знаниями, но и практическими умениями, готового к участию в современных научных и технологических разработках. У студентов развиваются такие качества, как стремление к познанию, гражданская

ответственность и патриотизм, направленные на укрепление научно-технического потенциала и прогресс общества.

При изучении учебной дисциплины студент должен овладеть следующими универсальными и базовыми профессиональными **компетенциями**:

- владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;
- применять квантово-механический подход для объяснения атомно-молекулярных явлений и оценки характеристик атомов молекул и кристаллов для решения профессиональных задач.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основы истории развития физики микроявлений (эксперимента и теории);
- основные положения и принципы квантовой механики;
- методы квантово-механического описания атомов, молекул и кристаллов;
- физическое обоснование периодической системы элементов;
- особенности теплового излучения человека;
- основные проявления квантовых закономерностей в процессах, происходящих в организме человека;
- применение резонансных явлений в медицине;

уметь:

- применять теорию Бора для оценки основных параметров атомов;
- применять квантово-механический подход для объяснения атомно-молекулярных явлений и расчета характеристик атомов, молекул и кристаллов;
- связывать характеристики атомов и молекул с их оптическими и рентгеновскими спектрами;

иметь навык:

- пользоваться терминологией физики микроявлений;
- проводить экспериментальные исследования атомно-молекулярных явлений;
- использовать математические методы решения задач атомной физики.

Учебная дисциплина изучается в 5-м семестре. В соответствии с учебным планом изучение дисциплины рассчитано на общее количество часов 210. Аудиторное количество часов 116, из них лекции – 38 ч, практические занятия – 30 ч, лабораторные занятия – 48 ч.

Форма получения высшего образования – очная (дневная).

Форма промежуточной аттестации – зачет и экзамен.

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Введение

Основные этапы развития атомной и квантовой физики. Связь атомной физики с другими дисциплинами. Атомизм вещества и электричества. Ядерная модель атома. Масштабы расстояний, времен и энергий для атомно-молекулярных и ядерных процессов. Специфика законов микромира. Принцип соответствия. Атомная физика как физика квантовых явлений на атомно-молекулярном уровне.

2. Развитие квантовых представлений

Общие спектральные закономерности. Формула Бальмера, комбинационный принцип. Ядерная модель атома Резерфорда. Формула Резерфорда. Несостоятельность классической физики для объяснения свойств атома. Постулаты Бора о стационарных состояниях и частотах излучения при квантовых переходах. Уровни энергии и оптические спектры. Упругие и неупругие столкновения. Опыт Франка и Герца. Модели атома по Бору и по Бору–Зоммерфельду. Изотопический сдвиг уровней.

Корпускулярно-волновой дуализм вещества. Волны де Бройля. Эксперименты по дифракции микрочастиц (электронов, нейтронов, атомов, молекул). Роль измерения. Принцип дополнительности.

3. Основные положения квантовой механики

Состояние квантовой системы и волновая функция. Вероятностная интерпретация волновой функции. Принцип суперпозиции. Соответствие между физическими величинами и операторами. Физический смысл собственных функций и собственных значений. Операторы координаты, импульса и энергии. Временное уравнение Шредингера. Нестационарные и стационарные состояния. Уравнение Шредингера для стационарных состояний и квантование энергии.

Средние значения физических величин. Соотношения неопределенностей Гейзенберга. Законы сохранения в квантовой механике.

Одномерные задачи квантовой механики. Прямоугольная потенциальная яма. Линейный гармонический осциллятор. Потенциальные барьеры. Туннельный эффект и его проявления. Эффект Рамзауэра.

4. Механический и магнитный моменты атомных систем

Оператор момента импульса. Квантование проекций и квадрата момента импульса. Классификация состояний по моменту импульса. Векторная модель сложения моментов импульса.

Магнитный момент атомной системы, гиромагнитное отношение. Магнетон Бора. Прецессия моментов во внешнем магнитном поле. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона и других микрочастиц. Полный момент атомной системы. Спин-орбитальное взаимодействие. Множитель Ланде.

Магнитный резонанс и методы его наблюдения (метод пучков Раби, ЭПР и ЯМР). Магнитно-резонансные измерения g -фактора. Понятие о магнитной томографии.

5. Излучение атомных систем

Интенсивности спектральных линий. Правила отбора и их связь с законами сохранения момента импульса и четности.

Время жизни возбужденных состояний. Естественная ширина уровня энергии и спектральной линии. Уширение линий из-за эффекта Доплера и столкновений.

6. Строение и свойства атомов

Атом водорода и водородоподобные системы. Квантовые числа для электрона в атоме. Уровни энергии и волновые функции. Распределение электронной плотности. Специфическое кулоновское вырождение. Тонкая структура уровней энергии и спектральных линий атома водорода. Формула Дирака. Лэмбовский сдвиг. Сверхтонкая структура.

Многоэлектронные атомы. Неразличимость одинаковых микрочастиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Учет взаимодействия электронов. Одноэлектронное приближение. Самосогласованное поле. Эффективная потенциальная энергия. Экранирование. Атомные орбитали, оболочки и слои. Общий характер зависимости энергии связи электрона в сложном атоме от квантовых чисел n и l . Состояние атома в целом. Электронная конфигурация. Последовательность заполнения электронных оболочек и слоев. Правила Хунда. Периодическая система элементов Менделеева.

Уровни энергии и спектры атомов щелочных металлов.

Рентгеновские уровни энергии и характеристические спектры. Закон Мозли. Эффект Оже. Поглощение рентгеновских лучей.

Отрицательные ионы. Сродство к электрону.

Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана в слабых и сильных полях. Атом в электрическом поле. Эффект Штарка.

7. Строение и свойства молекул

Виды движений в молекуле. Адиабатическое приближение. Порядки величин электронной, колебательной и вращательной энергий. Квантовая природа химической связи в молекулах. Ионная и ковалентная связь.

Колебания и вращения двухатомных молекул. Вращательные, колебательные и электронные спектры молекул. Комбинационное рассеяние.

8. Квантовые свойства твердых тел

Кристаллическая структура. Типы связей в кристаллах. Колебания решетки. Фононы. Основные представления зонной теории. Проводники, диэлектрики и полупроводники. Магнитные свойства твердых тел. Сверхпроводимость.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Формы контроля знаний
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	Управляемая самостоятельная работа	Иное	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Введение	2				метод. пособие	опрос
2.	Развитие квантовых представлений	6	4	12		метод. пособие	1 – 7
3..	Основные положения квантовой механики	6	6	12		метод. пособие	1 – 7
4.	Механический и магнитный моменты атомных систем	4	4			метод. пособие	1 – 7
5.	Излучение атомных систем	2	2	12		метод. пособие	1 – 7
6.	Строение и свойства атомов	8	6	12		метод. пособие	1 – 7
7.	Строение и свойства молекул	6	2			метод. пособие	1 – 7
8.	Квантовые свойства твердых тел	4	4			метод. пособие	1 – 7
	Контрольная работа		2				
ВСЕГО:		38	30	48			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА*****Основная***

1. Гершензон, Е. М. Оптика и атомная физика : учеб. пособие для ВУЗов / Е. М. Гершензон, Н. Н. Малов, А. Н. Мансуров. – М. : Изд –й центр "Академия", 2000. – 408 с.
2. Кузнецов, С. И. Физика : Оптика. Элементы атомной и ядерной физики. Элементарные частицы : учеб. пособие для ВУЗов / С. И. Кузнецов. – М. : Юрайт, 2018. – 301 с.
3. Луцевич, А. А. Оптика и квантовая физика : пособие / А. А. Луцевич, В. Ф. Малишевский; Мин –во образования РБ, УО "МГЭИ им. А. Д. Сахарова" БГУ. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – 240 с.
4. Маскевич, С. А. Атомная физика: практикум по решению задач: учебное пособие / С. А. Маскевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2023. – 327 с.
5. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие : в 5 т. Т. 5 : Атомная и ядерная физика / Д. В. Сивухин. – 3 –е изд., стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ , 2008. – 784 с.

Дополнительная

6. Атомная физика. Теоретические основы и лабораторный практикум : учеб. пособие для студ. вузов / В. Е. Граков [и др.] ; под науч. ред. А. Клищенко. – Минск; Москва : Новое знание : ИНФРА-М, 2011. – 333 с.
7. Будкер Д. , Кимбелл Д., ДеМилль Д. Атомная физика. Освоение через задачи / Пер. с англ. под ред. Е. Б. Александрова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 400 с.
8. Годлевская, А. Н. Физика атома и атомных явлений : учебное пособие / А. Н. Годлевская, В. Г. Шолох. — Гомель : ГГУ имени Ф. Скорины, 2021. — 307 с.
9. Григорьев, Ю. М. Физика атома и атомных явлений : учебное пособие / Ю. М. Григорьев, И. С. Кычкин. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2015. — 368 с.
10. Докучаев, Я. П. Физика атома и атомных явлений. Физика атомного ядра и частиц : текст лекций / Я. П. Докучаев ; Ярославский гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль : ЯрГУ, 2006. – 135 с.
11. Маскевич, С. А. Атомная физика : практикум по решению задач : учебное пособие / С. А. Маскевич. – Минск : Вышэйшая школа, 2010. – 455 с.
12. Маскевич, С. А. Атомная физика. Тестовые задания : учеб. пособие для студ. / С. А. Маскевич. – Гродно : ГрГУ, 2006. – 238 с.
13. Савельев, И. В. Курс общей физики : учебное пособие: в 5 томах / И. В. Савельев. – 5-е изд. – Санкт-Петербург : Лань, 2021 – Том 5: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц – 2021. – 384 с.

Рекомендуемые формы контроля знаний

С целью диагностики знаний, умений и навыков студентов по данной дисциплине рекомендуется использовать:

- 1) индивидуальные задания;
- 2) контрольные работы;
- 3) самостоятельные работы;
- 4) коллоквиумы по пройденному теоретическому материалу;
- 5) устный опрос в ходе практических и лабораторных занятий;
- 6) проверку конспектов лекций студентов;
- 7) тестирование, включая компьютерное.

Инновационные методы и подходы к изучению дисциплины

При изучении дисциплины рекомендуется использовать практико-ориентированный подход, который предполагает: освоение содержания образования через решения практических задач; приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности; ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры; использование процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

При реализации данной дисциплины используются следующие виды учебных занятий: лекции, консультации, практические занятия, лабораторные занятия и самостоятельная работа студента.

В рамках лекционных занятий предусмотрено использование мультимедийных средств.

В процессе проведения практических заданий используются дидактические материалы, включающие задачи повышенной сложности. Использование дидактических материалов позволяет работать хорошо успевающим студентам с большим коэффициентом полезного действия.

Изучение дисциплины предусматривает систематическую самостоятельную работу студентов с рекомендуемыми учебно-методическими материалами, Internet-источниками и другими источниками.

Для организации самостоятельной работы студентов по курсу необходимо использовать современные технологии: разместить в сетевом доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (программа, методические указания к практическим занятиям, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме для самоконтроля и др.).

Самостоятельная работа осуществляется в виде аудиторных и внеаудиторных форм. Для самостоятельной работы студентам предлагаются индивидуальные домашние задания. В рамках индивидуальных консультаций студенты обсуждают ход выполнения индивидуальных домашних заданий.

Темы самостоятельных работ

1. Понятие о магнитной томографии.
2. Время жизни возбужденных состояний. Естественная ширина уровня энергии и спектральной линии. Уширение линий из-за эффекта Доплера и столкновений.
3. Периодическая система элементов Менделеева.
4. Атом в электрическом поле. Эффект Штарка.
5. Комбинационное рассеяние.
6. Магнитные свойства твердых тел.
7. Сверхпроводимость.

Рекомендуемые темы практических занятий

1. Постулаты Бора и боровская модель атома.
2. Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей.
3. Основные положения и простейшие задачи квантовой механики.
4. Атом водорода. Тонкая структура уровней и спектральных линий.
5. Многоэлектронные атомы: слои и оболочки, векторная модель, оптические и рентгеновские спектры.
6. Атом в магнитном поле.
7. Свойства двухатомных молекул.
8. Квантовые свойства кристаллов.

Рекомендуемые темы работ лабораторных занятий

1. Изучение спектра атома водорода.
2. Изотопический сдвиг в спектре атомарного водорода.
3. Дифракция электронов в кристаллических структурах.
4. Квантование энергии и волновые функции электрона в атоме водорода.
5. Стационарные состояния электрона в одномерных потенциальных ямах.
6. Тормозное рентгеновское излучение.
7. Характеристические рентгеновские спектры.
8. Эффект Рамзауэра.
9. Колебательные состояния двухатомной молекулы.
10. Изучение спектров.
11. Опыт Штерна и Герлаха.

Рекомендуемые темы коллоквиумов

1. Интерференция, дифракция и поляризация света.
2. Применение оптических явлений в медицине.

Протокол согласования учебной программы

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Согласования с другими дисциплинами не требуется			