

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Атомная физика

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы

Медицинская физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Атомная физика» относится к базовой части, является обязательным для освоения, преподается на 3 году обучения, в 1 семестре.

Цели освоения модуля. главной целью дисциплины «Атомная физика» является создание фундаментальной базы знаний о явлениях, законах, строения атома и основами квантовой физики. Дисциплина «Атомная физика» является базой, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение в рамках цикла курсов по теоретической физике и специализированных курсов. Для усвоения данного курса необходимо знание основных физических законов и явлений в объеме школьного курса физики и дисциплин «Механика», «Электричество и магнетизм», «Колебания и волны».

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: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности | (ОПК-1) Знать фундаментальные понятия, законы и модели атомной физики (ОПК-1) Уметь применять законы и модели атомной физики для решения профессиональных задач. (ОПК-1) Владеть навыками решения задач, основываясь на знаниях, полученных в ходе освоения дисциплины. |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | очная |
|--|----------------------|
| Общая трудоемкость, з.е. | 4 |
| Часов по учебному плану | 144 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 48 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 32 |
| - КСР | 2 |
| самостоятельная работа | 26 |
| Промежуточная аттестация | 36 экзамен |

Содержание дисциплины «Атомная физика»

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине | 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 | |
| 5 семестр | | | | | | |
| «Атомная физика» | | | | | | |
| Основные параметры атомов. | 6 | 2 | 2 | – | 4 | 2 |
| Проблема теплового излучения. | 7 | 3 | 2 | – | 5 | 2 |
| Фотоны. | 7 | 3 | 2 | – | 5 | 2 |
| Волновые свойства массивных частиц. | 7 | 3 | 2 | – | 5 | 2 |
| Соотношения неопределенностей | 7 | 3 | 2 | – | 5 | 2 |
| Планетарная модель атома | 7 | 3 | 2 | – | 5 | 2 |
| Постулаты Бора | 7 | 3 | 2 | – | 5 | 2 |
| Волновая функция, операторы физических величин, уравнение Шредингера. | 9 | 4 | 3 | – | 7 | 2 |
| Атом водорода | 8 | 4 | 2 | – | 6 | 2 |
| Многоэлектронные атомы | 8 | 4 | 2 | – | 6 | 2 |
| Периодическая таблица химических элементов Менделеева. | 6 | 3 | 2 | – | 5 | 1 |
| Атомные термы и оптические спектры атомов. | 6 | 3 | 2 | – | 5 | 1 |
| Рентгеновские лучи. | 6 | 3 | 2 | – | 5 | 1 |
| Атомы во внешних электрическом и магнитном полях. | 6 | 3 | 2 | – | 5 | 1 |
| Молекулы и химическая связь. | 9 | 4 | 3 | – | 7 | 2 |
| В т.ч. текущий контроль | 2 | | | | | |
| Промежуточная аттестация – экзамен (36 часов) | | | | | | |

Раздел «Атомная физика»

1. Основные параметры атомов. Атомная гипотеза. Масса и заряд электрона. Масс-спектрометрия. Изотопы. Определение размеров атома.
2. Проблема теплового излучения. Равновесное тепловое излучение. Спектральная плотность излучения, удельная интенсивность излучения, их связь. Закон Кирхгофа. Абсолютно черное тело. Закон Стефана-Больцмана. Закон Вина. Формула Рэлея-Джинса. Гипотеза и формула Планка.
3. Фотоны. Вакуумный фотоэффект и его свойства. Фотонная теория и уравнение Эйнштейна. Импульс фотона и эффект Комптона.
4. Волновые свойства массивных частиц. Гипотеза де Бройля. Эксперименты Девиссона-Джермера и Томсона-Тартаковского. Дифракция атомов, молекул и нейтронов. Статистическая интерпретация волн де Бройля.
5. Соотношения неопределенностей. Интерференция электронов. Соотношения

- неопределенностей Гейзенберга. корпускулярно-волновой дуализм.
6. Планетарная модель атома. Рассеяние альфа-частиц. Формула Резерфорда. Атомное ядро и его основные характеристики. Проблема стабильности атома.
 7. Постулаты Бора. Линейчатый спектр атома водорода. Обобщенная формула Бальмера. Первый и второй постулаты Бора. Энергетическое соотношение неопределенностей. Естественная ширина спектральной линии.
 8. Волновая функция, операторы физических величин, уравнение Шредингера. Волновая функция и ее общие свойства и физический смысл. Гамильтониан и уравнение Шредингера. Операторы координат, импульса, потенциальной кинетической энергии. Собственные функции и собственные значения. Стационарные состояния. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Движение частиц в потенциальной яме. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
 9. Атом водорода. Уравнение Шредингера для стационарных состояний атома водорода. Волновые функции стационарных состояний атома водорода. Квантовые числа и их физический смысл. Пространственное распределение электронной плотности в стационарных состояниях атома водорода. Магнитные свойства атома водорода. Орбитальный магнитный момент электрона в атоме водорода. Опыты Штерна-Герлаха и Эйнштейна-де Газа. Собственный магнитный момент и спин. Квантование магнитного момента. Магнетон Бора. Полный механический и магнитный момент электрона. Спектроскопический фактор. Спин-орбитальное взаимодействие и тонкая структура спектра водорода.
 10. Многоэлектронные атомы. Опыт Франка-Герца. Тождественность частиц. Бозоны и фермионы. Одноэлектронные стационарные состояния. Принцип Паули. Электронные слои и оболочки в многоэлектронном атоме.
 11. Периодическая таблица химических элементов Менделеева. Периодический закон Менделеева. Электронные конфигурации основных состояний атомов химических элементов. Связь свойств химических элементов и электронных конфигураций их атомов. Сродство к электрону.
 12. Атомные термы и оптические спектры атомов. Сложение моментов импульса для многоэлектронных атомов. Атомные термы и их обозначения. Правило Хунда. Спектр атома гелия. Ортогелий и парагелий. Спектральные серии щелочных металлов. Тонкая структура оптических спектров. Мультиплеты.
 13. Рентгеновские лучи. Оптические и основные свойства. Исследования спектров рентгеновских лучей. Тормозное рентгеновское излучение. Коротковолновая граница непрерывного рентгеновского спектра. Характеристическое рентгеновское излучение и его основные серии. Закон Мозли. Тонкая структура характеристического рентгеновского излучения. Эффект Оже и рентгеновская флуоресценция.
 14. Атомы во внешних электрическом и магнитном полях. Эффект Зеемана и триплет Лоренца. Квантовый анализ эффекта Зеемана. Эффект Пашена-Бака. Эффект Штарка. Электронный парамагнитный резонанс. Автоионизация атома во внешнем электрическом поле.
 15. Молекулы и химическая связь. Основные характеристики молекул. Ионная химическая связь. электроотрицательность. Уравнение Шредингера для стационарных состояний молекул. Адиабатическое приближение. Ион молекулы водорода. Образование ковалентной химической связи. Метод молекулярных орбиталей. Молекулярные спин-орбитали и орбитали. Линейные комбинации атомных орбиталей. Применение метода МО ЛКАО для двухатомных гомоядерных молекул. Вариационный метод и молекулярные термы. Вариационный метод Ритца. Секулярное уравнение. Применение метода к двухатомным гетероядерным молекулам. Молекулярные термы двухатомной молекулы. Молекулярные спектры. Вращательные спектры. Колебательно-вращательные спектры. Принцип Франка-Кондона. Полосатые оптические спектры. Рентгеновские молекулярные спектры.

4. Образовательные технологии

1. Чтение лекций;
2. сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
3. методика «вопросы и ответы»;
4. выполнение практического задания у доски;
5. индивидуальная работа над практическим заданием;
6. работа в парах над практическим заданием;
7. работа в малых группах над практическим заданием;
8. методика «мозговой штурм».

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов предусматривает выполнение домашних заданий, решение задач, изучение рекомендованной литературы и подготовку к зачетам и экзаменам. Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя устный опрос на практических занятиях, в процессе лекций, активность в обсуждении качественных вопросов. Для контроля промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Атомная физика» используются вопросы задачи по нижеприведенным темам.

Раздел «Атомная физика»

1. Атомная гипотеза. Закон Дальтона.
2. Характеристики электронов и их измерение.
3. Масс-спектрометрия. Атомная единица массы.
4. Изотопы.
5. Размеры атомов и их измерение.
6. Характеристики равновесного теплового излучения.
7. Закон Кирхгофа.
8. Закон Стефана-Больцмана.
9. Закон Вина.
10. Формула Рэлея-Джинса. Ультрафиолетовая катастрофа
11. Гипотеза и формула Планка для спектральной плотности теплового излучения.
12. Вакуумный фотоэффект и его свойства.
13. Фотонная теория и уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
14. Эффект Комптона. Импульс фотона. Комptonовская длина электрона.
15. Гипотеза де Бройля.
16. Эксперименты Девиссона-Джермера и Томсона-Тартаковского.
17. Дифракция атомов, молекул и нейтронов.
18. Статистическая интерпретация волн де Бройля.
19. Соотношения неопределенностей Гейзенберга.
20. Корпускулярно-волновой дуализм.
21. Рассеяние альфа-частиц на атомах тяжелых металлов.
22. Формула Резерфорда.
23. Атомное ядро и его основные характеристики.
24. Проблема стабильности атома в классической теории.
25. Линейчатый спектр атома водорода. Обобщенная формула Бальмера.
26. Первый и второй постулаты Бора.
27. Энергетическое соотношение неопределенностей.
28. Естественная ширина спектральной линии.
29. Волновая функция и ее общие свойства и физический смысл.
30. Гамильтониан и уравнение Шредингера.

31. Собственные функции и собственные значения.
32. Операторы координат, импульса, потенциальной и кинетической энергии.
33. Оператор момента импульса.
34. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.
35. Движение частиц в потенциальной яме.
36. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
37. Уравнение Шредингера для стационарных состояний атома водорода.
38. Волновые функции стационарных состояний атома водорода.
39. Квантовые числа и их физический смысл.
40. Пространственное распределение электронной плотности в стационарных состояниях атома водорода.
41. Орбитальный магнитный момент электрона в атоме водорода.
42. Опыты Штерна-Герлаха и Эйнштейна-де Гааза
43. Собственный магнитный момент и спин.
44. Квантование магнитного момента. Магнетон Бора.
45. Полный механический и магнитный момент электрона.
46. Спектроскопический фактор.
47. Спин-орбитальное взаимодействие
48. Тонкая структура спектра водорода.
49. Опыт Франка-Герца.
50. Тождественность частиц. Бозоны и фермионы.
51. Одноэлектронные стационарные состояния.
52. Принцип Паули.
53. Электронные слои и оболочки в многоэлектронном атоме.
54. Электронные конфигурации основных состояний атомов химических элементов.
55. Связь свойств химических элементов и электронных конфигураций их атомов.
56. Сродство к электрону.
57. Сложение моментов импульса для многоэлектронных атомов.
58. Атомные термы многоэлектронных атомов.
59. Правило Хунда.
60. Спектр атома гелия. Ортогелий и парагелий.
61. Спектральные серии щелочных металлов.
62. Тонкая структура оптических спектров. Мультиплеты.
63. Основные свойства рентгеновских лучей.
64. принципы спектроскопии рентгеновских лучей.
65. Тормозное рентгеновское излучение. Коротковолновая граница непрерывного рентгеновского спектра.
66. Характеристическое рентгеновское излучение и его основные серии.
67. Закон Мозли.
68. Тонкая структура характеристического рентгеновского излучения.
69. Эффект Оже.
70. Методы возбуждения рентгеновского излучения.
71. Эффект Зеемана и его классическая теория.
72. Квантовый анализ эффекта Зеемана.
73. Эффект Пашена-Бака.
74. Эффект Штарка.
75. Электронный парамагнитный резонанс.
76. Автоионизация атома во внешнем электрическом поле.
77. Основные характеристики молекул.
78. Ионная химическая связь. Электроотрицательность.
79. Уравнение Шредингера для стационарных состояний молекул.
80. Адиабатическое приближение.

81. Ион молекулы водорода.
82. Образование ковалентной химической связи.
83. Молекулярные спин-орбитали и орбитали.
84. Линейные комбинации атомных орбиталей для двухатомных гомоядерных молекул.
85. Вариационный метод Ритца. Секулярное уравнение. Применение метода к двухатомным гетероядерным молекулам.
86. Молекулярные термы двухатомной гетероядерной молекулы.
87. Вращательные молекулярные спектры.
88. Колебательно-вращательные спектры молекул.
89. Принцип Франка-Кондона.
90. Полосатые оптические спектры. Диаграммы Фортра.
91. Рентгеновские молекулярные спектры.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

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

- ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности
- (ОПК-1) Знать фундаментальные понятия, законы и модели атомной физики
- (ОПК-1) Уметь применять законы и модели атомной физики для решения профессиональных задач.
- (ОПК-1) Владеть навыками решения задач, основываясь на знаниях, полученных в ходе освоения дисциплины.

Описание шкал оценивания

Критерии оценок экзамена:

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твёрдое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном объеме.

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

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания. (В приложении)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Атомная физика»

а) основная литература:

1. Фаддеев М.А., Чупрунов Е.В. Лекции по атомной физике: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальностям 010400 - физика и 010600 физика конденсир.состояния вещества и по направлению 510400 - физика. - М.: Физматлит, 2008. - 612 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=488545>
2. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т.1. М.: Наука, 1974
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=85810&DB=1>
3. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т.2. М.: Наука, 1974
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=85816&DB=1>
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.5. Атомная и ядерная физика. Ч.1. М.: Наука, 1986.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=342115&DB=1>
5. Фаддеев М. А. - Элементарная обработка результатов эксперимента: учеб. пособие. - Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2004. - 120 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=467611&DB=1>

б) дополнительная литература:

1. Матвеев А.Н. Квантовая механика и строение атома. М.: Высш. школа, 1965.
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Matveev1965ru.djvu>
2. Матвеев А. Н. - Атомная физика: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М.: Высшая школа, 1989. - 439 с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=85801&DB=1>
3. Вихман Э. Квантовая физика. М.: Наука. 1977.
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Berkeley_t4_ru.djvu
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Краткий курс теоретической физики, том 2: Квантовая механика. М.: Наука, 1972. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=376532>
5. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики, том 2 (2-е издание). М.: Наука, 1971.
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/LevichVdovinMyamlin_t2_1971ru.djvu
6. Медведев Б.В. Начала теоретической физики. Механика. Теория поля. Элементы квантовой механики. М.: Наука, 1977.
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Medvedev1977ru.djvu>
7. Поль Р.В. Оптика и Атомная физика. М.: Наука, 1966.
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Pohl1966ru.djvu>
8. Путилов К.А., Фабрикант В.А. Курс физики. Том 3. Оптика. Атомная физика. Ядерная физика (2-е издание). М.: ГИФМЛ, 1963.
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/PutilovFabrikant_t3_1963ru.djvu
9. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М.: ГИФМЛ, 1963.
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Sobelman1963ru.djvu>
10. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 3. Оптика. Атомная физика. М.: Наука, 1971.
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Savelev_t3_1971ru.djvu
11. Савельев И.В. Основы теоретической физики. Том. 2. Квантовая механика. М.: Наука, 1977. http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Savelev_TeorPhys_t2_1977ru.djvu
12. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Том 3. Оптика. Атомная физика (6-е издание). М.: ГИФМЛ, 1961.
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/FrishTimoreva_t3_1961ru.djvu
13. Борн М. Атомная физика. М.: Мир, 1965.
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Born1965ru.djvu>
14. Соколов А.А., Тернов И.М. Квантовая механика и атомная физика. М.: Просвещение,

1970. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/SokolovTernov1970ru.djvu>
15. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов. М.-Л.: ГИФМЛ, 1963.
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Frish1963ru.djvu>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:
<http://phys.unn.ru/library.asp?contenttype=Library>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Атомная физика»

помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Авторы: доценты кафедры КРЭФ Марычев М.О.

Заведующий кафедрой _____ Е.В. Чупрунов

Рецензент

Зам. декана по учебной работе

О.В. Белова

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ от «___» _____ 2021 года, протокол № б/н

Председатель

Учебно-методической комиссии

физического факультета ННГУ _____ / Перов А.А. /

Приложение 1

ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности

| Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | | |
|--|--|--|--|--|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ЗНАТЬ фундаментальные понятия, законы и модели классической физики. | Отсутствие знаний | Фрагментарное знание фундаментальных понятий, законов и моделей классической физики. | В целом успешное знание фундаментальных понятий, законов и моделей классической физики | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание фундаментальных понятий, законов и моделей классической физики | Успешное и систематическое знание фундаментальных понятий, законов и моделей классической физики |
| УМЕТЬ: применять законы классической физики для анализа процессов, происходящих в различных физических процессах. | Отсутствие умений | Частично освоенное умение применять законы классической физики для анализа процессов, происходящих в различных физических процессах. | В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение применять законы классической физики для анализа процессов, происходящих в различных физических процессах | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять законы классической физики для анализа процессов, происходящих в различных физических процессах | Сформированное умение применять законы классической физики для анализа процессов, происходящих в различных физических процессах |
| ВЛАДЕТЬ: навыками решения задач, основываясь на знаниях, полученных в ходе освоения модуля. | Отсутствие навыков | Фрагментарное применение навыков решения задач, основываясь на знаниях, полученных в ходе освоения модуля. | В целом успешное, но не систематическое применение навыков решения задач, основываясь на знаниях, полученных в ходе освоения модуля | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков решения задач, основываясь на знаниях, полученных в ходе освоения модуля | Успешное и систематическое применение навыков решения задач, основываясь на знаниях, полученных в ходе освоения модуля |