

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета



С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Атомная физика

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Профиль подготовки
«Фундаментальная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2021

Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.04.05

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск – 2021

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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

– ПК-1 – Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1. – Знает основные законы, модели и методы исследования физических процессов и явлений;

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить понятийный аппарат и методы атомной физики.

– Научиться применять понятийный аппарат атомной физики для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 5, зачет с оценкой.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 48 ч.;

– лабораторные работы: 32 ч.

– в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. *Развитие атомистических представлений о структуре вещества.* Доказательства атомного строения вещества. Открытие электронов и ионов. Модель атома Томсона. Спектры атомов. Классическая теория эффекта Зеемана. Рентгеновское излучение. Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома.

Тема 2. *Развитие представлений о квантовых свойствах вещества.* Излучение абсолютно черного тела. Гипотеза Планка о квантах. Фотоэффект. Эффект Комптона. Теория Бора атома водорода. Опыты Франка-Герца.

Тема 3. *Атом водорода.*

Решение уравнения Шредингера для атома водорода. Угловой момент в квантовой механике, векторная модель. Спин электрона. Опыт Штерна-Герлаха. Излучение атомов. Релятивистские взаимодействия в атоме водорода.

Тема 4. *Многоэлектронные атомы.*

Уравнение Шредингера для многоэлектронного атома. Приближение центрального поля. Принцип Паули. Порядок заполнения электронных оболочек и объяснение периодического закона. Структура уровней энергии атомов. Теория рентгеновских спектров атомов.

Тема 5. *Атомы во внешних полях.*

Поведение атомов во внешнем магнитном поле. Диамагнетики и парамагнетики. Простой и сложный эффекты Зеемана. Эффект Пашена — Бака. Поведение атомов во внешнем электрическом поле. Эффект Штарка.

Тема 6. *Строение молекул и кристаллов.*

Строение молекулы водорода. Электронные, колебательные и вращательные уровни энергии молекул. Простейшая модель движения электронов в кристалле.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущая аттестация включает результаты выполнения лабораторных работ (30 баллов), коллоквиумов (20 баллов) и тестов или контрольных заданий (10 баллов). Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

Перечень рекомендуемых лабораторных работ:

1. Определение постоянной Ридберга по спектру водорода
2. Исследование характеристического рентгеновского излучения
3. Дублетное расщепление рентгеновского излучения Fe и Co
4. Изучение теплового излучения и проверка закона Стефана-Больцмана
5. Зависимость силы фототока от длины волны света
6. Зависимость силы фототока от интенсивности падающего света
7. Дифракция электронов
8. Опыт Франка и Герца
9. Изучение электронного парамагнитного резонанса
10. Определение работы выхода электронов из металла
11. Эффект Холла в полупроводниках
12. Исследование температурной зависимости электропроводности металлов и полупроводников

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в 5 семестре проводится в устной форме по билетам. На промежуточную аттестацию планируется не более 40% рейтинга.

Таблица 1 – Критерии формирования оценки на дифференцированном зачете

Баллы	Результат, продемонстрированный студентом на экзамене
30-40	Студент, твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, способен самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.
20-29	Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает не критичные неточности в ответе
10-19	Студент, показывает фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирует базовые понятия.
<10	Студенту не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.

Результаты дифференцированного зачета определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соответствие с классической пятибалльной шкалой:

55-69 соответствует оценке «удовлетворительно»,

70-89 – «хорошо»,

90- 100 - «отлично».

Экзаменационный билет состоит из двух частей.

Первая часть представляет собой вопрос, включая задачи, проверяющие сформированность компетенции ОПК-1 в соответствии с индикатором ИОПК-1.1. Ответы даются в развернутой форме.

Вторая часть содержит 2 дополнительных вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих сформированность компетенции ПК-1 и соответствие индикатору достижения компетенции ИПК-1.1. Ответ на вопрос второй части дается в краткой форме, включающей краткую интерпретацию полученных результатов.

Перечень контрольных вопросов, выносимых на дифференцированный зачет

1. Химические доказательства атомного строения вещества.
2. Физические доказательства атомного строения вещества.
3. Открытие электрона.
4. Открытие ионов. Измерение масс атомов. Модель атома Томсона.
5. Оптические спектры атомов.
6. Классическая теория эффекта Зеемана.
7. Рентгеновское излучение.
8. Дифракция рентгеновского излучения.
9. Опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц. Планетарная модель атома.
10. Излучение черного тела. Формула Планка.
11. Фотоэффект. Эффект Комптона.
12. Теория Бора атома водорода. Квантование круговых орбит.
13. Теория Бора атома водорода. Квантование эллиптических орбит.
14. Экспериментальное доказательство существования уровней энергии атомов.
15. Решение уравнения Шредингера для атома водорода.
16. Угловой момент в квантовой механике. Векторная модель.
17. Спин электрона. Опыт Штерна-Герлаха.
18. Излучение атомов.
19. Релятивистские взаимодействия в атоме водорода.
20. Релятивистские поправки к энергии атома водорода.
21. Приближение центрального поля. Принцип Паули.
22. Порядок заполнения электронных оболочек атомов.
23. Уровни энергии многоэлектронных атомов. Приближения LS- и jj-связи.
24. Теория рентгеновских спектров.
25. Атом в слабом внешнем магнитном поле. Эффект Зеемана.
26. Атом в сильном внешнем магнитном поле. Эффект Пашена - Бака.
27. Атом во внешнем электрическом поле. Эффект Штарка.
28. Уравнение Шредингера для молекулы водорода.
29. Электронные, колебательные и вращательные уровни энергии молекул.
30. Модель движения электронов в кристалле.

Примеры типовых контрольных заданий для оценки результатов обучения

Проверочные задания по темам 1-2

Вариант №1

1. Пучок нерелятивистских заряженных частиц проходит, не отклоняясь, через область, в которой созданы поперечные взаимно-перпендикулярные электрические и магнитные поля с напряженностью E и индукцией B . Размер области равен L . На расстоянии D от области находится

- экран. Если магнитное поле выключить, след пучка на экране смещается на расстояние x . Определить удельный заряд частиц.
2. Чем различаются ионы, соответствующие одной и той же параболе Томсона, но попадающие на нее ближе или дальше от начала координат? Почему это различие существует, хотя все ионы ускоряются одним и тем же напряжением?
 3. Найти для водородоподобного атома радиус n -й боровской орбиты и скорость электрона на ней.

Вариант №2

1. Два положительно заряженных иона, имеющих одинаковые заряды q , но разные массы m_1 и m_2 , ускоряются из состояния покоя по горизонтали разностью потенциалов V . Затем они входят в область, где имеется однородное электрическое поле E , направленное вверх. Ось x считается направленной вдоль первоначальной скорости ионов. а) Найти зависимость координаты y для каждого из ионов от x . б) Можно ли такую комбинацию полей использовать для разделения изотопов?
2. Какая картина наблюдалась бы на экране в опыте Томсона, если бы каналовые лучи состояли из гипотетических частиц (ворсионов), масса которых изменяется в пределах от 10 до 45 а.е.м, а заряд — в пределах от 1 до 4 элементарных зарядов?
3. Определить круговую частоту обращения электрона на n -й круговой боровской орбите водородоподобного атома.

Вариант №3

1. Два положительно заряженных иона, имеющих одинаковые заряды q , но разные массы m_1 и m_2 , ускоряются из состояния покоя по горизонтали разностью потенциалов V . Затем они входят в область, где имеется горизонтальное магнитное поле с индукцией B , направленное перпендикулярно направлению движения. Ось x считается направленной вдоль первоначальной скорости ионов. а) Найти зависимость координаты y для каждого из ионов от x . б) Можно ли такую комбинацию полей использовать для разделения изотопов?
2. Если в ионном пучке в опыте Томсона содержатся ионы двух видов, имеющих одинаковые заряды, но разные массы, то какому из отрезков парабол будут принадлежать ионы большей массы?
3. Показать, что предел, к которому сходятся длины волн серии Лаймана для атома водорода (коротковолновый предел) совпадает с коротковолновым пределом серии Бальмера для однократно ионизованного гелия.

Примеры проверочных заданий по темам 3-4

Вариант № 1

1. На какие подуровни расщепляется уровень атома водорода с главным квантовым числом $n = 3$ при учете релятивистских эффектов?
2. Какие значения квантового числа J может иметь атом в состоянии с квантовыми числами S и L , равными соответственно: а) 2 и 3; б) 3 и 3; в) $5/2$ и 2.
3. Найти длину волны K_α -линии меди ($Z = 29$), если известно, что длина волны K_α -линии железа ($Z = 26$) равна 193 пм.

Вариант № 2

1. С каких подуровней уровня атома водорода с главным квантовым числом $n = 2$ возможен переход в основное состояние атома водорода?
2. Найти максимально возможный полный угловой момент и соответствующее спектральное обозначение терма атома с электронной конфигурацией $1s^2 2p 3d$.
2. При некотором напряжении на рентгеновской трубке с алюминиевым антикатодом длина волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра равна 0,5 нм. Будет ли наблюдаться при этом K -серия характеристического спектра, потенциал возбуждения которого равен 1,56 кВ?

Вариант № 3

1. Объяснить, почему головная линия серии Лаймана в атоме водорода представляет собой дублет.
2. Найти максимально возможный полный угловой момент и соответствующее спектральное обозначение термина атома натрия, валентный электрон которого имеет главное квантовое число 4.
2. При увеличении напряжения на рентгеновской трубке от $U_1 = 10$ кВ до $U_2 = 20$ кВ интервал длин волн между K_α -линией и коротковолновой границей сплошного рентгеновского спектра увеличился в $n = 3$ раза. Определить порядковый номер элемента антикатада данной трубки, считая, что данный элемент является легким.

Примеры проверочных заданий по темам 4-5

Вариант № 1

1. Какой эффект Зеемана (простой или сложный) наблюдается в слабом магнитном поле для спектральных линий, соответствующих следующим переходам: а) $^1P \rightarrow ^1S$;
б) $^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$; в) $^3D_1 \rightarrow ^3P_0$?
2. Объяснить, какую роль играет тождественность электронов в молекуле водорода.

Вариант № 2

1. На сколько подуровней расщепится в слабом магнитном поле терм: а) 3P_0 ; б) $^5F_{5/2}$;
в) $^4D_{1/2}$?
2. Объяснить происхождение электронных, колебательных и вращательных спектров двухатомной молекулы.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=30151>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к зачету.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение.

1. Дифракция рентгеновских лучей. Опыты Лауэ, Вульфа-Бреггов и Дебая.
2. Классическая теория эффекта Зеемана для планетарной модели атома.
3. Квантование энергии сферически-симметричного гармонического осциллятора с помощью теории Бора-Зоммерфельда.
4. Порядок заполнения электронных оболочек атомов.
5. Вычисление магнитной восприимчивости парамагнетиков.

Литература к темам для самостоятельного изучения

А) <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=30151>

– Глазков В. Атомная и ядерная физика (курс лекций) / В. Глазков. – М., 2016 г. – 204 с.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Шпольский, Э.В. Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику: учебник / Э.В. Шпольский. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 560 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/442>.
2. Шпольский, Э.В. Атомная физика. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома: учебник / Э.В. Шпольский — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 448 с. — <https://e.lanbook.com/book/443>.
3. Сивухин Д. В. Атомная и ядерная физика. Часть 1. Физматлит, 2006
4. Матвеев А.Н. Атомная физика. -Оникс. Мир и Образование, 2007. - 439с.

б) дополнительная литература:

1. Уэр М.Р., Ричардс Д.А. Физика атома. - М.: Госатомиздат, 1961. - 304с.
2. Борн М. Атомная физика. - М.:Мир, 1967. - 494с.

в) ресурсы сети Интернет:

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Печерицын Алексей Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и экспериментальной физики физического факультета Томского государственного университета.