

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
С. Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Теория спектров излучения во внешних электрических полях

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
Фундаментальная и прикладная физика

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1 Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости

ИПК-1.2 Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать

2. Задачи освоения дисциплины.

– Освоить математический аппарат неприводимых тензорных операторов, теорию угловых моментов, теорию атомных спектров во внешних электрических полях.

– Научиться применять понятийный аппарат теории возмущений, теории угловых моментов и теории атомных спектров для корректного решения практических задач профессиональной деятельности, в частности, в физике плазмы.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Первый семестр, экзамен

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: квантовая механика, атомная физика, физика плазмы, элементарные процессы в плазме, диагностика плазмы.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Цели и задачи курса.

Спектры излучения плазмы и их регистрация. Характеристики плазмы, получаемые из спектров излучения. Нестационарное и стационарное уравнение Шредингера. Требования к волновым функциям. Методы решения уравнения Шредингера –

аналитический вариационный метод, метод Хартри-Фока, теория возмущений. Стационарная теория возмущений.

Тема 2. Водородоподобные атомы.

Приближение центрально симметричного поля. Нерелятивистское приближение. Поправки Брейта-Паули. Атомные орбитали и их квантовые числа. Вырождение энергетического спектра водородоподобных атомов. Релятивистские поправки на зависимость массы электрона от скорости и поправка на спин-орбитальное взаимодействие.

Тема 3. Систематика спектров многоэлектронных атомов

Полные волновые функции. Классификация состояний атомов в различных типах связи. Эквивалентные и неэквивалентные электроны. Строение оболочек. Четность и квантовое число старшинства, генеалогические коэффициенты. Конфигурации, термы, уровни, состояния и их статистические веса. Эмпирические правила для LS-связи – правила Гунда и Ланде. Теория угловых моментов – коэффициенты Клебша-Гордана, $3nj$ -символы и их свойства.

Тема 4. Расчет матричных элементов операторов.

Аппарат неприводимых тензорных операторов. Теорема Вигнера-Эккарта, приведенные матричные элементы операторов. Общая формула для расчета матричных элементов одноэлектронных операторов. Расчет энергетического функционала для многоэлектронного атома в представлении неприводимых тензорных операторов. Матричные элементы оператора спин-орбитального взаимодействия. Проблема удовлетворения условий ортогональности полных волновых функций. Различные варианты замораживания остова. Метод неортогональных орбиталей. Теорема Купманса. Программа Фрез-Фишер для расчета атомных спектров – одноконфигурационное приближение, CI HF, MC HF приближения.

Тема 5. Излучательные свойства плазмы.

Электрические мультипольные переходы. Вероятности переходов. Силы осцилляторов и силы линий. Переходы с участием и без участия электронов остова. Правила отбора. Время жизни возбужденных состояний – классическое и квантово-механическое представление. Интенсивность спектральных линий.

Тема 6. Спектры атомов в электрическом поле.

Воздействие электрического поля на спектр излучения. Эффект Штарка для водородоподобных атомов. Статический эффект Штарка – расчет в рамках стационарной теории возмущений. Расчет излучательных характеристик плазмы в постоянном электрическом поле. Динамический эффект Штарка – расчет в рамках нестационарной теории возмущений. Динамическая поляризуемость. Метод диагонализации матрицы энергии атома в переменном электрическом поле. Расчет излучательных характеристик плазмы в переменном электрическом поле.

Тема 7. Диагностика плазмы по контурам спектральных линий.

Естественная ширина линии – классическое и квантово-механическое представление. Столкновительные механизмы уширения. Доплеровское уширение. Фойгтовский контур линии. Влияние электрического поля на контуры спектральных линий. Уширение линий водородного спектра в плазме. Теория Хольцмарка. Уширение спектральных линий многоэлектронных атомов в постоянном электрическом поле. Ударное и статическое приближение. Радиус Вейскопфа. Уширение спектральных

линий многоэлектронных атомов в переменном электрическом поле. Диагностика плазмы на основании контуров спектральных линий.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в первом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Прочитанные лекции
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) План семинарских / практических занятий по дисциплине
курс лекционный.
- г) Методические указания по проведению лабораторных работ
курс лекционный.
- д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов
методические указания даются при чтении лекций.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
 - Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. – М.: Физматлит, 1963. – 640 с.
 - Фриш С.Э. Оптические спектры атомов. – М.: Физматлит, 1967. – 640 с.
 - Бом Д. Квантовая теория. – М.: Наука, 1965. – 727 с.
 - Кондиленко И.И., Коротков П.А. Введение в атомную спектроскопию. – Киев: Вища школа, 1976. – 303 с.
 - Никитин А.А., Рудзикас З.Б. Основы теории спектров атомов и ионов. – М.: Наука, 1983. – 320 с.
 - Делоне Н.Б., Крайнов В.П. Атом в сильном световом поле. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 224 с.
 - Рапопорт Л.Б., Зон Б.А., Манаков Н.Л. Теория многофотонных процессов в атомах. – М.: Энергоатомиздат, 1978. – 320 с.
 - Варшалович Д.А., Москалев А.Н., Херсонский В.К. Квантовая теория углового момента. – Ленинград.: Наука, 1975. – 182 с.
 - Делоне Н.Б., Крайнов В.П. Динамический штарковский сдвиг атомных уровней. – Успехи физических наук, 1999, №7, т. 169, с. 753–772.

- б) дополнительная литература:

- Любые издания, найденные в библиотеке и Интернете

- в) ресурсы сети Интернет:

– Любые издания, найденные в библиотеке и Интернете

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/>

в) профессиональные базы данных (*при наличии*):

– отсутствуют

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.

15. Информация о разработчиках

Корюкина Елена Владимировна, доктор физико-математических наук, доцент, кафедры физики плазмы физического факультета ТГУ, доцент.