

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора Института по научной работе
С.В. Лебедев
« 10 » _____ 2015 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Лазерная спектроскопия атомов, молекул и кластеров
основной образовательной программы подготовки
научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль 01.04.04 Физика и электроника

Квалификация:
Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Принято Ученым советом
Протокол №1 от 20 февраля 2015 г.

Санкт-Петербург
2015

Шерин

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями учебной дисциплины являются:

- создание у аспирантов комплекса знаний об оптических спектрах атомов, молекул и кластеров, об устройстве лазеров и методах лазерной спектроскопии, включая наиболее современные методы нелинейной лазерной спектроскопии и спектроскопии сверхбыстрых процессов;
- формирование представлений об особенностях строения атомов, молекул и кластеров с точки зрения современной квантовой теории, электронной структуры атомов, молекул и кластеров, о тонкой и сверхтонкой структуре атомов и молекул, о влиянии внешних магнитных и электрических полей и об основных элементарных динамических процессах, протекающих в возбужденных состояниях атомов молекул и кластеров под действием лазерного излучения: фотоионизация, фотодиссоциация, фотоассоциация;
- ознакомление аспирантов с последними достижениями области и взаимодействия излучения с веществом физики поверхности и перспективами их применения в физической электронике, оптике, наноэлектронике, биофизике.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Рассматриваемая дисциплина является вариативной (дисциплина по выбору) в плане подготовки аспирантов, обучающихся по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.04 «Физическая электроника».

При ее изучении используются знания и навыки, полученные аспирантами при изучении курсов общей и теоретической физики и предшествующих курсов специальных дисциплин по специализации «Физическая электроника». Методической основой изучения дисциплины являются курсы электродинамики, квантовой физики, статистической физики и квантовой электронике.

Актуальность изучения дисциплины определяется важной ролью физики атомов, молекул и кластеров в современной науке и технике, необходимостью комплекса знаний и умений, приобретаемых в ходе изучения курса, для практических применений. Тематика курса соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации: «Индустрия наносистем и материалов», «Науки о жизни».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Лазерная спектроскопия атомов, молекул и кластеров» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки Физика и астрономия:

3.1. Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

3.3. Профессиональные компетенции:

- способность формулировать задачи экспериментальных исследований, планировать и реализовывать постановку экспериментов, направленных на решение поставленных задач (ПК-1);
- способность анализировать и систематизировать научно-техническую информацию о новых разработках систем автоматизации физического эксперимента (ПК-2).
- способность организовывать разработку систем автоматизации физического эксперимента (ПК-3),
- способность к компьютерному моделированию (ПК-4).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану 144 часа, 4 ЗЕ.

4.2. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование разделов и тем	Трудоемкость (в ЗЕТ)	Объем работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			лекции	Лаб. / практ	самостоятельная работа	контроль
1	2	3	4	5	6	7
Раздел 1. Строение и спектры атомов						
Тема 1.1 Основы теории строения многоэлектронных атомов.		17	7		10	
Тема 1.2. Оптические переходы в атомах и формы спектральных линий		15	5		10	
Тема 1.3. Основные физические эффекты, наблюдаемые при взаимодействии атомов с лазерным излучением.		16	6		10	
Всего по разделу		48	18		30	
Раздел 2. Строение и спектры молекул и кластеров						
Тема 2.1. Основы теории строения молекул и кластеров.		16	6		10	
Тема 2.2. Оптические переходы в молекулах и кластерах		16	6		10	
Тема 2.3. Основные физические эффекты, наблюдаемые при взаимодействии молекул и кластеров с ла-		16	6		10	

зерным излучением.						
Всего по разделу		48	18		30	
Раздел 3. Принципы и методы лазерной спектроскопии						
Тема 3.1. Свойства лазерного излучения и строение лазеров		16	6		10	
Тема 3.2. Нелинейная лазерная спектроскопия		16	6		10	
Тема 3.3. Фемтосекундная лазерная спектроскопия		16	6		10	
Всего по разделу		48	18		30	
Всего по дисциплине	4	144	54		90	Зачет

4.3. Содержание разделов и тем

Раздел 1. Строение и спектры атомов

Тема 1.1. Основы теории строения многоэлектронных атомов.

Уравнение Шредингера, волновые функции и уровни энергии атома водорода, симметрия и законы сохранения. Уравнение Шредингера для многоэлектронного атома, вариационный принцип, систематика спектров многоэлектронных атомов, самосогласованное поле, уравнение Хартри-Фока. Электронные конфигурации, термы многоэлектронных атомов, четность волновой функции, правила отбора для дипольных радиационных переходов и их физический смысл, физический смысл правил отбора по квантовому числу M . Тонкая и сверхтонкая структура уровней энергии и спектральных линий.

Тема 1.2. Оптические переходы в атомах и формы спектральных линий

Оптические переходы в атомах, спектр электромагнитных колебаний, излучение абсолютно черного тела, поляризация электромагнитного излучения, оптические переходы и форма спектральных линий, коэффициенты Эйнштейна, интенсивность спектральных линий, поглощение и испускание, закон Ламберта-Бэра, механизмы уширения спектральных линий в газах и твердых телах, аналогия между электромагнитными колебаниями и движением атомных частиц, эксперимент с атомными частицами, волны Де-Бройля, интерференция волн материи.

Тема 1.3. Основные физические эффекты, наблюдаемые при взаимодействии атомов с лазерным излучением.

Многофотонные переходы, генерация гармоник, оптическая ориентация атомов, квантовый магнетометр, квантовый гироскоп, квантовый стандарт частоты, влияние внешних полей: эффект Штарка, эффект Зеемана, эффект Ханле, лазерное охлаждение атомов, квантовые биения, эффект пересечения уровней, фотоионизация атомов, ридберговские атомы, автоионизация атомов, надбарьерное поглощение, ионизация из внутренних оболочек, кулоновский взрыв.

Раздел 2. Строение и спектры молекул и кластеров

Тема 2.1. Основы теории строения молекул и кластеров

Волновые функции и уровни энергии молекулярного иона H_2^+ . Связывающие и антисвязывающие молекулярные орбитали. Симметрия одноэлектронных орбиталей, метод ЛКАО. Электронные конфигурации, волновые функции и термы многоэлектронной двухатомной молекулы. Химическая связь, электронные конфигурации и термы гомоатомных двух-

атомных молекул для элементов 1-го и 2-го периодов Периодической таблицы. Химическая связь, электронные конфигурации и термы гетероатомных двухатомных молекул. Связь симметрии молекул с их постоянным дипольным моментом и хиральностью. Симметрия электронных волновых функций молекул, таблицы характеров неприводимых представлений групп. Принцип Борна-Оппенгеймера. Колебательные волновые функции и уровни энергии двухатомной молекулы. Колебательные переходы в молекулах. Диаграмма Яблонского. Вращательная структура спектров молекул: сферический жесткий ротатор, симметричный/линейный жесткий ротатор, асимметричный ротатор, нежесткий ротатор.

Тема 2.2. Оптические переходы в молекулах и кластерах

Правила отбора во вращательных спектрах двухатомных молекул, интенсивности во вращательных спектрах, колебательно-вращательные переходы в молекулах и кластерах. Электронные переходы в молекулах и кластерах, правила отбора для электронных переходов в двухатомных молекулах, принцип Франка-Кондона. Применения теории групп в молекулярной спектроскопии. Оценка значений интегралов от волновых функций, построение волновых функций молекулы, соответствующих симметрии ее гамильтониана, правила отбора для радиационных переходов в многоатомных молекулах и кластерах.

Тема 2.3. Основные физические эффекты, наблюдаемые при взаимодействии молекул и кластеров с лазерным излучением.

Томсоновское рассеяние, комбинационное рассеяние, генерация гармоник, КАРС. Диссоциация и преддиссоциация молекул и кластеров, угловые распределения продуктов фотодиссоциации. Ионизация и автоионизация молекул и кластеров. Влияние внешних полей: эффект Штарка, эффект Зеемана. Лазерное охлаждение молекул. Выстраивание осей молекул интенсивным лазерным излучением.

Раздел 3. Принципы и методы лазерной спектроскопии

Тема 3.1. Свойства лазерного излучения и строение лазеров.

Принципы получения лазерной генерации. Основные свойства лазерного излучения. Устройство и принципы работы различных типов лазеров: твердотельные лазеры (рубиновый лазер, лазер на иттрий-алюминиевом гранате, лазер на неодимовом стекле), газовые лазеры (гелий-неоновый лазер, лазер на ионах аргона, лазер на углекислом газе), полупроводниковые лазеры, перестраиваемые лазеры (лазеры на растворах органических красителей, лазер на ионах титана в сапфире), эксимерные лазеры, лазер на свободных электронах. Принципы получения коротких и сверхкоротких лазерных импульсов (метод модуляции добротности, метод синхронизации мод).

Тема 3.2. Нелинейная лазерная спектроскопия.

Основные принципы нелинейной лазерной спектроскопии. Многофотонная лазерная спектроскопия поглощения, метод REMPI, метод ионных изображений. Комбинационное рассеяние в молекулах и кластерах, метод КАРС. Генерация гармоник. Спектроскопия насыщения. Оптоакустическая спектроскопия в растворах. Многофотонная ионизация молекул и кластеров интенсивным лазерным излучением.

Тема 3.3. Фемтосекундная лазерная спектроскопия.

Основные принципы фемтосекундной спектроскопии молекул, кластеров и биологических объектов в реальном масштабе времени. Метод pump-and-probe и его применения. Лазерно-индуцированная флуоресценция, регистрация времен жизни возбужденных молекул и кластеров. Исследование безызлучательных переходов в молекулах и кластерах в пико- и фемтосекундном временном диапазоне.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Лазерная спектроскопия атомов, молекул и кластеров» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- г) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию;

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Физика поверхности» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

Комплект оценочных средств для текущего контроля

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов реализуется в виде выступлений на семинарах по индивидуальным домашним заданиям, ответам, проведением теоретических зачетов.

Перечень контрольных вопросов к зачету, позволяющему оценить качество усвоения учебного материала:

1. Спектр электромагнитных колебаний, излучение абсолютно черного тела.
2. Поляризация электромагнитного излучения.
3. Коэффициенты Эйнштейна.
4. Закон Ламберта-Бэра.
5. Механизмы уширения спектральных линий в газах и твердых телах.
6. Волны Де-Бройля. Интерференция волн материи.
7. Квантовые биения.
8. Уравнение Шредингера для многоэлектронного атома.
9. Вариационный принцип.
10. Систематика спектров многоэлектронных атомов, самосогласованное поле.

11. Уравнение Хартри-Фока. Электронные конфигурации.
12. Термы многоэлектронных атомов, четность волновой функции, правила отбора для дипольных радиационных переходов и их физический смысл.
13. Физический смысл правил отбора по квантовому числу M .
14. Тонкая структура уровней энергии и спектральных линий.
15. Оптическая ориентация атомов.
16. Сверхтонкая структура уровней энергии и спектральных линий.
17. Квантовый стандарт частоты.
18. Эффекты Штарка и Зеемана.
19. Радиационные переходы, электрическое дипольное и мультипольное излучение, правила отбора для магнитодипольного излучения.
20. Связывающие и антисвязывающие молекулярные орбитали.
21. Симметрия одноэлектронных орбиталей, метод LCAO.
22. Электронные конфигурации, волновые функции и термы многоэлектронной двухатомной молекулы.
23. Химическая связь, электронные конфигурации и термы гомоатомных двухатомных молекул для элементов 1-го и 2-го периодов Периодической таблицы.
24. Принцип Борна-Оппенгеймера.
25. Колебательные волновые функции и уровни энергии двухатомной молекулы. Колебательные переходы в молекулах.
26. Вращательная структура спектров молекул.
27. Правила отбора во вращательных спектрах двухатомных молекул.
28. Правила отбора для электронных переходов в двухатомных молекулах.
29. Принцип Франка-Кондона.
30. Диссоциация и преддиссоциация молекул.
31. Комбинационное рассеяние.
32. Генерация гармоник.
33. Спектроскопия КАРС
34. Свойства лазерного излучения, типы лазеров.
35. Лазер на свободных электронах.
36. Детекторы излучения.
37. Фотоэлектронная спектроскопия.
38. Абсорбционная спектроскопия.
39. Внутривибрационная спектроскопия.
40. Фотоакустическая спектроскопия.
41. Лазерно-индуцированная флуоресценция.
42. Ионизационная спектроскопия.
43. Рамановская спектроскопия.
44. Спектроскопия квантовых биений и спектроскопия пересечения уровней
45. Фемтосекундная лазерная спектроскопия

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. И. И. Собельман, Введение в теорию атомных спектров, Наука, 1973.
2. М. А. Ельяшевич, Атомная и молекулярная спектроскопия, Физматгиз, 1962.
3. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теоретическая физика. Т. III. Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Наука, 1974.

4. Н. Ф. Степанов, Квантовая механика и квантовая химия, - М. Мир, Издательство Московского университета, 2001.

7.2. Дополнительная литература

1. G. Herzberg, Molecular Spectra and Molecular Structure. I. Spectra of Diatomic Molecules, 2-nd ed., 1989
2. G. Herzberg, Molecular Spectra and Molecular Structure. III. Electronic Spectra and Electronic Structure of Polyatomic Molecules, 1988
3. W. Demtröder, Laser Spectroscopy, 1996.
4. D. A. McQuarrie, J.D.Simon, Physical Chemistry: a Molecular Approach, 1997.

7.3. Интернет-ресурсы

Отечественные журналы:

1. Известия вузов. Материалы электронной техники (<http://met.misis.ru/index.php/jour>; доступ с 2012 по текущий год)
2. Квантовая электроника (<http://www.quantum-electron.ru/ra.phtml?page=onlcont>; доступ с 1971 по 2012)
3. Микроэлектроника (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7900; доступ с 2007 по текущий год)

Отечественные журналы в переводе:

1. Quantum Electronics (<http://iopscience.iop.org/1063-7818/>; доступ с 1971 по текущий год)
2. Russian Microelectronics (<http://link.springer.com/journal/11180>; доступ с 2009 по текущий год)

Иностранные журналы:

1. Advanced Electronic Materials (<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%292199-160X>; доступ с 2015 года)
2. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%291931-4981>; доступ с 2006 по текущий год)
3. Journal of Electronic Materials (<http://link.springer.com/journal/11664>; доступ с 1972 по текущий год)
4. Microelectronic Engineering (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/01679317>; доступ с 2006 по текущий год)
5. Microelectronics Journal (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00262692>; доступ с 2006 по текущий год)
6. Microwave Journal (<http://www.microwavejournal.com/publications>; доступ с 2002 по текущий год)
7. Nature Photonics (<http://www.nature.com/nphoton/index.html>; доступ с 2007 по текущий год)
8. Opto-Electronics Review (<http://link.springer.com/journal/11772>; доступ с 2006 по 2014)
9. Progress in Quantum Electronics (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/0079672>; доступ с 2006 по текущий год)

10. Solid-State Electronics (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00381101>; доступ с 2006 по текущий год)

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер
4. Компьютерный класс
5. Учебно-научная лаборатория, оборудованная аппаратурой для исследования свойств атомов молекул, кластеров и биологических объектов методами лазерной спектроскопии.