|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ | | | | | |
| Федеральное государственное автономное образовательное учреждение | | | | | |
| высшего профессионального образования | | | | | |
| «Московский физико-технический институт (государственный университет)» | | | | | |
| МФТИ | | | | | |
| «УТВЕРЖДАЮ»  Проректор по учебной и методической работе  Зубцов Д.А.  « »\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20 г. | | | | | |
| Рабочая программа дисциплины (модуля) | | | | | |
| по дисциплине: | | **Лазерная спектроскопия** | |  |  |
| по направлению: | | 010900 Прикладные математика и физика бакалавриат) | |  |  |
| профиль подготовки/ магистерская программа: | | 010970 Квантовая оптика и лазерная физика  010970 Квантовая оптика и лазерная физика | | | |
| профиль подготовки/ магистерская программа: | |  | | | |
| факультет: | | проблем физики и энергетики | |  |  |
| кафедра: | | **Лазерные системы и структурированные**  **материалы** | |  |  |
| курс: | | 1**(магистратура**) | |  |  |
| квалификация: | | магистр | |  |  |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | |  |  |
|  |  | | |  |  |
|  |  | | |  |  |
|  |  | | |  |  |
|  | | | |  |  |
|  |  | | |  |  |
|  | | | |  |  |
|  | | | |  |  |
|  | | | | | |
| Программу составил: | | **Поливанов Ю.Н., д.ф.-м.н., проф.** | |  |  |
|  | | | | | |
| Программа обсуждена на заседании кафедры | | | |  |  |
|  | | | | | |
| 9 октября 2014 г. | | | |  |  |
|  | | | | | |
| СОГЛАСОВАНО: | | | |  |  |
|  | | | | | |
| Заведующий кафедрой | | | **Щербаков И.А.,академик, профессор** | | |
|  | | | | | |
| Декан факультета проблем физики и энергетики  факультета радиотехники и кибернетики | | | | Леонов А.Г. | |
|  | | | | | |
| Начальник учебного управления | | | | Гарайшина И.Р. | |

**1. Цели и задачи**

Цель дисциплины

Цель курса - освоение студентами фундаментальных знаний в области лазерной спектроскопии, получения практических навыков решения задач, овладение методами их решения, а также понимание способов их практического применения.

Задачи дисциплины

* формирование базовых знаний в области лазерной спектроскопии как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
* обучение студентов основным принципам решения задач в области лазерной спектроскопии и освоение основных теоретических методов, применимых в этой области физики;
* формирование правильных теоретических подходов к выполнению исследований студентами в области лазерной спектроскопии в рамках выпускных работ на степень магистра.

.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы бакалавриата (магистратуры)

Дисциплина**Лазерная спектроскопия**включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативным части цикла \_\_М.1\_\_ (шифр цикла).

Дисциплина **«Лазерная спектроскопия»**базируется на материалах курсов бакалавриата: базовая и вариативная часть кода УЦ ООП Б.2**(**математическийестественнонаучный блок) по дисциплинам«Высшая математика» (математический анализ, высшая алгебра, дифференциальные уравнения и методы математической физики), блока «Общая физика» и региональной составляющей этого блока и относится к общенаучному циклу***.***

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций бакалавра/магистра:

* способность использовать на практике фундаментальные знания для понимания сущностных явлений окружающего мира (ОК 1);
* способность активно и целенаправленно применять полученные знания, навыки и умения для выбора тематики выполнения индивидуальной научно-исследовательской работы (ОК-2);
* **готовность и способность работать с информацией в области лазерной спектроскопии из различных источников: отечественной и зарубежной научной периодической литературы, монографий и учебников, электронных ресурсов Интернет (ОК-3);**
* способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);
* способность работать в коллективе и применять навыки эффективной организации труда и командной работы (ОК-4).
* готовность использовать основные законы и методы лазерной спектроскопии в последующей профессиональной деятельности в качестве научных сотрудников, преподавателей вузов, инженеров, технологов (ПК-1);
* готовность к решению практических задач по экспериментальным и теоретическим исследованиям практических задач по спектроскопии высокого разрешения (ПК-2);
* готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности в области невозмущающей диагностики газовых параметров и привлекать для решения освоенный физико-математический аппарат (ПК-3);
* готовность к творческому подходу в реализации научно-технических задач, основанному на систематическом обновлении полученных знаний, навыков и умений и использовании последних достижений в областях, связанных с созданием экспериментальной техники нелинейной когерентной спектроскопии (ПК-4);
* способность к созданию математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-5);
* способность применять на практике умения и навыки в организации исследовательских работ и проводить научные исследования, готовность к участию в инновационной деятельности (ПК-6).

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

* место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
* современные проблемы физики и математики;
* достижения и применения лазерной спектроскопии в фундаментальной и прикладной физике;
* теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
* принципы симметрии и законы сохранения;
* новейшие открытия естествознания;
* о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

* эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
* представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
* работать на современном экспериментальном оборудовании;
* абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;

планировать оптимальное проведение эксперимента

владеть:

* планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
* научной картиной мира;
* навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
* математическим моделированием физических задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тема (раздел) дисциплины | Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу | | | | |
| Лекции | Практич. (семинар.) задания | Лаборат. работы | Задания, курсовые работы, шт.  (не более 2-х) | Самост. работа |
|
| 1 | Энергетические спектры атомов, молекул и кристаллов | 12 | 12 |  |  | 10 |
| 2 | Ширины и профили спектральных линий. Насыщение. Методы спектроскопии свободной от допплеровского уширения. | 10 | 10 |  |  | 6 |
| 3 | Прецизионная бездопплеровская лазерная спектроскопия атомов водорода и дейтерия. | 8 | 8 |  |  | 4 |
| 4 | Лазерное охлаждение и пленение атомов. | 8 | 8 |  |  | 6 |
| 5 | Нелинейно-оптические явления и распространение волн в нелинейной среде. | 8 | 8 |  |  | 6 |
| 6 | Методы когерентной спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света и их применения в исследовании структуры и динамики молекул. | 10 | 10 |  |  | 12 |
| 7 | Нелинейно-оптическая спектроскопия поляритонов | 6 | 6 |  |  | 6 |
| 8 | Нестационарная спектроскопия. | 4 | 4 |  |  | 6 |
| Итого часов | | 66 | 66 |  |  | 56 |
| Общая трудоёмкость | | 132 час., (4 зач.ед.) + 56час. | | | | |

4.2**. Содержание дисциплины** (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1-2.

**1. Энергетические спектры атомов, молекул и кристаллов.**

Спектры водородоподобных атомов. Схема уровней и обозначения, сериальные закономерности, правила отбора для дипольно-разрешенных переходов. Изотопический сдвиг. Тонкая и сверхтонкая структура, лэмбовский сдвиг в атоме водорода и дейтерия. Схема уровней по Бору-Шредингеру, Дираку, КЭД.

Спектры молекул. Колебательные и вращательные спектры молекул. Проявление неидеальности молекул в колебательно-вращательных спектрах (ангармонизм, центробежное ускорение). Спектры двухатомных молекул. Спектры многоатомных молекул типа сферического симметричного и асимметричного волчка.

Спектры кристаллов. Зонная структура электронных спектров в кристаллах. Экситоны и схема их энергетических уровней. Спектр поглощения вблизи края запрещенной зоны в полупроводниках. Колебания кристаллической решетки. Колебания цепочки одинаковых атомов и цепочки, состоящей из атомов двух сортов. Дисперсия акустических и оптических фононов. Поляритоны. Дисперсия дипольно-активных колебаний решетки вблизи центра зоны Бриллюэна (фононные поляритоны). Смешанный характер энергии поляритонов. Экситонные поляритоны. Поверхностные поляритоны и их дисперсия. Особенности спектров полупроводниковых структур пониженной размерности: квантовые ямы, сверхрешетки, квантовые нити, квантовые точки.

**2. Ширины и профили спектральных линий. Насыщение. Методы спектроскопии свободной от допплеровского уширения.**

Спектральная ширина линии излучения. Преобразование Фурье. Поглощение и дисперсия. Однородное и неоднородное уширение. Насыщение однородно и неоднородно уширенных переходов. Дырки Беннете. Провал Лэмба и обращенный провал Лэмба.

Методы наблюдения нелинейных резонансов в неоднородном контуре и спектроскопия, свободная от допплеровского уширения, основанная на эффекте насыщения поглощения.

Спектроскопия двухфотонного поглощения, свободная от допплеровского уширения. Условия для реализации прецизионной внутридопплеровской спектроскопии. Сравнение со спектроскопией насыщения.

**3. Прецизионная бездопплеровская лазерная спектроскопия атомов водорода и дейтерия.**

Экспериментальная реализация спектроскопии насыщения и двухфотонного поглощения и достижения в первых экспериментах с использованием импульсных перестраиваемых лазеров. Эксперименты с непрерывными лазерами (Проблемы, возникающие на пути повышения точности (при переходе к непрерывным лазерам), устранение факторов, мешающих определению параметров невозмущенных атомов).

Проблема измерения частоты оптического излучения. Техника частотной гребенки (комб-генераторы) на основе непрерывной последовательности сверхкоротких импульсов.Достижения и применения прецизионной спектроскопии в фундаментальной физике.

**4. Лазерное охлаждение и пленение атомов.**

Допплеровское охлаждение. Оптическая патока. Субдопплеровское охлаждение («сизифово охлаждение»). Магнитооптическая ловушка. Часы на атомных фонтанах.

**5. Нелинейно-оптические явления и распространение волн в нелинейной среде.**

Нелинейная поляризация и характерные нелинейно-оптических явления. Связанные волны в нелинейной среде в приближении медленно меняющихся амплитуд.

Взаимодействие двух электромагнитных волн в условиях близости суммы или разности их частот к частоте собственного возбуждения среды. ВКР-усиление и ослабление, спонтанное КР и двухфотонное поглощение в центросимметричных средах. Система уравнений для связанных волн в средах без центра симметрии (с участием поляритонов).

**6**. **Методы когерентной спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света и их применения в исследовании структуры и динамики молекул**

Описание процесса когерентного антистоксова комбинационного рассеяния света (КАРС) в центросимметричной среде. Эффективность рассеяния, условия синхронизма, форма линии, связь χ(3) с сечением КР. Основные особенности, достоинства и недостатки КАРС спектроскопии. Сравнение методов спектроскопии спонтанного КР, ВКР-усиления и КАРС. Четырехволновое смешение при двухфотонном резонансе. Экспериментальная техника нелинейной когерентной спектроскопии. Спектральное, временное и пространственное разрешение. ИК-КАРС спектрометр.

Исследования столкновительных процессов распределения и релаксации вращательной и колебательной энергии молекул методами когерентной спектроскопии рассеяния. Некоторые применения методов нелинейной спектроскопии КР в практических задачах по локальной невозмущающей диагностике газовых параметров:Измерение температуры и спектроскопия возбужденных разрядом колебательно-вращательных состояний азота. Исследование горения смесей CH4/O2 и O2/H2.

**7. Нелинейно-оптическая спектроскопия поляритонов**

Описание процессов КР света на фононных поляритонах и двухфотонного поглощения света экситонными поляритонами на языке связанных волн в кристаллах без центра симметрии. ВКР-усиление, Эффективность спонтанного КР, коэффициент двухфотонного поглощения. Форма линии. **k**- и ω-спектроскопия экситонных и фононных поляритонов.

Частотно-угловые спектры рассеяния и двухфотонного поглощения. Нелинейно-оптическое возбуждение фононных поляритонов - источник для терагерцовой (ТГц) спектроскопии. Некоторые особенности ТГц-спектроскопии. Гиперкомбинационное рассеяние света на фононных и экситонных поляритонах.

**8. Нестационарная спектроскопия**

Время дефазировки и время релаксации населенностей. Принципы когерентной и некогерентной нестационарной активной спектроскопии и прямое измерение времени дефазировки и времени релаксации населенностей колебательных уровней.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

* 1. **Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:** компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система)
  2. **Необходимое программное обеспечение:** офисный пакет OpenOffice для рефератов и презентаций, программа Origin (при наличии технической возможности).

**Обеспечение самостоятельной работы –** доступ в Интернет, базы данных по журналамAmerican Physical Society, American Institute of Physics, Institute of Physics, Nature, Springer Verlag, библиотека ИОФ РАН.

6. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

**Основная литература**

1. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука,1989.
2. В.Демтредер. Лазерная спектроскопия. М.: Наука 1985.
3. В.С.Летохов, В.П.Чеботаев. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М.: Наука,1975.
4. В.С.Летохов, В.П.Чеботаев. Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения. М.: Наука,1990.
5. Нелинейная спектроскопия. Под ред. Н.Бломбергена. М.: Мир. 1979.
6. С.А.Ахманов, Н.И.Коротеев. Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света. М.: Наука. 1981.
7. Дж.Ниблер, Г.Найтен. Спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света. В сб. Спектроскопия комбинационного рассеяния света в газах и жидкостях. Под ред. А.Вебера. М.: Мир, 1982.
8. В.В.Смирнов. Лазерная спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света молекулярных газов. Докт. диссерт., Москва, ИОФАН СССР, 1984г.
9. Лазерная спектроскопия комбинационного рассеяния в кристаллах и газах. Труды ИОФАН, т.2, 1986г.
10. Ю.Н.Поливанов. Комбинационное рассеяние света на поляритонах. УФН,1978г., т.126, вып.2. с.185.
11. Ю.Н.Поливанов. Нелинейно-оптическое рассеяние света с участием фононных поляритонов. Труды ИОФРАН, т.43, с.3, 1993.
12. Сверхкороткие световые импульсы. Под редакцией С.Шапиро. М.: Мир, 1981.
13. Е.В.Бакланов. Прецизионная лазерная спектроскопия атомов водорода и гелия. "Квантовая электроника", т.34, № 8, с.698 (2004).
14. Е.В.Бакланов, П.В.Покасов. Оптические стандарты частоты и фемтосекундные лазеры. "Квантовая электроника", т.33, № 5, с.383 (2003).
15. Развитие методов охлаждения и пленения атомов с помощью лазерного света. Нобелевские лекции по физике -1997г. УФН, т.169, № 3, с.271 (1999).
16. Ф.Риле. Стандарты частоты. Принципы и приложение. Москва. Физматлит. 2009г
17. Н.Н.Колачевский. Лабораторные методы поиска дрейфа постоянной тонкой структуры. УФН, т.174, № 11, 1171 (2004).

**Дополнительная литература.**

1. И.И.Собельман. Введение в теорию атомных спектров. М.: Наука, 1977.
2. Г.Бете, Э.Солпитер. Квантовая механика атомов с одним и двумя электронами. М.: Физ.-мат.лит., 1960.
3. К.Бенуэлл. Основы молекулярной спектроскопии. М.: Мир, 1985.
4. Г.Герцберг. Колебательные и вращательные спектры молекул. М.: Физматгиз. 1949.
5. Е.Вильсон, Дж. Детнус, П. Кросс. Теория колебательных спектров молекул. М.: ИЛ, 1960.
6. У.Флайгер. Строение и динамика молекул. М.: Мир, 1982.
7. Ч.Киттель. Введение в физику твердого тела. М.: Наука. 1978.
8. М.Борн, К.Хуан. Динамическая теория кристаллических решеток.
9. Питер Ю., Мануэль Кардона. Основы физики полупроводников. М., Физматлит, 2002г.
10. М.Херман. Полупроводникоаые сверхрешетки. М.: Мир. 1989.
11. Экситоны Под ред. Э.И.Рашба, М.Д.Стерджа. М. Наука, 1985
12. Поверхностные поляритоны. Под ред. В.М.Аграновича, Д.Л.Миллса. М. Наука, 1985
13. П.Г.Крюков. Непрерывные фемтосекундные лазеры. УФН, т.183, № 9, 897 (2013).

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. http://www.edu.ru – федеральный портал «Российское образование».

2. http://benran.ru –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

3. http://www.i-exam.ru – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

**Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и . т.д.**

Информационные ресурсы: Физические научные журналы (ЖЭТФ, Письма в ЖЭТФ, Физика твердого тела, Квантовая электроника, Успехи физ. наук, Rev.Mod.Phys., Physical Review и др.), доступные через Internet научные и научно-технические журналы: <http://scitation.aip.org/>, http://www.sciencemag.org/ электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Origin и OpenOffice.

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Студент, изучающий курс «Лазерная спектроскопия», должен иметь базовую подготовку в области физики лазеров, например, в объеме курса «Основы лазерной физики». Поскольку в ходе лекций для иллюстрации общих принципов проводится обсуждение современных актуальных проблем лазерной спектроскопии, которые не в полной мере отражены в существующих учебниках, посещение лекций является абсолютно необходимым для успешного усвоения изучаемого материала.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. Самостоятельная работа включает в себя:

– чтение и конспектирование рекомендованной литературы,

– проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;

– решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,

– подготовку к практическим занятиям, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций. С целью углубленного изучения тех или иных разделов курса студентам могут быть предложены специальные темы для самостоятельной работы.

**Задания для самостоятельной работы, предполагается оформление реферата по одной из предложенных тем:**

**Осенний семестр**

***Задание 1***

*Тема задания*

Спектроскопия высокого разрешения (свободная от допплеровского уширения) атомов водорода и дейтерия и использование ее методов для решении фундаментальных проблем современной физики .

***Задание 2***

*Тема задания*

Зонная структура электронных спектров в кристаллах. Одноэлектронное уравнение Шредингера в зонной теории. Образование энергетических зон. Теорема Блоха. Понятие эффективной массы. Экситоны и схема их энергетических уровней. Спектр поглощения вблизи края запрещенной зоны в полупроводниках.

***Задание 3***

*Тема задания*

Экспериментальная реализация и достижения в спектроскопии высокого разрешения (свободной от допплеровского уширения) атомов водорода и дейтерия. Дальнейшие перспективы.

**Весенний семестр**

***Задание 1***

*Тема задания*

КАРС спектроскопия

***Задание 2***

*Тема задания*

Спектроскопия двухфотонного поглощения в средах с центром и без центра симметрии.

***Задание 3***

*Тема задания*

Спектроскопия СКР и ВКР-усиления (ослабления) в средах с центром и без центра симметрии.

***Задание 4\****

*Тема задания*

Экспериментальная техника нелинейной когерентной спектроскопии. Спектральное, временное и пространственное разрешение. Методы улучшения этих характеристик.

***Задание 5\****

*Тема задания*

Применение методов нелинейной спектроскопии КР в практических задачах по локальной невозмущающей диагностике газовых параметров.

*Задания, отмеченные звездочкой «\*» могут выбираться студентами по желанию.*

*Всего заданий в весеннем семестре три.*

11. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по итогам обучения

**П1. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Лазерная спектроскопия» осуществляется в форме экзамена. Экзамен проводится в устной форме.

**Перечень контрольных вопросов для сдачи зачета в 1-ом семестре;**

1. Форма линий поглощения при однородном и неоднородном уширениях. Насыщение при однородном и неоднородном уширениях. Дырки и пики Беннете и способы их наблюдения.

2. Насыщение при допплеровском уширении. Явление возникновения провала Лэмба и обращенного провал Лэмба; использование этого явления для стабилизации частоты газового лазера.

3. Спектроскопия внутри допплеровского контура, основанная на эффекте насыщения. Суть метода, схема эксперимента и условия, необходимые для реализации прецизионной внутридопплеровской спектроскопии**.** Сравнение со спектроскопией двухфотонного поглощения.

4. Спектроскопия двухфотонного поглощения свободная от допплеровского уширения. Суть метода, схема эксперимента и условия, необходимые для реализации прецизионной внутридопплеровской спектроскопии**.** Сравнение со спектроскопией насыщения.

5. Экспериментальная реализация спектроскопии насыщения поглощения атомов водорода и дейтерия и достижения в первых экспериментах с использованием импульсно-периодических перестраиваемых лазеров. Проблемы, возникающие на пути повышения точности спектроскопической информации. Какие особенности атома водорода представляют особый интерес для прецизионной спектроскопии?

6. Экспериментальная реализация одновременной регистрации спектров насыщения и двухфотонного поглощения атомов водорода и дейтерия. Какие преимущества дает одновременная регистрация спектров?

7. Эксперименты с непрерывными лазерами. Проблемы, возникающие на пути повышения точности при переходе к непрерывным лазерам, и пути их преодоления.

8. Проблема измерения частоты оптического излучения. Техника создания частотной гребенки (комб-генераторов) на основе непрерывной последовательности сверхкоротких импульсов. Синтезатор оптических частот.

9. Достижения и применения прецизионной спектроскопии в фундаментальной физике. Часы на атомных фонтанах.

10. Лазерное охлаждение и пленение атомов. Допплеровское охлаждение. Оптическая патока. Субдопплеровское охлаждение («сизифово охлаждение»). Магнитооптическая ловушка.

**Экзаменационные билеты по курсу «Лазерная спектроскопия».**

Билет №1.

1. Насыщение поглощения на допплеровски уширенном переходе..
2. Эффект образования провала Лэмба и обращенного провал Лэмба.
3. Использование лэмбовских провалов для стабилизации частоты газового лазера.

Билет №2

1. Спектры кристаллов. Зонная структура электронных спектров в кристаллах. Экситоны и схема их энергетических уровней.
2. Проблема измерения частоты оптического излучения.
3. Допплеровское охлаждение. Оптическая патока.

Билет №3

1. Изотопический сдвиг. Тонкая и сверхтонкая структура, лэмбовский сдвиг в атоме водорода и дейтерия.
2. Спектральная ширина линии излучения. Преобразование Фурье. Поглощение и дисперсия.
3. Субдопплеровское охлаждение («сизифово охлаждение»).

Билет №4

1. Проявление неидеальности молекул в колебательно-вращательных спектрах (ангармонизм, центробежное ускорение). Спектры двухатомных молекул.
2. Особенности спектров полупроводниковых структур пониженной размерности: квантовые ямы, сверхрешетки, квантовые нити, квантовые точки.
3. Техника частотной гребенки (комб-генераторы) на основе непрерывной последовательности сверхкоротких импульсов.

Билет №5

1. Дисперсия акустических и оптических фононов. Поляритоны. Дисперсия дипольно-активных колебаний решетки вблизи центра зоны Бриллюэна (фононные поляритоны).
2. Насыщение однородно и неоднородно уширенных переходов. Дырки Беннете. Провал Лэмба и обращенный провал Лэмба.
3. Достижения и применения прецизионной спектроскопии в фундаментальной физике.

Билет №6

1. Спектроскопия двухфотонного поглощения, свободная от допплеровского уширения. Условия для реализации прецизионной внутридопплеровской спектроскопии. Сравнение со спектроскопией насыщения.
2. Магнитооптическая ловушка. Часы на атомных фонтанах.
3. Смешанный характер энергии поляритонов. Экситонные поляритоны. Поверхностные поляритоны и их дисперсия.

Билет №7

1. Колебания цепочки одинаковых атомов и цепочки, состоящей из атомов двух сортов. Дисперсия акустических и оптических фононов.
2. Экспериментальная реализация спектроскопии насыщения и двухфотонного поглощения и достижения в первых экспериментах с использованием импульсных перестраиваемых лазеров.
3. Техника частотной гребенки (комб-генераторы) на основе непрерывной последовательности сверхкоротких импульсов.

Билет №8

1. Описание процесса когерентного антистоксова комбинационного рассеяния света (КАРС) в центросимметричной среде.
2. Некоторые применения методов нелинейной спектроскопии КР в практических задачах по локальной невозмущающей диагностике газовых параметров:Измерение температуры и спектроскопия возбужденных разрядом колебательно-вращательных состояний азота.
3. Частотно-угловые спектры рассеяния и двухфотонного поглощения. Нелинейно-оптическое возбуждение фононных поляритонов - источник для терагерцовой (ТГц) спектроскопии. Некоторые особенности ТГц-спектроскопии.

Билет №9

1. Нелинейная поляризация и характерные нелинейно-оптических явления. Связанные волны в нелинейной среде в приближении медленно меняющихся амплитуд.
2. Основные особенности, достоинства и недостатки КАРС спектроскопии. Сравнение методов спектроскопии спонтанного КР, ВКР-усиления и КАРС.
3. Частотно-угловые спектры рассеяния и двухфотонного поглощения.

Билет №10

1. Взаимодействие двух электромагнитных волн в условиях близости суммы или разности их частот к частоте собственного возбуждения среды.
2. Спектральное, временное и пространственное разрешение. ИК-КАРС спектрометр.
3. Гиперкомбинационное рассеяние света на фононных и экситонных поляритонах.

Билет №11

1. Система уравнений для связанных волн в средах без центра симметрии (с участием поляритонов).
2. Экспериментальная техника нелинейной когерентной спектроскопии.
3. Форма линии. **k**- и ω-спектроскопия экситонных и фононных поляритонов.

Билет №12

1. ВКР-усиление и ослабление, спонтанное КР и двухфотонное поглощение в центросимметричных средах. Система уравнений для связанных волн в средах без центра симметрии (с участием поляритонов).
2. Эффективность рассеяния, условия синхронизма, форма линии, связь χ(3) с сечением КР.
3. Частотно-угловые спектры рассеяния и двухфотонного поглощения.

Билет №13

1. Связанные волны в нелинейной среде в приближении медленно меняющихся амплитуд.
2. Исследования столкновительных процессов распределения и релаксации вращательной и колебательной энергии молекул методами когерентной спектроскопии рассеяния.
3. Некоторые особенности ТГц-спектроскопии.

Билет №14

1. Система уравнений для связанных волн в средах без центра симметрии (с участием поляритонов).
2. Эффективность рассеяния, условия синхронизма, форма линии, связь χ(3) с сечением КР.
3. Измерение температуры и спектроскопия возбужденных разрядом колебательно-вращательных состояний азота. Исследование горения смесей CH4/O2 и O2/H2.

**П2. Критерии оценивания**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Оценка | Баллы | Критерии |
| отлично | 10 | Получены ответы на три вопроса в экзаменационном билете, нет замечаний. |
| 9 | Получены ответы на три вопроса в экзаменационном билете, есть отдельные замечания. |
| 8 | Получены ответы на три вопроса в экзаменационном билете, есть существенные замечания и (или) ошибки в вычислениях. |
| хорошо | 7 | Получены ответы на два вопроса в экзаменационном билете, нет замечаний |
| 6 | Получены ответы на два вопроса в экзаменационном билете, есть отдельные замечания |
| 5 | Получены ответы на два вопроса в экзаменационном билете, есть существенные замечания и (или) ошибки в вычислениях. |
| удовлетворительно | 4 | Получен ответ на один вопрос в экзаменационном билете, нет замечаний |
| 3 | Получен ответ на один вопрос в экзаменационном билете, есть замечания |
| неудовлетворительно | 2 | Правильные ответы на вопросы экзаменационного билета отсутствуют. |
| 1 | Правильные ответы на вопросы экзаменационного билета отсутствуют, студент не может объяснить смысл заданных вопросов. |

**Примечание:**

*оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;*

*оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;*

*оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;*

*оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.*

**П3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Для курса «Лазерная спектроскопия» принята следующая процедура оценивания знаний.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 астрономический час на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, конспектом лекций и персональными компьютерами.