Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ МЕТРОЛОГИИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ПРЕЦИЗИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ИОНОВ В ЛОВУШКАХ

Направление подготовки (специальность) [1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

Семестр	**Трудоемкость, кред.**	**Общий объем курса, час.**	**Лекции, час.**	**Практич. занятия, час.**	**Лаборат. работы, час.**	**В форме практической подготовки, час.**	**СРС, час.**	**КСР, час.**	**Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП**
7	3	108	0	32	32		44	0	З
8	2	72	0	22	22		28	0	ЗО
Итого	5	180	0	54	54	92	72	0	

АННОТАЦИЯ

Дисциплина формирует теоретическую и практическую основу прецизионной спектроскопии ионов. В 7-м семестре изучаются происхождение спектральных линий, механизмы уширения, взаимодействие двухуровневой системы с излучением, сложение угловых моментов, правила отбора и интенсивности переходов. В 8-м семестре рассматриваются удержание и движение ионов в электромагнитных ловушках, изменение спектра вследствие квантования движения и микродвижения, лазерное охлаждение и основные систематические сдвиги частоты.

Математический аппарат вводится по мере необходимости: преобразование Фурье, гауссовы интегралы и свёртки; матрицы, проекторы и представление взаимодействия; коэффициенты Клебша–Гордана; линейные дифференциальные уравнения, теория Флоке на вводном уровне и нормальные моды. Практические занятия сочетают аналитические задачи и численные расчёты. Экспериментальный практикум включает частотное сканирование оптического перехода в горячей плазме тория и обработку спектра, масс-спектрометрию продуктов лазерной абляции мишени и исследование лазерного охлаждения ионов стронция или тория.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины — научиться связывать параметры спектра с внутренним состоянием и движением иона, выбирать адекватную модель спектроскопического измерения и оценивать границы её применимости.

1. Освоить вывод и нормировку лоренцева, гауссова и фойгтовского профилей, различать ширину, сдвиг, амплитуду и интегральную интенсивность линии.

2. Описывать взаимодействие атома с классическим полем в дипольном и двухуровневом приближениях; применять RWA и рассчитывать простой когерентный отклик.

3. Использовать угловые моменты, чётность и поляризацию света для определения разрешённых переходов и их относительных сил.

4. Получать уравнения движения в идеализированной ловушке Пауля, оценивать устойчивость, секулярные частоты и микродвижение; знать принцип ловушки Пеннинга.

5. Интерпретировать несущую и боковые полосы, оценивать температуру и среднее колебательное число, объяснять доплеровское и бокополосное охлаждение.

6. Получать и обрабатывать экспериментальный спектр горячей плазмы, выполнять калибровку и интерпретацию масс-спектра продуктов абляции, исследовать отклик иона при лазерном охлаждении; оценивать воспроизводимость и неопределённость результатов.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для освоения требуются основы общей физики, атомной и квантовой физики, математического анализа, линейной алгебры и дифференциальных уравнений. Необходимые элементы теории вероятностей, операторной записи и численных методов повторяются в рамках курса. Полученные знания применяются в учебно-исследовательской работе и при подготовке выпускной квалификационной работы по спектроскопии и квантовой метрологии.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	**Код и наименование индикатора достижения компетенции**
УК-1 [1] – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	З-УК-1 [1] – Знать: методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа У-УК-1 [1] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников В-УК-1 [1] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	**Объект или область знания**	**Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)**	**Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции**
экспертно-аналитический			
Сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и	Результаты исследований, научные и аналитические отчеты.	ПК-14.1 [1] - Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих основные процессы в приборах физики твердого тела, лазерных и плазменных установках, системах квантовой логики на основе ультрахолодных атомов и ионов в ловушках *Основание:* Профессиональный	З-ПК-14.1[1] - знать основы физики конденсированных сред: энергетические зоны; классификацию веществ с точки зрения зонной теории, основы физики металлов, полупроводников и наноструктур; основные свойства и теоретические модели, описывающие ультрахолодные атомы и ионы в ловушке.; У-ПК-14.1[1] - уметь сформулировать математическую модель для прототипа или макета

обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий.		стандарт: 29.004	разрабатываемого прибора физики твердого тела, лазерной или плазменной установки.; В-ПК-14.1[1] - владеть квантовомеханическим описанием твердых тел, терминологией энергетических зон, квазичастиц и размерного квантования, методами компьютерного моделирования физических процессов.
участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства	ПК-10 [1] - Способен к аналитической и количественной оценке процессов в природе, технике и обществе и к выбору на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера *Основание:* Профессиональный стандарт: 26.003, 40.008, 40.011	З-ПК-10[1] - Знать основные методики, цели и задачи построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе. ; У-ПК-10[1] - Уметь строить аналитические и количественные модели процессов в природе, технике и обществе и выбирать на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера. ; В-ПК-10[1] - Владеть навыками построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе и выбора на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-

			технологического характера
научно-исследовательский			
изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства	ПК-1 [1] - Способен проводить сбор, анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1[1] - Знать способы сбора, анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования. ; У-ПК-1[1] - Уметь синтезировать и анализировать научно-техническую информацию по тематике исследования. ; В-ПК-1[1] - Владеть навыками сбора, синтеза и анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.
выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства	ПК-2 [1] - Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области *Основание:* Профессиональный стандарт: 25.035, 40.011	З-ПК-2[1] - Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области. ; У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области ; В-ПК-2[1] - Владеть навыками выбора и применения оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (В20)

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	7 Семестр						
1	Первый раздел	1-8	0/16/16		25	КИ-8	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
2	Второй раздел	9-16	0/16/16		25	КИ-16	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-УК-1, У-УК-1,

							В-УК-1
	Итого за 7 Семестр		0/32/32		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	З	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
	8 Семестр						
1	Первый раздел	1-5	0/11/11		25	КИ-8	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
2	Второй раздел	6-11	0/11/11		25	КИ-15	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
	Итого за 8 Семестр		0/22/22		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	ЗО	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1,

							З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	**Полное наименование**
КИ	Контроль по итогам
ЗО	Зачет с оценкой
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	**Темы занятий / Содержание**	**Лек., час.**	**Пр./сем., час.**	**Лаб., час.**
	7 Семестр	0	32	32
1-8	**Первый раздел**	0	16	16
1 - 8	**Формирование спектральных линий и взаимодействие двухуровневой системы с излучением**	Всего аудиторных часов		
		0	16	16
		Онлайн		
	Спектр и измеряемый сигнал. Обычная и угловая частоты. Комплексная амплитуда, преобразование Фурье, Парсеваль. Двухуровневая система, проекторы, амплитуда и населённость. Частотное сканирование импульсной плазмы: фон, синхронизация и временное окно анализа. Естественное уширение. Связь времени жизни и когерентности с FWHM; лоренцев контур. Гауссов интеграл, нормировка, дисперсия. Распределение Максвелла и доплеровское уширение. Дипольное взаимодействие. Представление взаимодействия, медленные и быстрые члены. RWA и условия применимости. Колебания Раби, π- и π/2-импульсы. Насыщение и уширение полем. Однородное и неоднородное уширение. Свёртки и профиль Фойгта. Столкновения, пролётное время и аппаратная функция. Сохранение площади нормированной свёртки.	0	0	0
9-16	**Второй раздел**	0	16	16
9 - 16	**Угловой момент, правила отбора и спектры во внешних полях**	Всего аудиторных часов		
		0	16	16

	Орбитальный, спиновый и полный моменты. Собственные состояния и операторы повышения и понижения. Сложение моментов и коэффициенты Клебша–Гордана; пример 1/2 ⊗1/2. Чётность и дипольный оператор. Теорема Вигнера–Эккарта на уровне применения. E1-правила отбора; π- и σ-компоненты. Относительные силы переходов, тонкая и сверхтонкая структура. Линейный эффект Зеемана, фактор Ланде. Эффекты Штарка и световой сдвиг на вводном уровне. Оптическая накачка, тёмные состояния; принципы спектроскопии Раби и Рамсея.	Онлайн		
		0	0	0
	8 Семестр	0	22	22
1-5	**Первый раздел**	0	11	11
1 - 5	**Динамика ионов и устройство ловушек** Удержание заряда и ограничения электростатики. Ловушки Пауля и Пеннинга. Квадрупольный потенциал, уравнения движения, безразмерные параметры Матье. Продукты лазерной абляции и принцип масс-спектрометрии; отношение массы к заряду. Теория Флоке на вводном уровне. Секулярное движение, микродвижение и псевдопотенциал. Область малых параметров и границы приближения. Линейная ловушка и осевое удержание. Статические паразитные поля, смещение от РЧ-нуля и избыточное микродвижение. Малые колебания, гессиан и массово-взвешенная матрица; пример двух ионов. Калибровка масс и разрешающая способность. Гармонический осциллятор; матричные элементы. Режим Лэмба–Дике. Несущая и первые секулярные боковые полосы; РЧ-боковые полосы микродвижения. Тепловое распределение колебательных состояний и термометрия по слабым боковым полосам.	Всего аудиторных часов		
		0	11	11
		Онлайн		
		0	0	0
6-11	**Второй раздел**	0	11	11
6 - 11	**Спектроскопия и охлаждение ионов в ловушках** Доплеровское охлаждение: сила, трение и диффузия, предел охлаждения. Разрешённые боковые полосы и цикл охлаждения до основного состояния. Нагрев и диагностика. Прецизионное измерение частоты. Доплеровский сдвиг второго порядка, зеемановский и штарковский сдвиги; простая оценка неопределённости. Обобщение курса. ЛР3: обработка, ограничения интерпретации и индивидуальная защита.	Всего аудиторных часов		
		0	11	11
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	**Полное наименование**
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации

Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	**Темы занятий / Содержание**
	7 Семестр
1 - 8	**Спектроскопия горячей плазмы тория. Часть 1** Схема регистрации горячей плазмы, назначенный переход, частотная сетка, фон и журнал измерений. Пробное и рабочее частотное сканирование; фиксация задержки и окна анализа, повторные измерения. Завершение основной серии, контроль фона и воспроизводимости, построение предварительного спектра. Первичная обработка, центр, FWHM, интегральный сигнал и разброс результатов.
9 - 16	**Спектроскопия горячей плазмы тория. Часть 2** Уточняющее сканирование и проверка воспроизводимости. Схема назначенного перехода, правила отбора, возможные компоненты и сравнение результатов групп. Выбор модели, остатки, неопределённости и анализ вкладов в ширину. Итоговая обработка и оформление отчёта.
	8 Семестр
1 - 5	**Масс-спектрометрия продуктов лазерной абляции мишени.** Схема масс-спектрометрии продуктов абляции, фон, повторные сигналы и калибровка масс. Регистрация масс-спектра, выделение пиков и проверка воспроизводимости. Разрешение, неопределённости, возможная идентификация и защита.
6 - 11	**Лазерное охлаждение ионов стронция или тория.** Схема охлаждения Sr/Th, выбранный переход, исходный спектральный отклик и диагностика движения. Измерение зависимости диагностического сигнала от заданного параметра охлаждающего излучения. Эксперимент по охлаждению, сравнение режимов, воспроизводимость и оценка доступного параметра движения. Обработка, ограничения интерпретации и индивидуальная защита.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Используются выводы у доски с обсуждением каждого приближения, решение типовых задач с последующей самостоятельной вариацией условий, компьютерные расчёты, экспериментальные измерения, обработка спектров и индивидуальная защита отчётов. Математические понятия закрепляются на физических примерах. Переход к численному решению сопровождается проверкой размерностей, предельных случаев и сходимости результата.

Самостоятельная работа включает чтение указанных разделов литературы, завершение расчётов, подготовку к контрольным и защите лабораторных работ. Обязательное содержание ограничивается рассмотренными на занятиях моделями; сложные вычисления символов 6j и 9j, полный вывод квантовой мастер-формулы и многокубитные операции относятся к дополнительному чтению.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	**Индикаторы освоения**	**Аттестационное мероприятие (КП 1)**	**Аттестационное мероприятие (КП 2)**
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
ПК-10	З-ПК-10	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-10	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-10	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
ПК-14.1	З-ПК-14.1	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-14.1	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-14.1	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
УК-1	З-УК-1	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-УК-1	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-УК-1	З, КИ-8, КИ-16	ЗО, КИ-8, КИ-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	**Оценка по 4-х балльной шкале**	**Отметка о зачете**	**Оценка ECTS**
90-100	5 – *«отлично»*	*«зачтено»*	A
85-89	4 – «*хорошо*»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «*удовлетворительно*»		
60-64			E
ниже 60	2 – «*неудовлетворительно*»	*«не зачтено»*	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 64 Движение ионов в квадрупольных и мультипольных электрических полях : учебное пособие, Сысоев А.А., Конёнков Н.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2025

2. 535 Д31 Современная лазерная спектроскопия : учебное пособие, Демтрёдер В., Долгопрудный: Интеллект, 2014

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

https://online.mephi.ru/

http://library.mephi.ru/

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Перед занятием повторять необходимые определения и предыдущий вывод. В каждом расчёте явно задавать обозначения, единицы и приближения; различать частоту в герцах и угловую частоту, время жизни и время когерентности.

2. Сопровождать формулы проверкой размерности и предельного случая. Для Клебша–Гордана указывать базис и фазовое соглашение; для ловушки — принятую нормировку потенциала и знак заряда.

3. Перед лабораторной работой изучить схему установки и утверждённую методику. Вести журнал параметров и сохранять первичные сигналы. В отчёте приводить цель, схему, модель, исходные данные, обработку, графики с единицами, результат с неопределённостью и физический вывод. Представлять код или таблицы, позволяющие повторить обработку; на защите объяснять собственный вклад.

4. Готовиться к контрольным по вопросам и типовым задачам ФОС. Калькулятор разрешается; объём выдаваемого справочного листа объявляется заранее. На защите объяснять собственные расчёты и выбор метода.

5. Не отождествлять тепловое доплеровское уширение с набором дискретных боковых полос периодически движущегося иона. Указывать режим возбуждения при интерпретации отношений интенсивностей.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

1. Сохранять последовательность «модель — вывод — условия применимости — задача — сопоставление с данными». Математические фрагменты связывать с текущей физической задачей, не превращая их в самостоятельный углублённый курс.

2. В первом семестре опираться на подробные выводы гауссова и лоренцева контуров и RWA. Сложение моментов начинать с двух спинов 1/2 и перехода $J = 0 \rightarrow J' = 1$. Таблицы коэффициентов разрешать после освоения их смысла и нормировки.

3. Во втором семестре фиксировать одну нормировку квадрупольного потенциала. Сравнивать решение Матье с псевдопотенциалом; отдельно обсуждать секулярные и РЧ-боковые полосы. Для нормальных мод пояснять роль масс в переходе от гессиана к частотам.

4. Проводить КР1 на 8-й и КР2 на 15-й неделе 7-го семестра, КР3 на 8-й неделе 8-го. В КР3 включать только уже изученные темы. Охват заключительных тем второго семестра обеспечивать лабораторными работами и аттестацией.

5. До начала оценивания объявлять задания, баллы и критерии. При изменении варианта сохранять проверяемые приёмы и сопоставимую трудность. Оценивать не только числовой ответ, но и обоснование модели, единицы и физическую интерпретацию.

6. Для ЛР1 распределить четыре группы по выбранным переходам Th^{+}, Th^{2+} или Th^{3+}, предварительно установить лазер вблизи перехода и задать условия сканирования; обеспечить промежуточную и итоговую защиты. Для ЛР2 выдать калибровочные данные используемого масс-анализатора. Для ЛР3 указать вид иона, схему охлаждения и критерий диагностики; оценивать качество измерений и анализа независимо от получения ожидаемого эффекта.

7. В конце семестра согласовать результаты текущего контроля и аттестации без двойного начисления баллов. Формальные коды компетенций, трудоёмкость и шкалу перевода в ведомость сверить с действующей образовательной программой.

Автор(ы):

Черепанов Павел Андреевич