

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский
 государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет



Согласовано, декан ФФ
 Блинов В.Е.

«09» 11 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ОПТИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ ЧАСТОТЫ

Научная специальность: 1.3 Физические науки

Направленность (профиль): Лазерная физика

Форма обучения: очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)					
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем				
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
По выбору	72	16	16			18	18	2				2
Всего 72 часа / 2 зачетные единицы, в т.ч. - контактная работа 36 часов												

Разработчики:

д.ф-м.н., В.И. Юдин

Заведующий кафедрой лазерной физики ФФ

д.ф-м. н., ак. С.Н. Багаев

Ответственный за образовательную программу:

д.ф-м. н., проф. С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

Аннотация	3
Введение	4
1. Результаты освоения дисциплины	4
2. Трудоемкость дисциплины по видам учебных занятий	4
3. Содержание дисциплины	5
4. Перечень учебно-методических материалов, необходимых для изучения дисциплины (модуля)	6
5. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины (модуля)	6
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	6
7. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)	6
Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины (оценочные материалы)	9

Аннотация

Рабочая программа дисциплины Оптические стандарты частоты реализуется на физическом факультете как элективная дисциплина в рамках научной специальности 1.3 Физические науки Направленность (профиль) Лазерная физика и разработана в соответствии с паспортом научной специальности Лазерная физика, Порядком прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечнем и федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, сроками освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Настоящая программа посвящена основным физическим принципам, положенным в основу современных оптических стандартов частоты и времени. Прецизионные измерения частоты важны для целого ряда задач современной физики - от фундаментальных исследований стабильности физических констант до задач навигации.

Для начала обучения данной дисциплине необходима базовая подготовка по следующим разделам физики: электромагнетизм, квантовая механика, молекулярная спектроскопия.

Цель курса: познакомить обучающихся с основными принципами оптических стандартов частоты, проблемами современной лазерной метрологии и физических измерений в целом, основными методами управления параметрами лазерных систем для прецизионных измерений, особенностями стандартов частоты на основе атомов и ионов.

Задачи курса:

- сформировать представление о современных фундаментальных и прикладных проблемах оптических стандартов частоты и их связи с лазерной физикой;
- развить навыки решения задач в областях анализа флуктуаций частоты, систем с обратной связью, стабилизации частоты лазерного излучения;
- углубленно изучить теоретические основы оптических стандартов частоты.

Результат освоения дисциплины:

- владение основными методами анализа флуктуаций частоты и стабилизации частоты лазерного излучения;
- знание особенности физических систем (атомы и ионы) и их взаимодействия с излучением для создания атомных стандартов частоты;
- умение анализировать современную научную литературу по тематике оптических стандартов частоты для определения и применения новых научных методов.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающегося.

Общий объем дисциплины – 2 зачетные единиц (72 часа).

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Введение

Рабочая программа дисциплины Оптические стандарты частоты реализуется на физическом факультете как элективная дисциплина в рамках научной специальности 1.3 Физические науки Направленность (профиль) Лазерная физика и разработана в соответствии с паспортом научной специальности Лазерная физика, Порядком прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечнем и федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, сроками освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Настоящая программа посвящена основным физическим принципам, положенным в основу современных оптических стандартов частоты и времени. Прецизионные измерения частоты важны для целого ряда задач современной физики - от фундаментальных исследований стабильности физических констант до задач навигации.

Для начала обучения данной дисциплине необходима базовая подготовка по следующим разделам физики: электромагнетизм, квантовая механика, молекулярная спектроскопия.

Цель курса: познакомить обучающихся с основными принципами оптических стандартов частоты, проблемами современной лазерной метрологии и физических измерений в целом, основными методами управления параметрами лазерных систем для прецизионных измерений, особенностями стандартов частоты на основе атомов и ионов.

Задачи курса:

- сформировать представление о современных фундаментальных и прикладных проблемах оптических стандартов частоты и их связи с лазерной физикой;
- развить навыки решения задач в областях анализа флуктуаций частоты, систем с обратной связью, стабилизации частоты лазерного излучения;
- углубленно изучить теоретические основы оптических стандартов частоты.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающегося.

Общий объем дисциплины – 2 зачетные единицы (72 часа).

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

1. Результаты освоения дисциплины

Результат освоения дисциплины:

- владение основными методами анализа флуктуаций частоты и стабилизации частоты лазерного излучения;
- знание особенности физических систем (атомы и ионы) и их взаимодействия с излучением для создания атомных стандартов частоты;
- умение анализировать современную научную литературу по тематике оптических стандартов частоты для определения и применения новых научных методов.

2. Трудоемкость дисциплины по видам учебных занятий

Трудоемкость дисциплины – 2 з.е. (72 ч)

Форма промежуточной аттестации: экзамен

№	Вид деятельности	Количество часов
1.	Лекции, ч	16
2.	Практические занятия, ч	16
3.	Занятия в контактной форме, ч, из них	36
4.	из них аудиторных занятий, ч	32
5.	в электронной форме, ч	
6.	консультаций, час.	2
7.	промежуточная аттестация, ч	2
8.	Самостоятельная работа, час.	36
9.	Всего, ч	72

3. Содержание дисциплины

Лекции (16 ч)

Наименование темы и их содержание	Объем, час
Колебательные системы с обратной связью	3
Стабилизация частоты при наличии шумов	2
Метод разнесенных полей Рамсея и его обобщения	2
Методы стабилизации частоты лазеров	4
Ионные стандарты оптического диапазона	2
Метрологические характеристики решеточных стандартов	3

Практические занятия (16 ч)

Содержание практического занятия	Объем, час
Математическое описание колебаний	2
Дисперсия Аллана, спектральное описание флуктуаций частоты	2
Метод Рамсея в приложении к задачам прецизионной спектроскопии и квантовой обработки информации	2
Методы проведения точных измерений с помощью ионных стандартов	2
Приложения решеточных стандартов	2
Научные доклады обучающихся	6

Самостоятельная работа студентов (36 ч)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Выполнение домашнего задания в рамках портфолио	4
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	4
Подготовка презентации доклада	2
Подготовка реферата	2
Подготовка к экзамену	18

4. Перечень учебно-методических материалов, необходимых для изучения дисциплины (модуля)

1. Бакланов, Евгений Васильевич. Теоретические основы квантовой электроники: учебное пособие: [для студентов Физ. фак. НГУ] / Е.В. Бакланов; М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. квантовой электроники. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2011. 103, [1] с. : ил. ; 20 см. (23 экз.)

5. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины (модуля)

2. Ф. Риле Стандарты частоты: принципы и приложения / Ф. Риле; пер. с англ. Н.Н. Колачевского .— Москва : Физматлит, 2009 .— 511 с. : ил. ; 24 см. — Пер. изд.: Frequency standards: Basics and Applications / Fritz Riehle. - Wiley-VCH .— Библиогр.: с. 463-511. (1 экз)

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации;

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся;

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для аспирантов из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

7. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Перечень результатов освоения дисциплины представлен в разделе 1.

7.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости:

Текущий контроль успеваемости включает контроль посещаемости обучающимися занятий, оценку их активности в ходе дискуссий, представление доклада по тематике, связанной с выполнением научной работы обучающегося, и проверку заданий для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация:

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Требования разработаны в соответствии со следующими документами:

- паспорт научной специальности Лазерная физика,
- федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Оценка уровня знаний экзаменуемого определяется экзаменационной комиссией по пятибалльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Описание критериев и шкал оценивания результатов освоения дисциплины

Таблица 7.1 Результаты освоения дисциплины

Результат освоения дисциплины	Оценочное средство
- владение основными методами анализа флуктуаций частоты и стабилизации частоты лазерного излучения;	Научный доклад Экзамен
- знание особенности физических систем (атомы и ионы) и их взаимодействия с излучением для создания атомных стандартов частоты;	Научный доклад Экзамен
-умение анализировать современную научную литературу по тематике оптических стандартов частоты для определения и применения новых научных методов.	Научный доклад Экзамен

Таблица 7.2 Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

Критерии оценивания результатов освоения дисциплины	Шкала оценивания
<p><u>Доклады и выступления</u></p> <ul style="list-style-type: none">– знает актуальные исследования и критически анализирует результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности,– умеет ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования,– знает возможные направления профессиональной самореализации,- владеет приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач,– точность и полнота выделения, классификации и систематизации основного смыслообразующего компонента из источников и литературы. В докладах и выступлениях обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. <p><u>Решение типовых задач:</u></p> <ul style="list-style-type: none">– умеет определять и применять современные научные методы при решении практических задач,– точность ответа, отсутствие ошибок.	<i>Отлично</i>

<p><u>Экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – демонстрирует углубленные знания базовых понятий, моделей, гипотез и концепций, свободно владеет всеми основными разделами современной физики, – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. <p>При изложении ответа на вопрос(ы) экзаменационного билета обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.</p>	
<p><u>Доклады и выступления</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – знает актуальные исследования и критически анализирует результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности, – умеет ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования, – знает возможные направления профессиональной самореализации, - владеет приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач, – точность и полнота выделения, классификации и систематизации основного смыслообразующего компонента из источников и литературы. <p>В докладах и выступлениях обучающийся мог допустить неточности, не влияющие на суть доклада.</p> <p><u>Решение типовых задач:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – умеет определять и применять современные научные методы при решении практических задач, – точность ответа, непринципиальные ошибки. <p><u>Экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – демонстрирует в основном углубленные знания базовых понятий, моделей, гипотез и концепций, свободно владеет всеми основными разделами современной физики, – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – допускает незначительные ошибки при ответах на дополнительные вопросы. <p>При изложении ответа на вопрос(ы) экзаменационного билета обучающийся мог допустить незначительные неточности.</p>	<p><i>Хорошо</i></p>
<p><u>Доклады и выступления</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – не знает направления актуальных исследований, не составляет анализ результатов предшественников и современных достижений в области физики в применении к профессиональной области деятельности, – затрудняется в постановке задач научно-исследовательской деятельности, – затрудняется в выборе возможных направлений профессиональной самореализации, 	<p><i>Удовлетворительно</i></p>

<p>- ограниченно владеет приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач, В докладах и выступлениях обучающийся допускает неточности, влияющие на суть доклада.</p> <p><u>Решение типовых задач:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - затрудняется в определении и применении современных научных методов при решении практических задач, - при решении задач допускает принципиальные ошибки. <p><u>Экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - демонстрирует общие знания базовых понятий и моделей в профессиональной области, критичных для понимания основных явлений и экспериментов, но допускает существенные ошибки по содержанию рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, - затрудняется в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, - допускает значительные ошибки при ответах на дополнительные вопросы. 	
<p><u>Доклады и выступления</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - отсутствие теоретического и фактического материала, подкрепленного ссылками на научную литературу и источники, - затрудняется в постановке задач научно-исследовательской деятельности, - затрудняется в выборе возможных направлений профессиональной самореализации, - не владеет приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач, - неподготовленность докладов и выступлений на основе предварительного изучения литературы по темам, неучастие в коллективных обсуждениях в ходе практического (семинарского) занятия. <p><u>Решение типовых задач:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - затрудняется в определении и применении современных научных методов при решении практических задач, - при решении задач допускает многочисленные ошибки. <p><u>Экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - демонстрирует общие знания базовых понятий и моделей в профессиональной области, критичных для понимания основных явлений и экспериментов, но допускает существенные ошибки по содержанию рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, - затрудняется в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, - не отвечает на дополнительные вопросы. 	<p><i>Неудовлетво- рительно</i></p>

Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины (оценочные материалы)

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям РПД, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

I. Примерная тематика докладов

1. Спектроскопия квантовой логики.

2. Столкновительные сдвиги частоты в ансамблях ультрахолодных атомов в оптических решетках.
3. Магнито-индуцированная спектроскопия 0-0 переходов.
4. Гипер-рамсеевская спектроскопия.
5. Методы подавления сдвигов частоты, обусловленных тепловым равновесным излучением.
6. Электродинамика атомов в оптических решетках: поправки высших порядков и связанные с ними сдвиги частоты реперного перехода.
7. Многоионные оптические стандарты частоты.
8. Оптические стандарты частоты на базе многозарядных ионов.
9. Оптические стандарты частоты на базе ядерных переходов.

II. Форма и перечень вопросов экзаменационного билета.

2.1 Форма экзаменационного билета

Новосибирский государственный университет Физический факультет	
_____ научная специальность	
_____ направленность (профиль)	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Вопрос. 2. Задача. 3. Вопросы по изложенному аспирантом предмету его исследований. 	
Составитель	_____ И.О.Фамилия (подпись)
Ответственный за образовательную программу	
_____ И.О.Фамилия (подпись)	
« ____ » _____ 20 ____ г.	

2.2. Перечень типовых вопросов

1. Модель математического описания колебательной системы.
2. Идеальные и реальные гармонические осцилляторы.
3. Амплитудная и фазовая модуляция.
4. Примеры систем с обратной связью, особенности и характеристики.
5. Флуктуация частоты во временном представлении.
6. Дисперсия Аллана.
7. Спектральное описание флуктуаций частоты, форма линии генерации.
8. Методы измерения частоты.
9. Обобщённые методы Рамсея.

10. Метод стабилизации лазеров: Хэнша-Куйо и Паунд-Драйвера-Холла.
11. Принципы действия ионных ловушек, способы их практической реализации.
12. Метод захвата нейтральных атомов в оптические решётки.
13. Решёточные стандарты с Бозе- и Ферми-атомами.

2.3 Перечень типовых задач

1. Лазерный пучок (гауссов) мощностью 1 Вт и радиусом 1 мм резонансно (отстройка - 10 МГц) взаимодействует с циклическим переходом D2 линии атома (Na, K, Rb, Cs). Дать оценки для сил спонтанного и вынужденного светового давления.
2. Оценить коэффициенты трения и диффузии, температуру атомов (Na, K, Rb, Cs) при взаимодействии циклического перехода D2 линии с полем встречных лазерных пучком (мощность 1 мВт и радиус 1 мкм каждого). Объяснить как ответ зависит от поляризации пучков.
3. Оценить температуру БЭК для атомов (Na, K, Rb, Cs, Sr, Mg) при концентрации 10^{11} см^{-3} .
4. Оценить глубину оптической решетки и скорость спонтанного рассеяния фотонов решетки атомами (Na, K, Rb, Cs, Sr, Mg) в основном состоянии. Параметры поля решетки: отстройка 100 ГГц, интенсивность 1 кВт/см².
5. Оценить глубину магнитооптического потенциала МОЛ для четных изотопов атомов (Mg, Yb, Sr, Hg). Мощность и радиус лазерных пучков 1 Вт и 1 см, соответственно, градиент магнитного поля 10 Гс/см.
6. Оценить коэффициент трения в МОЛ для четных изотопов атомов (Mg, Yb, Sr, Hg). Мощность и радиус лазерных пучков 1 Вт и 1 см, соответственно, градиент магнитного поля 10 Гс/см.
7. Оценить коэффициент диффузии в МОЛ для четных изотопов атомов (Mg, Yb, Sr, Hg). Мощность и радиус лазерных пучков 1 Вт и 1 см, соответственно, градиент магнитного поля 10 Гс/см.
8. Оценить температуру в МОЛ для четных изотопов атомов (Mg, Yb, Sr, Hg). Мощность и радиус лазерных пучков 1 Вт и 1 см, соответственно, градиент магнитного поля 10 Гс/см.
9. Для атома (Mg, Yb, Sr, Hg) оценить интенсивность поля, при которой сила спонтанного светового давления и сила тяжести сравниваются по величине.
10. Оценить максимальную высоту, на которую можно подбрасывать ультрахолодные (5 мкК) атомы в СВЧ стандарте частоты фонтанного типа, например, на атомах (Cs, Rb).
11. Оценить минимальную ширину резонансов Рамси в СВЧ стандарте частоты фонтанного типа, например, на ультрахолодных (5 мкК) атомах (Cs, Rb).