

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Снежинский физико-технический институт –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СФТИ НИЯУ МИФИ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. руководителя по учебной
и научно-методической работе
« ____ » _____ 201__ г.

_____ П.О.Румянцев

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Физика лазеров

Направление подготовки (специальность) 15.05.01 Проектирование технологических
машин и комплексов

Профиль подготовки (специализация) «Аддитивные технологии»

Квалификация (степень) выпускника специалист

Форма обучения очная

г. Снежинск, 2018 г.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины Физика лазеров является ознакомление студентов с основами волновой оптики, физики полупроводников и твердотельных лазеров и их применением.

Задача изучения дисциплины «Физика лазеров» состоит в том, чтобы дать необходимые для понимания работы физике и технике твердотельных, полупроводниковых и оптоволоконных лазеров, природе взаимодействия электромагнитного излучения с веществом.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина "Физика лазеров" относится к базовой части модуля (Б1.Б.30) ООП ВО 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов Курс «Физика лазеров» посвящен одному из важных разделов современной физики, без изучения которого невозможна качественная подготовка инженеров-физиков. Предмет «Физика лазеров» изучается на четвертом курсе в седьмом семестре обучения.

Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины:

- 2.1. Общие курсы физики и математики.
- 2.2. Курсы атомной физики и квантовой механики.

3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Компетентностная модель соответствует требованиям ОС ВО НИЯУ МИФИ по специальности 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов

ПК-3 – способностью участвовать в работах по доводке и освоению аддитивных установок различного принципа действия в ходе подготовки производства новой продукции

ПК-12 – способностью обеспечивать исследование аддитивных технологических процессов, материалов, режимов, использовать и модернизировать стандартные пакеты средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов.

ПК-14 – способностью применять стандартные методы расчета при проектировании машин, электроприводов, гидроприводов, средств гидропневмоавтоматики, систем, различных комплексов, процессов, оборудования и производственных объектов, деталей и узлов машиностроения

ПК-15 – способностью принимать участие в работах по расчету и проектированию различных типов технологических процессов аддитивного производства в соответствии с техническими заданиями и использованием специальных средств автоматизации проектирования

ПК-16 – способностью подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты машин, электроприводов, гидроприводов, средств гидропневмоавтоматики, систем, различных комплексов, процессов, оборудования и производственных объектов с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий на основе возможностей аддитивного метода изготовления, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения.

ПСК-1.1 - способностью демонстрировать знания принципов и особенностей аддитивных технологий различных типов и их основных технических характеристик, эффективных областей использования

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Семестр	Трудоем- кость, кредит	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Экз., час.	СРС, час.	Форма контроля, Экз./зачет
7	4	144	36	36	36	36	экзамен

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 кредита, 144 часа.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемос- ти (<i>неделя, форма</i>)	Аттеста- ция раздела (<i>неделя, форма</i>)	Макс. балл за раз- дел *
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы			
7 семестр								
1	Параметры лазерного излучения	1	2			конспект лекции		1
2	Диагностика лазерного излучения	2	2	4		защита работы		5
3	Диагностика лазерного излучения (продолжение)	3	2			конспект лекции		1
4	Техника твердотельных лазеров с диодной накачкой	4	2	4		защита. работы		5
5	Пико- и фемтосекундные твердотельные лазеры с диодной накачкой	5	2			конспект лекции		1
6	Нелинейные оптические явления	6	2	4		конспект лекции, защита. работы		1+5
7	Оптические волокна	7	2			конспект лекции		1
8	Оптические волокна (продолжение)	8	2	4		защита работы		5
9	Оптические волокна	9	2					

	(продолжение)							
10	Оптические волокна (продолжение)	10	2	4		защита работы	10 неделя Допол. защита. работ	5
11	Оптоволоконные лазеры	11	2			конспект лекции		1
12	Оптоволоконные лазеры (продолжение)	12	2	4		защита. работы		5
13	Оптоволоконные лазеры (продолжение)	13	2			конспект лекции		
14	Энергетические спектры и распространение частиц в периодических полупроводниковых гетероструктурах	14	2	4		конспект лекции, защита работы		1+5
15	Энергетические спектры и распространение частиц в периодических полупроводниковых гетероструктурах (продолжение)	15	2			конспект лекции		
16	Мощные полупроводниковые лазерные диоды для накачки ТТЛДН и ОВЛДН	16	2	4		защита работы		1+5
17	Модули полупроводниковых лазерных диодов для накачки ТТЛДН и ОВЛДН	17	2			конспект лекции		1
18	Техника диодной накачки ТТЛДН и ОВЛДН	18	2	4		конспект лекции защита работы	18 неделя Итог. защита работ	1+5
Всего:			36		36			50
...	Экзамен							50
Итого за 7 семестр:								100

Раскрытие лекционных тем

Тема 1. Параметры лазерного излучения

Энергетические, временные, пространственно-угловые и спектральные параметры лазерного излучения.

Тема 2. Диагностика лазерного излучения.

Методики измерения энергетических, временных, пространственно-угловых и спектральных параметров лазерного излучения.

Тема 3. Техника твердотельных лазеров с диодной накачкой.

Ключевые компоненты оптических генераторов и усилителей. Схемы многокаскадных и много проходных усилителей. Автогенераторы.

Тема 4. Пико- и фемтосекундные твердотельные лазеры с диодной накачкой.

Связь длительности импульса с параметрами среды. Генерация ультракоротких импульсов
Компенсация дисперсии среды. Усиление сверхкоротких импульсов. Генерация «белого света». Параметрические генераторы и усилители. Типы фемтосекундных лазеров и их применения.

Тема 5. Нелинейные оптические явления

Генерация высших гармоник. Параметрические преобразование частоты излучения. Самофокусировка лазерного излучения.

Тема 6. Оптические волокна.

Анализ распространения лазерного излучения в оптических волноводах в приближении геометрической оптики. Параметры оптических оптоволокон. Одномодовые и многомодовые оптоволоконна. Волновые эффекты при прохождении света через границу двух диэлектриков. Волновые эффекты при распространении лазерного излучения в оптических волноводах. Микроструктурированные оптоволоконна.

Тема 7. Оптоволоконные лазеры.

Схемы накачки оптоволоконных лазеров. Активные среды оптоволоконных лазеров. Параметрические оптоволоконные лазеры. Техника оптоволоконных лазеров с диодной накачкой. Схемы мощных оптоволоконных лазеров. Фазировка излучения оптоволоконных лазеров.

Тема 8. Энергетические спектры и распространение частиц в периодических полупроводниковых гетероструктурах.

Рассеяние электронов на потенциальной ступеньке, потенциальном барьере конечной ширины. Интерференционные эффекты при надбарьерном пролете частиц. Электроны в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины. Особенности движения электронов над потенциальной ямой. Энергетические состояния в прямоугольной квантовой яме сложной формы. Структура со сдвоенной квантовой ямой. Энергетический спектр сверхрешеток.

Тема 9. Мощные полупроводниковые лазерные диоды для накачки ТТЛДН и ОВЛДН

Особенности гетероструктур мощных лазерных диодов. Теплоотводы и компенсация термических напряжений. Одиночные лазерные диоды, линейки лазерных диодов, матрицы лазерных диодов.

Тема 10. Модули полупроводниковых лазерных диодов для накачки ТТЛДН и ОВЛДН.

Схемы концентрации излучения одиночных лазерных диодов и линеек лазерных диодов. Схемы ввода излучения лазерных диодов в оптоволоконна.

Тема 11. Техника диодной накачки ТТЛДН и ОВЛДН.

Типы активных элементов и квантронов. Термооптические искажения в активных элементах твердотельных лазеров, методы компенсации термооптических искажений. Схемы организации теплоотвода и термостабилизации.

Раскрытие содержания лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Методики измерения энергии лазерных импульсов.

Изучение приборов для измерения энергии лазерных импульсов, проведение измерения энергии твердотельного лазера в режиме одиночных импульсов и в частотно-импульсном режиме, измерение коэффициента деления лазерного излучения на светоделителе, измерение усиления лазерного каскада по энергии, оценка погрешностей.

Лабораторная работа 2. Методики измерения мощности лазерных импульсов.

Изучение приборов для измерения мощности лазерных импульсов, проведение измерения средней мощности твердотельного лазера в частотно-импульсном режиме, измерение усиления лазерного каскада по малому сигналу, оценка погрешностей.

Лабораторная работа 3. Методики измерения временного профиля лазерных импульсов.

Фотодиоды и осциллография лазерных импульсов, проведение измерения временного профиля лазерных импульсов твердотельного лазера в режим одиночных импульсов и в частотно-импульсном режиме, регистрация насыщения усиления временного профиля лазерных импульсов по энергии, оценка погрешностей.

Лабораторная работа 4. Методики измерения пространственного профиля лазерного излучения.

Изучение приборов для измерения пространственного профиля лазерных импульсов, проведение измерения пространственного профиля ближней зоны излучения твердотельного лазера в частотно-импульсном режиме, оценка погрешностей.

Лабораторная работа 5. Методики измерения расходимости излучения твердотельных и оптоволоконных лазеров.

Проведение измерения энергетической расходимости твердотельного лазера в частотно-импульсном режиме и оптоволоконного лазера в непрерывном режиме, измерение параметра M^2 излучения твердотельного и оптоволоконного лазеров, оценка погрешностей.

Лабораторная работа 6. Дифракция Френеля.

Исследование дифракции при распространении когерентного лазерного излучения в свободном пространстве и линзовых системах с простейшими транспарантами и при различных числах Френеля.

Лабораторная работа 7. Трансляторы лазерного излучения.

Исследование изменения пространственного профиля лазерного излучения He-Ne лазера в системах с трансляцией и без.

Лабораторная работа 8. Пространственная фильтрация лазерного излучения.

Экспериментальное исследование использования пространственной фильтрации для формирования дифракционно-ограниченных лазерных пучков с разными значениями коэффициентов заполнения апертуры лазерных элементов, экспериментальное исследование пространственной фильтрации мелкомасштабных возмущений пространственного профиля лазерного излучения.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации различных видов учебной работы в рамках курса предусмотрено использование следующих образовательных технологий:

1. Лекции проводятся с применением мультимедийных средств обучения в виде презентации PowerPoint, с целью в наиболее сжатом концентрированном виде сделать обзор пройденного материала с указанием взаимосвязи между разделами дисциплины, освещением основных изученных подразделов, а также для формирования у студентов общего представления о месте дисциплины в общем перечне дисциплин ООП ВО 14.03.02 «Ядерные физика и технологии» и о формируемых этой дисциплиной компетенциях.

2. Лабораторные работы проводятся в соответствии с планом, разработанным в методическом пособии к практикуму. Сдача каждой лабораторной работы производится после окончания выполнения данной работы. На 10 и 18 неделях предусмотрена дополнительная защита несданных лабораторных работ.

3. Один раз в три недели преподавателем проводится текущая консультация. Вопросы можно задавать лично преподавателю в назначенное время.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.

Самостоятельная работа студентов составляет ~31% от общего объёма занятий, предусмотренных рабочим учебным планом направления подготовки 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов– 144 часа.

Часы на самостоятельную работу распределяются равномерно на весь курс обучения. Разделы, выводимые на самостоятельное изучение в рамках лекционных и практических разделов, устанавливаются преподавателем на каждой неделе, в зависимости от скорости усвоения материала студентами. Темы для самостоятельного изучения оглашаются преподавателем в конце каждой лекции и заносятся студентами в график самостоятельной работы.

Текущий контроль успеваемости проводится посредством проверки наличия конспекта лекции.

Экзамен проводится в традиционной форме – по билетам. Каждый билет содержит два теоретических вопроса и одно практическое задание (по одному вопросу из части 1 и части 2 курса, и одной задачи, либо из части 1, либо из части 2 курса)

Вопросы для экзамена по части 2 курса

Параметры и диагностика лазерного излучения.

Сформулируйте определение расходимости лазерного излучения.

Каковы особенности применения калориметрии при регистрации лазерного излучения.

Каковы физические принципы положены в основу методик регистрации мощности лазерного излучения.

Принцип работы монохроматора, возможные оптические схемы построения прибора.

Техника твердотельных лазеров с диодной накачкой

Ячейка Фарадея, принцип действия. Примеры оптических схем с использованием ячеек Фарадея.

Ячейка Поккельса, принцип действия. Примеры оптических схем с использованием ячеек Поккельса

Многослойные диэлектрические зеркала и поляризаторы, принцип действия.

Трансляторы и пространственные фильтры, принцип действия. Схемы многокаскадных усилителей.

Схемы многопроходных усилителей.

Схемы автогенераторов.

Пико- и фемтосекундные твердотельные лазеры с диодной накачкой

Какой параметр лазерной среды определяет минимально достижимую в данной среде длительность светового импульса?

Оптическая схема генератора фемтосекундных импульсов на титан-сапфире.

Методы компенсации дисперсии среды в фемтосекундных лазерах

Усиление chirпированных импульсов.

Параметрические усилители фемтосекундных импульсов.

Физические принципы генерации «белого света».

Нелинейные оптические явления

Генерация высших гармоник в нелинейных кристаллах, какие нелинейные кристаллы вы знаете?

Физика параметрического преобразования частоты в нелинейных кристаллах. Какие нелинейные кристаллы вы знаете?

Явление самофокусировки. Нелинейный показатель преломления. Интеграл распада.

Крупно и мелкомасштабная самофокусировка лазерного излучения

Методы минимизации развития мелкомасштабной самофокусировки в мощных многокаскадных усилителях.

Оптические волокна

Физические явления при распространении световой волны на границе двух диэлектриков: угол Брюстера, полное внутреннее отражение.

Планарные световоды, параметры и особенности распространения лазерного излучения

Аксиальносимметричные световоды, параметры и особенности распространения лазерного излучения.

Аксиальносимметричные световоды, параметры и особенности распространения лазерного излучения.

Цилиндрические световоды, параметры и особенности распространения лазерного излучения.

Аксиальносимметричные световоды, параметры и особенности распространения лазерного излучения.

Конические переходы.

Ввод излучения в световоды.

Оптоволоконные лазеры

Оптоволоконный лазер с накачкой в сердцевину: оптическая схема, принцип действия, достоинства и недостатки.

Оптоволоконный лазер с двойной оболочкой: оптическая схема, принцип действия, достоинства и недостатки.

Оптоволоконный лазер с боковой накачкой: оптическая схема, принцип действия, достоинства и недостатки.

Принцип когерентного сложения лазерного излучения (фазировка)

Энергетические спектры и распространение частиц в периодических полупроводниковых гетероструктурах

Рассеяние электронов на конечной потенциальной ступеньке: физика явления, плотность потока частиц, коэффициенты отражения и прозрачности. Чему равен коэффициент отражения при потенциальной энергии электрона меньшей потенциальной энергии ступеньки?

Рассеяние электронов на потенциальном барьере конечной высоты: физика явления, плотность потока частиц, коэффициенты отражения и прозрачности. Верно ли утверждение, что при энергии электрона большей высоты барьера коэффициент прозрачности равен единице? Дайте обоснование из качественного анализа физических явлений при взаимодействии электрона с потенциальным барьером конечной высоты.

Электроны в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины. В чем качественное отличие вида волновых функций сравнительно со случаем бесконечно глубокой потенциальной ямой?

Особенности движения электронов над потенциальной ямой. Дайте качественный анализ особенностей прохождения электронов над ямой.

Структура со сдвоенной квантовой ямой. Дайте качественный анализ расщепления уровня в сдвоенной яме

Особенности гетероструктур мощных лазерных диодов. Почему выгодно сдвигать внутреннюю квантовую яму в сторону области p-проводимости?

Мощные полупроводниковые диоды, модули лазерных диодов, техника накачки твердотельных и оптоволоконных лазеров излучением лазерных диодов.

Какие типы теплоотводов вы знаете?.

Методы термокомпенсации системы чип-теплоотвод.

Одиночные лазерные диоды: конструктивные особенности, типы, предельные параметры, области применения.

Линейки лазерных диодов: конструктивные особенности, типы, предельные параметры, области применения.

Матрицы лазерных диодов: конструктивные особенности, типы, предельные параметры, области применения.

Схемы концентрации излучения одиночных лазерных диодов

Схемы концентрации излучения линеек лазерных диодов

Схемы ввода излучения лазерных диодов в оптоволокна.
Основные типы твердотельных лазерных элементов.
Термооптические искажения в активных элементах твердотельных лазеров, методы компенсации термооптических искажений.

Задачи для экзамена

Задача 1

Рассчитать оптическую длину в планарном ступенчатом световоде с сердцевинной толщиной 100 мкм, показателем преломления сердцевины 1,45 и показателем преломления оболочки 1,40 для луча, распространяющегося под критическим углом.

Задача 2

Вплотную к цилиндрическому ступенчатому световоду с диаметром сердцевины 100 мкм приложен ламбертов источник того же сечения и мощностью 1 Вт. Рассчитать мощность излучения, которая будет распространяться в световоде, если его сердцевина имеет показатель преломления 1,45 и оболочка имеет показатель преломления 1,40.

Задача 3

Нам требуется ввести лазерное излучение с длиной волны 1,06 мкм в световод с диаметром сердцевины 100 мкм, с показателем преломления сердцевины 1,45 и показателем преломления оболочки 1,40. В каких пределах лежит фокусное расстояние линзы, обеспечивающей эффективный ввод лазерного излучения, если лазерный пучок с дифракционной расходимостью и равномерным распределением интенсивности по сечению имеет диаметр 3 мм.

Задача 4

Рассчитать оптическую длину для меридионального луча в цилиндрическом ступенчатом световоде с сердцевинной толщиной 100 мкм, показателем преломления сердцевины 1,45 и показателем преломления оболочки 1,40 для луча, распространяющегося под критическим углом.

Задача 5

Рассчитать минимальную длину конического перехода между двумя ступенчатыми световодами с показателем преломления сердцевины 1,45 и показателем преломления оболочки 1,40 и диаметрами сердцевины 100 и 120 мкм, соответственно

Задача 6

Рассчитать минимальную длину параболического перехода между двумя ступенчатыми световодами с показателем преломления сердцевины 1,45 и показателем преломления оболочки 1,40 и диаметрами сердцевины 100 и 120 мкм, соответственно.

Задача 7

Вплотную к цилиндрическому градиентному световоду с параболическим профилем световоду с диаметром сердцевины 141 мкм приложен ламбертов источник того же сечения и мощностью 10 Вт. Рассчитать мощность излучения, которая будет распространяться в световоде, если его сердцевина имеет максимальное значение показателя преломления 1,45 и оболочка имеет показатель преломления 1,40.

Задача 8

Электрон с энергией $E > U$ налетает на симметричный квантовый барьер толщиной $L = 100$ нм с потенциальной энергией $U = 20.0$ эВ. Рассчитайте три минимальных значения энергии E , для которых коэффициент прозрачности будет принимать значения $D = 1$?

Задача 9

Электрон с энергией $E = 2$ эВ налетает на симметричный квантовый барьер с потенциальной энергией $U = 2.1$ эВ ($E < U$). Какова должна быть толщина барьера L , чтобы его коэффициент прозрачности для электрона был бы $D = 0.9$, $D = 0.1$?

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

а) основная литература:

7.1. Савельев И.В. Курс общей физики, том III. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц. - М: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", 2014 г.

7.2. Карлов В.И., «Лекции по квантовой электронике», М., Наука, 2013 г.

7.3. Звелто О., «Принципы лазеров», М. «Мир», 2012 г.

б) дополнительная литература:

7.12. Ярив А. «Квантовая электроника», М., Сов. Радио, 1980 г.

7.13. Бертен Ф. «Основы квантовой электроники».

7.14. Микаэлян А.Л. Голография. М.: Наука, 1968 г.

7.15. Оптическая обработка информации. Под ред. Кейсесента Д. М.: Мир, 1980 г.

7.16. Жданов Г.С., Либенсон М.Н., Марциновский Г.А. Оптика внутри дифракционного предела // УФН. 1998. Т. 168, N7. С. 801-804.

7.17. СЛ. Ахманов, Р.В. Хохлов. Параметрические усилители и генераторы света, «УФН», 1966, т.88, в. 3, с.439

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<http://www.ph4s.ru>, раздел Математика, электронный курс по математическому анализу «Дифференциальное исчисление», разработанный кафедрой ВМ НИЯУ МИФИ: <http://80.250.160.82/index.php>.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Мультимедийная аудитория (Л-318). Компьютерный класс, оснащённый компьютерами с выходом в Интернет, а также принтером, сканером, ксероксом:

- Core Dual 2,4 МГц (2009 г.) - 15 шт.
- Принтер HP LJ P3005 DN (2009 г.) - 1 шт.
- Сканер HP SJ 4370 – 1 шт.
- Ноутбук Samsung (2008)
- Проектор ASER X1260 (2008)

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов».