

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Фемтосекундные лазеры в науке, технике и биомедицине
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики высоких плотностей энергии
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: Д.С. Ситников, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высоких плотностей энергии 04.06.2020

Аннотация

За полвека, прошедших с момента изобретения первого лазера, произошел огромный скачок в сокращении длительности лазерного импульса. Достигнутый прогресс позволил открыть новую страницу в науке и технике. Одним из обстоятельств, мотивирующим развитие фемтосекундной лазерной техники, является стремление достичь предельной пиковой мощности при сравнительно небольшой энергии. Гигантская интенсивность в сфокусированных лазерных пучках и связанные с ней напряженности магнитных и электрических полей открывает возможность изучать процессы взаимодействия света с веществом в режимах, ранее недоступных экспериментаторам. Другим обстоятельством является необходимость измерения предельно коротких временных интервалов при исследовании быстротекущих процессов.

Целью настоящего курса является формирование базовых знаний по фемтосекундной лазерной технике, а также областей их практического применения для дальнейшего использования в других областях физического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания; формирование физической культуры, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

В рамках курса рассматриваются вопросы генерации фемтосекундных лазерных импульсов (ФЛИ) и принципы построения мощных фемтосекундных лазерных систем, параметры ФЛИ и методики их измерения. Существенная часть курса посвящена доступным экспериментаторам методикам измерения быстротекущих временных процессов с использованием ФЛИ в качестве инструмента диагностики. Рассматриваются вопросы взаимодействия ФЛИ с конденсированными средами. Помимо фундаментальных аспектов, в рамках курса происходит знакомство с современными технологиями, включая микрообработку материалов и наноструктурирование поверхности. Рассматривается применение фемтосекундных лазеров в клеточной биологии и репродуктивной медицине.

Прослушивание курса дает представление о фемтосекундных лазерных системах не только как об источнике создания вещества в экстремальных состояниях, но и как о прецизионном инструменте диагностики процессов при этом протекающих.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Целью дисциплины «Фемтосекундные лазеры в науке, технике и биомедицине» является формирование базовых знаний по фемтосекундной лазерной технике, а также областей их практического применения для дальнейшего использования в других областях физического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания; формирование физической культуры, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний по фемтосекундной лазерной технике и областям ее применения;
- формирование общефизической культуры;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения физических задач и разработки новых технологий, самостоятельного анализа полученных результатов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость

ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы работы фемтосекундных лазерных систем;
- особенности взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов с веществом;
- основы применения излучения фемтосекундных лазеров в науке, технике, биомедицине.

уметь:

- объяснять принципы построения фемтосекундных лазерных систем;
- представлять панораму применения излучения фемтосекундных лазеров в науке, технике, биомедицине;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- различными методиками диагностики быстропротекающих процессов.

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	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Фемтосекундные лазеры, мощные фемтосекундные лазерные системы	5			2
2	Приборы и методы исследования быстропротекающих процессов с фемтосекундным временным разрешением	5			3

3	Физика процессов взаимодействия мощного фемтосекундного лазерного излучения с конденсированными средами	5			2
4	Динамика образования и разлёта неидеальной лазерной плазмы	5			3
5	Фемтосекундные лазерные технологии	5			2
6	Фемтосекундные лазеры в биологии и медицине	5			3
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Фемтосекундные лазеры, мощные фемтосекундные лазерные системы

Генерация фемтосекундных лазерных импульсов (ФЛИ), импульсно-периодические фемтосекундные лазеры с высокой частотой повторения, мощные фемтосекундные лазерные системы, принцип действия и устройство. Распространение лазерного излучения через оптическую систему. Генерация оптических гармоник. Преобразование мощных ФЛИ в когерентные импульсы терагерцового излучения. Филаментация фемтосекундного лазерного излучения в атмосфере.

2. Приборы и методы исследования быстропротекающих процессов с фемтосекундным временным разрешением

Измерение параметров ФЛИ. Метод «pump-probe» измерений. Оптическая микроскопия, эллипсометрия, интерференционная микроскопия с фемтосекундным временным разрешением

3. Физика процессов взаимодействия мощного фемтосекундного лазерного излучения с конденсированными средами

Неравновесный нагрев и релаксация электронов и решётки в металлах при воздействии ФЛИ. Явления, происходящие при образовании двухтемпературного состояния электронов и решётки (тепловое излучение горячих электронов металла). Сверхбыстрые фазовые превращения в металлах, полупроводниках и графите. Образование и релаксация электрон-дырочной плазмы в полупроводниках. Субпикосекундная лазерная абляция. Генерация ультракоротких ударных волн. Сдвиговая и откольная прочность металлов при экстремально высоких скоростях деформации.

4. Динамика образования и разлёта неидеальной лазерной плазмы

Образование плазмы при воздействии ФЛИ на твердотельные мишени. Параметр неидеальности. Генерация характеристического и тормозного рентгеновского излучения. Лазерное ускорение ионов.

5. Фемтосекундные лазерные технологии

Фемтосекундная лазерная технологическая система для прецизионной обработки материалов. Технологии поверхностной микрообработки: резка и профилирования различных материалов, наноструктурирование поверхности. Технологии объемной микрообработки: создание полных каналов и волноводов в диэлектриках.

6. Фемтосекундные лазеры в биологии и медицине

Лазерные пинцеты и фемтосекундные скальпели, принцип действия и устройство. Методы калибровки силы захвата и жесткости оптической ловушки. Лазерная микро- и нанохирургия в эмбриологии. Лазерное слияние (гибридизация) клеток. Лазерная микроинъекция, оптическая трансфекция. Применение оптических пинцетов для исследования транспортных процессов в клетках.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

- 1) Источники лазерного излучения
 1. О. Звелто, Принципы лазеров. М.: Мир, 2-е издание 1990.
 2. П.Г. Крюков, «Лазеры ультракоротких импульсов» //Квантовая электроника, 31, №2, 2001
 3. П.Г. Крюков «Фемтосекундные импульсы. Введение в новую область лазерной физики» Физматлит, 2008. с. 208.
 4. С.А. Ахманов «Оптика фемтосекундных лазерных импульсов»
- 2) Приборы и методы исследования быстропротекающих процессов с фемтосекундным временным разрешением
 1. S. I. Ashitkov, M. B. Agranat, P. S. Kondratenko, S. I. Anisimov, V. E. Fortov, V. V. Temnov, K. Sokolowski-Tinten, P. Zhou, D. von der Linde « Ultrafast structural transformations in graphite» // Письма в ЖЭТФ, 75:2 (2002), 96–99.
 2. М. Б. Агранат, С. И. Анисимов, С. И. Ашитков, А. В. Овчинников, Я. С. Кондратенко, Д. С. Ситников, Б. Е. Фортов «О механизме поглощения фемтосекундных лазерных импульсов при плавлении и абляции Si и GaAs» // Письма в ЖЭТФ, том 83, вып. 11, с. 592-59 5.
 3. Д.С. Ситников, П.С. Комаров, А.В. Овчинников, С.И. Ашитков «Фемтосекундная фурье-интерферометрия неидеальной плазмы» // Журнал технической физики, 2009, том 79, вып. 4, с75-81.
- 3) Физика процессов взаимодействия мощного фемтосекундного лазерного излучения с конденсированными средами
 1. С.И. Анисимов, Б.С. Лукьянчук «Избранные задачи теории лазерной абляции» // УФН, т.175, №3, 2002.
 2. Анисимов С.И., Копелиович Б.Л., Перельман Т.Л. ЖЭТФ, 66, 776 (1974)
 3. Грасюк А.З. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ. Курс лекций по лазерной физике, 320 с. 2004 г.
 4. М.Н. Либенсон, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ (силовая оптика) Конспект лекций под редакцией Вейко В.П. 2005.
 5. С.И. Ашитков, М.Б. Агранат, Г.И.Канель, П.С.Комаров, В.Е.Фортов «Поведение алюминия вблизи предельной теоретической прочности в экспериментах с фемтосекундным лазерным воздействием» //Письма в ЖЭТФ, т. 92, вып.8, с. 568-573. 2010.
- 4) Динамика образования и разлёта лазерной плазмы
 1. Грасюк А.З. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ. Курс лекций по лазерной физике, 320 с. 2004 г.
- 5) Фемтосекундные лазерные технологии
 1. Peter Schaaf “Laser Processing of Materials : Fundamentals, Applications and Developments”, Springer Series in materials science, 2010, DOI 10.1007/978-3-642-13281-0
- 6) Фемтосекундные лазеры в биологии и медицине
 1. Optical tweezers methods and applications (Series in optics and optoelectronics), Edited by Miles J. Padgett, Chapman & Hall/CRC Taylor & Francis Group, 2010

Дополнительная литература

1) Источники лазерного излучения

1. И. Р. Шен - Принципы нелинейной оптики. М. «Наука» - 1989, с.560.
2. X.-C. Zhang, X. F. Ma, Y. Jin, T.-M. Lu, E. P. Boden, P. D. Phelps, K. R. Stewart, and C. P. Yakymyshyn "Terahertz optical rectification from a nonlinear organic crystal" // Applied Physics Letters 61, 3080 (1992); doi: 10.1063/1.107968
3. G. Me'chain «Range of plasma filaments created in air by a multi-terawatt femtosecond laser» // Optics Communications 247 (2005) 171–180

2) Приборы и методы исследования быстропротекающих процессов с фемтосекундным временным разрешением

1. С.И.Ашитков, П.С.Комаров, А.В.Овчинников, Е.В.Струлёва, М.Б.Агранат «Динамика деформации и откольная прочность алюминия при однократном воздействии фемтосекундного лазерного импульса» // «Квантовая электроника», 43, № 3 (2013).
2. H.Morikami, H. Yoneda et.al. "Detection of hydrodynamic expansion in ultrashort pulse laser ellipsometric pump-probe experiments" // Phys. Rev. E, 70, 035401(R) (2004).
3. С.А. Ахманов, В.И. Емельянов, Н.И. Коротеев, В.Н. Семиногов «Воздействие мощного лазерного излучения на поверхность полупроводников и металлов: нелинейно-оптические эффекты и нелинейно-оптическая диагностика» // УФН, т.147, вып.4, 1985.

3) Физика процессов взаимодействия мощного фемтосекундного лазерного излучения с конденсированными средами

1. С.И.Ашитков, П.С.Комаров, А.В.Овчинников, Е.В.Струлёва, М.Б.Агранат «Динамика деформации и откольная прочность алюминия при однократном воздействии фемтосекундного лазерного импульса» // Квантовая электроника, 43, № 3 (2013).
2. Г.И. Канель, В.Е. Фортов, С.В. Разоренов «Ударные волны в физике конденсированного состояния» // УФН, т.177, №8, 2007.
3. J. Hohlfeld, S.-S. Wellershoff, J. et.al. "Electron and lattice dynamics following optical excitation of metals" // Chem. Phys., 251, 2000, pp.237–258.
4. C. A. Bolme, S. D. McGrane, D. S. Moore, and D. J. Funk "Single shot measurements of laser driven shock waves using ultrafast dynamic ellipsometry" J. Appl. Phys., 102, 033513 (2007); doi: 10.1063/1.2767376.

5) Фемтосекундные лазерные технологии

1. Dieter Bäuerle "Laser Processing and Chemistry", Fourth Edition, DOI 10.1007/978-3-642-17613-5

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

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха.
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
5. <http://mathnet.ru> – общероссийский математический портал.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого 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 Mathcad, MatLab и др.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс " Фемтосекундные лазеры в науке, технике и биомедицине ", должен как овладеть общими знаниями о функционировании фемтосекундных лазерных систем и о экспериментальных схемах с их использованием, так и научиться применять теоретические знания в практике решения конкретных задач динамики взаимодействия излучения с веществом.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные процессы, протекающие при взаимодействии мощного фемтосекундного лазерного излучения с конденсированными средами: неравновесный нагрев и релаксация электронов и решётки в металлах, Сверхбыстрые фазовые превращения в металлах, полупроводниках и графите, образование и релаксация электрон-дырочной плазмы в полупроводниках, субпикосекундная лазерная абляция, генерация ультракоротких ударных волн.

Должны быть освоены методы измерения параметров ФЛИ и экспериментальных схем для исследования быстропротекающих временных процессов при взаимодействии ФЛИ с веществом; изучены основные схемы, используемые для поверхностной и объемной микрообработки различных материалов, а также для захвата манипулирования и диссекции в устройствах типа оптический пинцет и лазерный скальпель.

Должны быть изучены основные направления применения фемтосекундных лазеров в биологии и медицине: лазерная микро- и нанохирургия в эмбриологии; лазерное слияние (гибридизация) клеток; лазерная микроинъекция, оптическая трансфекция; а также применение оптических пинцетов для исследования транспортных процессов в клетках.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. 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.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Общая и прикладная физика
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау
кафедра физики высоких плотностей энергии
курс: 1
квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Д.С. Ситников, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Фемтосекундные лазеры в науке, технике и биомедицине» обучающийся должен:

знать:

- принципы работы фемтосекундных лазерных систем;
- особенности взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов с веществом;
- основы применения излучения фемтосекундных лазеров в науке, технике, биомедицине.

уметь:

- объяснять принципы построения фемтосекундных лазерных систем;
- представлять панораму применения излучения фемтосекундных лазеров в науке, технике, биомедицине;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- различными методиками диагностики быстропротекающих процессов.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов:

1. Источники фемтосекундного лазерного излучения, мощные фемтосекундные лазерные системы (принцип действия и устройство).
2. Генерация терагерцового излучения методом оптического выпрямления.
3. Филаментация фемтосекундного лазерного излучения в атмосфере.
4. Приборы для измерения параметров ФЛИ.
5. Метод «pump-probe» измерений, оптическая микроскопия, эллипсометрия.
6. Интерференционная микроскопия с фемтосекундным временным разрешением.
7. Неравновесный нагрев и релаксация электронов и решётки в металлах при воздействии ФЛИ.
8. Генерация ультракоротких ударных волн.
9. Сдвиговая и откольная прочность металлов при экстремально высоких скоростях деформации.
10. Генерация быстрых электронов и рентгеновское излучение, возникающие при образовании лазерной плазмы на металлических мишенях.
11. Принцип Устройство для фемтосекундной лазерной обработки.
12. Принцип действия и устройство лазерные пинцета и фемтосекундные скальпеля.
13. Методы калибровки силы захвата и жесткости оптической ловушки.

Примеры билетов (используемых для проведения дифференцированного зачета):

1. Генерация терагерцового излучения методом оптического выпрямления.
2. Устройство для фемтосекундной лазерной обработки.

Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал 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 «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые были самостоятельно обнаружены и исправлены;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые после указания экзаменатора были самостоятельно исправлены;

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

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает небольшие ошибки в ответе и (или) при решении задач;

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но отвечает неуверенно и (или) допускает ошибки при решении задач;

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

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, не владеющему некоторыми разделами учебной программы, но умеющему применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, 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;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, показавшему полное незнание учебной программы дисциплины.

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

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 60 мин на подготовку. Опрос обучающегося по билету не превышает двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.