

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Basics of Synchrotron Radiation and Its Applications/Основы синхротронного излучения и его применения
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра биофизики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: И.В. Манухов, д-р биол. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры биофизики 04.04.2022

## Аннотация

Особенностью курса является его ориентированность на обучающихся, ранее не специализировавшихся в областях физики, непосредственно связанных с синхротронным излучением. Данный курс будет наиболее полезен для тех, кто в дальнейшем планирует использовать возможности синхротронного излучения и нейтронов в качестве пользователя, а также (в сочетании с более углублёнными курсами) принимать участие в создании и работе пользовательских станций на источниках СИ.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Цель курса — формирование у обучающихся понимания базовых физических принципов получения синхротронного излучения (СИ) и использования его для решения задач широкого круга пользователей из областей биологии, медицины, химии, геологии, материаловедения, археологии и др., в том числе в контексте уникальных возможностей, предоставляемых последними поколениями источников СИ. В заключительной части курса затрагиваются вопросы использования излучения лазеров на свободных электронах (ЛСЭ) и нейтронов, а также организационные вопросы получения доступа и проведения экспериментов на пользовательских установках megascience.

#### Задачи дисциплины

1. Знакомство обучающихся с основными физическими принципами генерации и использования СИ в областях биологии, медицины, химии, геологии, материаловедения, археологии
2. Знакомство обучающихся с уникальными возможностями, предоставляемыми источниками СИ последнего поколения
3. Знакомство обучающихся с ЛСЭ.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
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	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

на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	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-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

1. Основные физические принципы генерации и использования СИ в областях биологии, медицины, химии, геологии, материаловедения, археологии
2. Уникальные возможности, предоставляемые источниками СИ последнего поколения
3. Основы ЛСЭ

уметь:

- 1) Применять знания о физических принципах генерации и использования СИ для решения фундаментальных профессиональных задач;
- 2) Творчески использовать в научной деятельности знания об уникальных возможностях, предоставляемых источниками СИ последнего поколения;
- 3) Выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах;
- 4) Критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника;
- 5) Генерировать новые идеи и методические решения;
- 6) Осуществлять проектирование своей научной деятельности;
- 7) Представлять свои научные результаты в устных докладах.

владеть:

- 1) Методами теоретического и экспериментального исследования;
- 2) Навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных), обработки, анализа и систематизации информации;
- 3) Навыками критического анализа и оценки современных научных достижений.

#### 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	Введение	2	1		4
2	Свойства пучков	2	1		4
3	Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом – 1	4	2		8
4	Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом – 2	4	2		8
5	Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом – 3	4	2		8
6	Основы современных методик рентгеновской визуализации и микроскопии	2	1		4
7	Основы современных методик рассеяния и дифракции	2	1		4
8	Основы современных методик спектроскопии	2	1		4
9	Природа синхротронного излучения	2	1		4
10	Вставные устройства	2	1		4
11	Станции	2	1		4
12	Рентгеновские лазеры на свободных электронах	2	1		4
Итого часов		30	15		60
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

###### Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Введение

Успехи в изучении микро-, нано- и атомной структуры вещества. Визуализационные, дифракционные и спектроскопические подходы с использованием электромагнитного излучения, электронов и нейтронов. Пределы разрешения.

###### 2. Свойства пучков

Геометрические свойства пучков: размер источника, расходимость, сечение, эмиттанс. Поток, плотность потока и яркость. Спектральная плотность потока. Волновые свойства пучков электромагнитного излучения, дифракционный предел и когерентность.

### 3. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом – 1

Упругое (когерентное) рассеяние электромагнитного излучения электроном: приближения Томсона и Рэлея, комплексный фактор рассеяния, резонансное (аномальное) рассеяние, сечение рассеяния.

### 4. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом – 2

Упругое рассеяние атомом, молекулой, кристаллом и неупорядоченным веществом. Преломление и отражение как проявления упругого рассеяния, комплексный показатель преломления. Рассеяние неоднородной средой. Преломление и отражение в рентгеновском диапазоне.

### 5. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом – 3

Поглощение рентгеновского излучения и связанные с ним процессы (Оже, рентгеновская флуоресценция), сечение поглощения. Неупругое рассеяние: комптоновское и рамановское.

### 6. Основы современных методик рентгеновской визуализации и микроскопии

Принципы визуализирующей рентгеновской оптики. Оптические пределы разрешения. Абсорбционный и фазовый контраст. Статистика фотонов и пределы разрешения, связанные с поглощённой дозой. Контрастирование на краю поглощения, микроскопия в мягком рентгеновском диапазоне, томография.

### 7. Основы современных методик рассеяния и дифракции

Принципы малоуглового рассеяния и рефлектометрии. Рассеяние в широкие углы от кристаллического и неупорядоченного вещества. Резонансные методики. Дифракционная (безлинзовая) микроскопия и задача визуализации одиночной молекулы. Корреляционные методики.

### 8. Основы современных методик спектроскопии

Принципы спектроскопии в мягком и жёстком рентгеновских диапазонах. Спектроскопия неупругого рассеяния. Комбинирование спектроскопических и визуализационных/дифракционных подходов.

### 9. Природа синхротронного излучения

Ограничения лабораторных источников рентгеновского излучения. Использование релятивистских частиц для генерации излучения. Циклотронное и синхротронное излучение. Спектр поворотного магнита. Технические аспекты ускорителей заряженных частиц, временная структура синхротронного излучения в кольцевом накопителе.

### 10. Вставные устройства

Шифтеры, вигглеры и ондуляторы. Спектральные и геометрические свойства ондуляторного излучения. Эффект эмиттанса электронного пучка, «дифракционно ограниченные» кольцевые накопители. Вигглерный режим.

### 11. Станции

Формирование пучка: фильтры, щели, преломляющие, отражающие и дифрагирующие элементы рентгеновской оптики. Мониторы пучка. Детекторы рентгеновского излучения.

## 12. Рентгеновские лазеры на свободных электронах

Синхротронное излучение ансамбля электронов. “Микробандинг” и самоусиливающееся спонтанное излучение. Временная структура синхротронного излучения в лазере на свободных электронах. Применение: эксперименты с временным разрешением, режим “дифракция до разрушения”, использование когерентности.

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

1. Учебная аудитория с медиапроектором и экраном, доступом в сеть Интернет.
2. Необходимое программное обеспечение.
3. Обеспечение самостоятельной работы - базы данных по журналам.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Willmott, Phil. An Introduction to Synchrotron Radiation: Techniques and Applications. Second edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2019.
2. Als-Nielsen, Jens, and Des McMorrow. Elements of Modern X-Ray Physics. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011. <https://doi.org/10.1002/9781119998365>.

### Дополнительная литература

1. Jacobsen, Chris J. X-Ray Microscopy. Advances in Microscopy and Microanalysis. Cambridge ; New York, NY: Cambridge University Press, 2020.

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

[https://henke.lbl.gov/optical\\_constants/](https://henke.lbl.gov/optical_constants/),  
<https://xdb.lbl.gov/>

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

При подготовке и проведении лекционных занятий используется сеть интернет.  
Кроме того, используется Libre Office, а также графический пакет Ink Scape.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;

- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**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 биофизики  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** И.В. Манухов, д-р биол. наук



# 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
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-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	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-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Basics of Synchrotron Radiation and Its Applications/Основы синхротронного излучения и его применения» обучающийся должен:

### знать:

1. Основные физические принципы генерации и использования СИ в областях биологии, медицины, химии, геологии, материаловедения, археологии
2. Уникальные возможности, предоставляемые источниками СИ последнего поколения
3. Основы ЛСЭ

### уметь:

- 1) Применять знания о физических принципах генерации и использования СИ для решения фундаментальных профессиональных задач;
- 2) Творчески использовать в научной деятельности знания об уникальных возможностях, предоставляемых источниками СИ последнего поколения;
- 3) Выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах;
- 4) Критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника;
- 5) Генерировать новые идеи и методические решения;
- 6) Осуществлять проектирование своей научной деятельности;
- 7) Представлять свои научные результаты в устных докладах.

### владеть:

- 1) Методами теоретического и экспериментального исследования;
- 2) Навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных), обработки, анализа и систематизации информации;
- 3) Навыками критического анализа и оценки современных научных достижений.

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

Не предусмотрено.

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

Перечень контрольных вопросов и задач:

1. До реконструкции 2019 г. размер источника излучения для фотонов с энергией 10 кэВ на экспериментальных станциях Европейского центра синхротронного излучения (ESRF) в г. Гренобле (Франция) составлял 412\*6 мкм г.м.с. (по горизонтали и вертикали, соответственно), а расходимость - 12\*5 мкрад г.м.с. После реконструкции эти величины уменьшились до 28\*6 мкм и 7\*5 мкрад. Найти степень когерентности пучка (в вертикальной и горизонтальной плоскости) до и после реконструкции.
2. Построить кривую отражения поверхности вакуум-кремний для излучения с энергией 10 кэВ.
3. Оценить потоки фотонов, соответствующие основным типам взаимодействия излучения с веществом в случае, если возбуждающий поток фотонов с энергией 10 кэВ составляет  $10^{10}$  фотон/с и направляется на наночастицу алмаза диаметром 100 нм.
4. Органеллы клетки различаются по соотношению воды и органического вещества. Возможна ли эффективная микроскопия строения клетки на базе контраста поглощения?
5. Оцените количество падающих на образец фотонов, достаточное для решения структуры типичного белка в режиме “дифракции одиночной молекулы”, а также в обычном эксперименте с кристаллом 10\*10\*10 мкм.
6. До какой относительной спектральной ширины достаточно монохроматизировать излучение с энергией 10 кэВ, чтобы исследовать упругие колебания (фононы) с энергией ~0.01 эВ в образце?

7. Для исследования быстропротекающих процессов планируется использовать 16-сгустковый режим (импульс синхротронного излучения от одного сгустка будет использоваться для записи одного изображения/спектра/картины рассеяния). Найти временное разрешение (в кадрах в секунду) получающегося «кино», если периметр накопителя составляет 476 м.
8. Для решения фазовой проблемы при расшифровке структур белков часто используют резонансное рассеяние на тяжёлых атомах (Se, Br), интегрированных в белок. Какую минимальную амплитуду магнитного поля нужно создать в ондуляторе с периодом 2 см, чтобы использовать резонансное рассеяние на К-крае селена? Энергия электронов в накопителе 3 ГэВ.
9. Рассчитать фокусное расстояние составной рентгеновской линзы, представляющей из себя 30 отверстий радиусом 0.3 мм в блоке алюминия для излучения с энергией 14 кэВ.
10. На сколько порядков будет отличаться максимальная интенсивность синхротронного излучения, излучаемого электронным сгустком в 1 нКл в ондуляторе кольцевого накопителя и в ондуляторе лазера на свободных электронах? Энергию электронов и параметры ондуляторов считать одинаковыми.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1

1. До реконструкции 2019 г. размер источника излучения для фотонов с энергией 10 кэВ на экспериментальных станциях Европейского центра синхротронного излучения (ESRF) в г. Гренобле (Франция) составлял 412\*6 мкм г.м.с. (по горизонтали и вертикали, соответственно), а расходимость - 12\*5 мкрад г.м.с. После реконструкции эти величины уменьшились до 28\*6 мкм и 7\*5 мкрад. Найти степень когерентности пучка (в вертикальной и горизонтальной плоскости) до и после реконструкции.
2. Построить кривую отражения поверхности вакуум-кремний для излучения с энергией 10 кэВ.

Билет 2

1. Оценить потоки фотонов, соответствующие основным типам взаимодействия излучения с веществом в случае, если возбуждающий поток фотонов с энергией 10 кэВ составляет  $10^{10}$  фотон/с и направляется на наночастицу алмаза диаметром 100 нм.
2. Органеллы клетки различаются по соотношению воды и органического вещества. Возможна ли эффективная микроскопия строения клетки на базе контраста поглощения?

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.