

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Современная масс-спектрометрия
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра химической физики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: М.В. Горшков, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры химической физики 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Современная масс-спектрометрия" предназначен для обучения студентов существующим масс-спектрометрическим методам идентификации сложных органических и биоорганических соединений, включая белки и пептиды.

Задачи дисциплины:

- освоение студентами физических основ существующих типов масс-анализаторов;
- приобретение базовых знаний о современных подходах на основе масс-спектрометрии к идентификации структуры биоорганических соединений и их количественному анализу;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области масс-спектрометрии.

Знать:

основные представления теории движения ионов в электромагнитных полях;  
основные представления о типах масс-анализаторов и принципах их работы;  
порядки численных величин, характерные для молекулярной физики.

Уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных молекулярных процессов;  
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;  
производить численные оценки по порядку величины;  
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;  
эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

Владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;  
культурой постановки и моделирования физических задач;  
навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами биомacro-молекул, электромагнитного излучения и взаимодействия между ними.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Времяпролетный масс-анализатор
2. Гибридные масс-спектрометры
3. Ионизация атомов и молекул в газовой фазе
4. Источники ионизации при атмосферном давлении и принципы их работы
5. Комбинация масс-спектрометра с системами предварительного разделения смесей веществ
6. Линейные радиочастотные мультипольные системы
7. Масс-анализатор ионного циклотронного резонанса с преобразованием Фурье
8. Масс-анализаторы: основные принципы работы и характеристики
9. Методы ионизации при исследовании биомacroмолекул
10. Методы фрагментации макромолекул и их реализация в современных масс-спектрометрических системах
11. Обзор масс-спектрометрических систем, используемых для идентификации и анализа белков в задачах протеомики
12. Основы масс-спектрометрического анализа веществ
13. Радиочастотная квадрупольная ионная ловушка Паули
14. Тандемная масс-спектрометрия макромолекул
15. Электродинамическая орбитальная ионная ловушка Орбитрэп с преобразованием Фурье

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение существующих масс-спектрометрических методов идентификации сложных органических и биоорганических соединений, включая белки и пептиды.

## Задачи дисциплины

- освоение студентами физических основ существующих типов масс-анализаторов;
- приобретение базовых знаний о современных подходах на основе масс-спектрометрии к идентификации структуры биоорганических соединений и их количественному анализу;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области масс-спектрометрии.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

основные представления теории движения ионов в электромагнитных полях;  
основные представления о типах масс-анализаторов и принципах их работы;  
порядки численных величин, характерные для молекулярной физики.

уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных молекулярных процессов;  
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;  
производить численные оценки по порядку величины;  
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;  
эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;  
культурой постановки и моделирования физических задач;  
навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами биомacro-молекул, электромагнитного излучения и взаимодействия между ними.

## 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	Времяпролетный масс-анализатор	2			2
2	Гибридные масс-спектрометры	2			2
3	Ионизация атомов и молекул в газовой фазе	1			5
4	Источники ионизации при атмосферном давлении и принципы их работы	2			2
5	Комбинация масс-спектрометра с системами предварительного разделения смесей веществ	2			5
6	Линейные радиочастотные мультипольные системы	3			5
7	Масс-анализатор ионного циклотронного резонанса с преобразованием Фурье	3			5
8	Масс-анализаторы: основные принципы работы и характеристики	1			5
9	Методы ионизации при исследовании биомакромолекул	2			5
10	Методы фрагментации макромолекул и их реализация в современных масс-спектрометрических системах	2			5
11	Обзор масс-спектрометрических систем, используемых для идентификации и анализа белков в задачах протеомики	2			2
12	Основы масс-спектрометрического анализа веществ	1			2
13	Радиочастотная квадрупольная ионная ловушка Паули	3			5
14	Тандемная масс-спектрометрия макромолекул	2			5
15	Электродинамическая орбитальная ионная ловушка Орбитрэп с преобразованием Фурье	2			5
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Времяпролетный масс-анализатор

Основное уравнение времяпролетной масс-спектрометрии. Уравнение калибровки. Рефлектрон.

## 2. Гибридные масс-спектрометры

Гибридизация масс-анализатора первого и второго уровней. Многоступенчатые вакуумные системы. Времяпролетные масс-спектрометры с ортогональным вводом ионов. Комбинация линейных радиочастотных мультипольных ионных ловушек и масс-анализаторов высокого разрешения.

## 3. Ионизация атомов и молекул в газовой фазе

Потенциал ионизации. Электронный удар. Химическая ионизация. Фотоионизация. Бомбардировка быстрыми атомами. Эффективность образования ионов в источниках ионизации.

## 4. Источники ионизации при атмосферном давлении и принципы их работы

Химическая ионизация при атмосферном давлении. Лазерная десорбция/ионизация. Электроспрей и способы его реализации. Механизм образования ионов в источнике электроспрей. Десорбционная электроспрейная ионизация. Пеннинговская ионизация и ее реализация в источниках ДАРТ.

## 5. Комбинация масс-спектрометра с системами предварительного разделения смесей веществ

Основные принципы жидкостно-хроматографического разделения макромолекул. Жидкостная хроматография на основе гидрофобных и гидрофильных взаимодействий. Ортогональное пространство поиска и идентификации биомacroмолекул (время, масса).

## 6. Линейные радиочастотные мультипольные системы

Масс-фильтр на основе радиочастотного квадруполь. Принципы фильтрации и изолирование ионов по массам. Распределение электрических полей в радиочастотных мультиполях. Удерживание и транспорт ионов от источника ионизации до масс-анализатора на основе радиочастотных мультиполей. Линейная квадрупольная радиочастотная ионная ловушка ЛИТ. Влияние ион-ионных взаимодействий на точность измерения масс и разрешающую способность в ЛИТ.

## 7. Масс-анализатор ионного циклотронного резонанса с преобразованием Фурье

Уравнение движение ионов в скрещенных электрическом и магнитном полях. Пеннинговская ионная ловушка. Динамика движения ионов в Пеннигговской ловушки и фундаментальные моды колебаний ионов. Магнетронное уширение ионного облака. Преобразование Фурье. Ион-ионные взаимодействия и их влияние на точность измерения масс ионов. Явление коалесценции ионных облаков. Дипольное, квадрупольное и поляризованные возбуждения циклотронного движения ионов.

## 8. Масс-анализаторы: основные принципы работы и характеристики

Детекторы ионов: цилиндр Фарадея, вторичный электронный умножитель, многоканальный усилитель. Движение ионов в электрических и магнитных полях. Разрешающая способность. Динамический диапазон детектирования. Чувствительность и порог детектирования масс-анализатора. Диапазон измеряемых масс.

## 9. Методы ионизации при исследовании биомacroмолекул

Масс-спектры биомакромолекул при ионизации в источнике электроспрей. Алгоритм Фена. Физико-химические факторы, влияющие на эффективность образования ионов в источнике электроспрей. Механизм образования ионов в источниках МАЛДИ. Практическая реализация лазерной десорбции/ионизации в матрице. Физико-химические факторы, влияющие на эффективность ионизации в источниках МАЛДИ.

#### 10. Методы фрагментации макромолекул и их реализация в современных масс-спектрометрических системах

Номенклатура ионов фрагментов полипептидов. Столкновительная фрагментация. Реализация столкновительной фрагментации в радиочастотных мультипольных системах. Метод внерезонансного возбуждения циклотронного движения ионов в Пеннинговских ловушках и фрагментация ионов макромолекул на его основе. Диссоциативный захват медленных электронов. Диссоциативная передача электрона в ион-ионных взаимодействиях. Диссоциативное взаимодействие ионов макромолекул с инфракрасным излучением. Активация и фрагментация ионов макромолекул в области источника ионизации. Диссоциативное взаимодействие ионов макромолекул с поверхностью.

#### 11. Обзор масс-спектрометрических систем, используемых для идентификации и анализа белков в задачах протеомики

Основные требования к масс-спектрометрам, используемым в протеомных исследованиях. Квадрупольные радиочастотные масс-спектрометры для экспресс анализа. Гибридные хромато-масс-спектрометрические системы высокого разрешения.

#### 12. Основы масс-спектрометрического анализа веществ

Основные составляющие масс-спектрометра. Вакуумная система. Способы получения высокого вакуума. Масс-спектр. Уравнение калибровки масс-спектрометра.

#### 13. Радиочастотная квадрупольная ионная ловушка Паули

Уравнение движения ионов в радиочастотной квадрупольной ионной ловушке. Понятие эффективного потенциала. Основные моды колебаний ионов в ловушке Паули. Диаграмма стабильности. Влияние ион-ионных взаимодействий на диаграмму стабильности. Способы измерения масс в ловушке Паули. Уравнение калибровки. Радиочастотная квадрупольная ионная ловушка с преобразованием Фурье.

#### 14. Тандемная масс-спектрометрия макромолекул

Идентификация структуры веществ на основе масс-спектров фрагментации. Идентификация белков и пептидов с использованием геномных баз данных. Протеомные поисковые машины. Вероятностные подходы к проверке достоверности идентификаций белков.

#### 15. Электродинамическая орбитальная ионная ловушка Орбитрэп с преобразованием Фурье

Ионная ловушка Киндона. Идеальная электростатическая ионная ловушка Найта. Основные моды колебаний ионов в орбитальной ловушке. Принцип электродинамического сжатия ионных облаков. Уравнение калибровки. Влияние ион-ионных взаимодействий на точность измерения масс.

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

учебная аудитория, макет гибридного масс-спектрометра ионного циклотронного резонанса в лаборатории М.В. Горшкова ИНЭП ХФ РАН.

### 6.Перечень рекомендуемой литературы

## Основная литература

1. Л. Д. Ландау, Е.М. Лифшиц ; под ред. Л. П.Питаевского.-5-е из-д., стереотип.-М.:Физматлит.Теоретическая физика. Т. 3:Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-2004.-808 с.
2. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л.П. Питаевского.-5-е изд., стереотип..-М.:Физматлит.Теоретическая физика. Т. 1:Механика.- 2007.-224 с.
3. R.E. March, Quadrupole ion trap mass spectrometry. M: John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2000
4. T. Liu, M.E. Belov, N. Jaitly, W.-J. Qian, R.D. Smith, Accurate Mass Measurements in Proteomics, Chemistry Reviews, 107, 3621-3653 (2007).

## Дополнительная литература

1. В.И.Минкин, Б.Я.Симкин, Р.М.Миняев Теория строения молекул. Ростов-на-Дону: Феникс, 1997, 558 с. ( <http://www.chemport.ru/?cid=33&p=1> ) Гл. 1-6.
2. Драго Р. Физические методы в химии. Т.1. М.: Мир, 1974, 422 с. (<http://nehudlit.ru/1/1249/> ) Гл. 1-3.

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

Не используются

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

не предусмотрены.

## **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 дисциплины, 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 текущей и 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)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра химической физики
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	М.В. Горшков, канд. физ.-мат. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Современная масс-спектрометрия» обучающийся должен:

### знать:

основные представления теории движения ионов в электромагнитных полях;  
основные представления о типах масс-анализаторов и принципах их работы;  
порядки численных величин, характерные для молекулярной физики.

### уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных молекулярных процессов;  
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;  
производить численные оценки по порядку величины;  
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;  
эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;  
культурой постановки и моделирования физических задач;  
навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами биомacro-молекул, электромагнитного излучения и взаимодействия между ними.

## 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 по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Вопросы для подготовки к дифференцированному зачету:

- 1) Основные конструктивные элементы масс-спектрометра. Методы получения высокого вакуума. Типы вакуумных насосов и принципы их работы. Разрешающая способность масс-спектрометра. Понятие чувствительности и предела детектирования. Динамический диапазон детектирования. Точность измерения масс.
- 2) Уравнение движения ионов в электрических и магнитных полях. Приближение одномерного гармонического осциллятора для описания динамики движения ионов в Пеннинговских ловушках. Преобразование Лиувилля.
- 3) Ионная ловушка Паули. Уравнение Маттье для описания динамики движения ионов в переменном электрическом поле. Диаграмма стабильности и ее основные характеристики в применении к радиочастотной квадрупольной масс-спектрометрии. Параметр стабильности. Влияние кулоновских взаимодействий между ионами на форму диаграммы стабильности в ловушках Паули.
- 4) Гармонический осциллятор в быстроосциллирующем внешнем поле. Понятие эффективного потенциала. Связь эффективного потенциала с экспериментальными параметрами. Линейная радиочастотная квадрупольная
- 5) Точное решение уравнения движения ионов в ловушке Пеннинга в приближении однородного магнитного и квадрупольного электростатического полей. Собственные частоты колебаний ионов в ловушках Пеннинга и их связь с экспериментальными параметрами. Дрейфовые движения ионов в скрещенных электрическом и магнитном полях. Магнетронное уширение. Понятие коалесценции ионных облаков в ловушке Пеннинга.
- 6) Масс-спектрометрия с преобразованием Фурье. Форма спектральных линий и ее связь с экспериментальными параметрами. Механизмы уширения спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение. Лоренцевая форма масс-спектральных линий.
- 7) Электростатические ионные ловушки. Идеальная ловушка Киндона. Уравнение Найта для идеальной ловушки Киндона. Электродинамическая орбитальная ловушка Орбитрэп. Собственные частоты колебаний ионов в ловушке Орбитрэп и их связь с экспериментальными параметрами. Электродинамическое сжатие ионных облаков.
- 8) Уравнение калибровки шкалы масс. Методы калибровки масс-анализаторов разного типа. Точность измерения масс. Понятие разрешающей способности масс-спектрометра. Изотопическая структура масс-спектров ионов биомакромолекул. Тонкая изотопическая структура.
- 9) Механизм образования ионов в источнике электроспрей. Эффективность ионизации в источниках электроспрей. Масс-спектры многозарядных ионов. Алгоритм Фенна. Конструктивные особенности источника электроспрей.
- 10) Источник лазерной десорбции/ионизации в матрице (МАЛДИ) и его практическая реализация. Механизм образования ионов в источнике МАЛДИ. Влияние физико-химических свойств матрицы и подложки на эффективность образования ионов.
- 11) Тандемная масс-спектрометрия. Методы фрагментации макромолекул. Аминокислотная последовательность белков и пептидов. Пептидная связь. Основные серии ионов фрагментов пептидов. Зависимость масс-спектров диссоциации пептидов от метода фрагментации.
- 12) Геномные базы данных белков. Основные методы масс-спектрометрической идентификации белков живых организмов. Метод пептидных отпечатков масс. Протеомная поисковая машина. Масс-спектрометрическое секвенирование de novo. Вероятностные подходы к проверке достоверности масс-спектрометрических идентификаций белков и пептидов.
- 13) Роль жидкостной хроматографии в протеомных исследованиях. Интерфейс жидкостной хроматограф/масс-спектрометр. Понятие ортогональности экспериментальных данных. Идентификация белков и пептидов в двухмерном пространстве хроматографического времени удерживания и массы. Масс-спектрометр с разделением по ионной подвижности.
- 14) Масс-спектрометрические подходы к поиску белковых биомаркеров ранней стадии заболеваний. Методы количественного анализа белков в клеточных экстрактах. Масс-спектрометр на основе тройного радиочастотного квадрупольного. Метод количественного анализа пептидов на основе множественного мониторинга диссоциативных переходов.
- 15) Основные принципы построения гибридных масс-спектрометрических систем. Гибридизация первого и второго уровня. Гибридные масс-спектрометрические системы с обратной связью по количеству анализируемых ионов.

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 бала - 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 бала - 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 бала - 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 бал - 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**

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.