

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Трудового Красного Знамени  
Институт солнечно-земной физики  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ИСЗФ СО РАН

чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_ А.В. Медведев  
« 15 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Д.Э.1 Физика верхней и средней атмосферы**

**Научная специальность 1.6.18. Науки об атмосфере и климате**

Иркутск 2023

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработали кандидат физико-математических наук кандидат физико-математических наук	Васильев Р. В. Зоркальцева О.С.
---	------------------------------------

## 1. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика верхней и средней атмосферы» входит в образовательный компонент основной профессиональной образовательной программы по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Дисциплина является элективной для обучающихся в аспирантуре по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Знания и умения, приобретаемые аспирантами после изучения дисциплины, будут использоваться для решения научных задач на этапе получения и обработки экспериментального материала и направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена и к дальнейшей научной работе.

## 2. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Целью дисциплины «Физика верхней и средней атмосферы» является получение фундаментальных знаний об атмосфере Земли, происходящих в ней физических процессах и возможности их использования в процессе дальнейшего обучения, при прохождении практик, написания научных работ, в своей научной и педагогической деятельности.

Задачами дисциплины «Физика верхней и средней атмосферы» являются:

- Получение современных знаний о внешних и внутренних физико-химических, геофизических и межпланетных процессах, определяющих строение и состав атмосферы Земли, её динамику.
- Приобретение навыков качественного и количественного моделирования поведения атмосферы под действием различных факторов.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

В процессе изучения дисциплины «Физика верхней и средней атмосферы» аспирант должен приобрести знания и умения, необходимые для его дальнейшего профессионального становления, а именно:

**Знать:** современные представления о строении и взаимодействии различных областей атмосферы, атмосферы и океана, атмосферы и околоземного космического пространства, солнечного излучения и атмосферы; современные методы исследования атмосферы и её поведения в различном геофизическом окружении; основные теоретические представления о строении атмосферы, её динамике, физико-химических процессах в атмосфере; основные источники (модельные и экспериментальные) геофизической информации о характеристиках атмосферы и их динамике.

**Уметь:** применять современные методы изучения различных областей атмосферы, проводить анализ геофизических явлений, связанных с Солнцем, атмосферой, океаном и околоземным космическим пространством, выполнить простую интерпретацию полученных результатов.

**Владеть:** базовой терминологией для описания характеристик атмосферы и их динамики; базовыми навыками применения различных методов исследования атмосферы; базовыми навыками получения количественных оценок влияния различных физико-химических процессов на поведение атмосферы; базовыми навыками статистического, корреляционного и спектрального анализа данных.

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы /108 часов.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
<b>Аудиторные занятия</b> (всего)	18/0,5
В том числе:	
Лекции	<b>18/0,5</b>
Семинары	
<b>Самостоятельная работа</b> (всего)	<b>90/2,5</b>
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	зачет
<b>Контактная работа</b> (всего)	18/0,5
<b>Общая трудоёмкость</b> (часы/зачетные единицы)	<b>108/3</b>

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Содержание разделов и темы дисциплины

##### Раздел 1. Строение и динамика атмосферы Земли.

Тема 1. Происхождение атмосферы Земли и эволюция её состава. Влияние солнечного излучения геологических факторов и органической жизни на атмосферу. Долгосрочный прогноз состояния атмосферы, сравнение с Марсом и Венерой, обзор возможных сценариев динамики строения и состава.

Тема 2. Воздух и атмосфера.

Состав воздуха вблизи земной поверхности. Состав воздуха в высоких слоях атмосферы. Основные физические характеристики воздуха. Уравнение состояния сухого воздуха. Уравнение состояния влажного воздуха. Принципы деления атмосферы на слои. Тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера и «паузы» между ними. Гомосфера и гетеросфера. Ионосфера и экзосфера. Распределение озона в атмосфере. Первое начало термодинамики, применительно к атмосфере. Адиабатические процессы в атмосфере.

Типы вертикального распределения температуры. Критерии устойчивости атмосферы на основе метода частицы.

Тема 3. Динамика атмосферы. Фундаментальные силы: градиент давления, гравитация, вязкость. Силы в неинерциальной системе отсчёта: центростремительное ускорение и центробежная сила, сила тяжести, сила Кориолиса и эффект кривизны, вариации углового момента. Структура статической атмосферы. Гидростатическое уравнение, давление как вертикальная координата.

Тема 4. Элементарные применения основных уравнений. Уравнение горизонтального движения, уравнение непрерывности, уравнение термодинамической энергии. Сбалансированный поток. Траектории и потоки. Тепловой ветер. Вертикальное движение.

Тема 5. Приливы и волны в атмосфере. Акустические волны, мелководные гравитационные волны, волны Россби. Атмосферные гравитационные волны. Энергетика вертикально распространяющихся волн. Квазидвухлетняя осцилляция. Внезапное стратосферное потепление.

## **Раздел 2. Радиационные и химические процессы в атмосфере Земли.**

Тема 1. Основные законы излучения. Солнечная постоянная. Распределение солнечной радиации по земному шару в отсутствии атмосферы. Поглощение и рассеяние солнечной радиации атмосферой. Законы ослабления солнечной радиации в атмосфере. Прямая солнечная радиация. Рассеянная солнечная радиация. Суммарная солнечная радиация. Альбедо.

Тема 2. Излучение Земли и атмосферы. Окна прозрачности атмосферы. Полуэмпирические формулы для расчета излучения атмосферы и эффективного излучения земной поверхности. Радиационный баланс земной поверхности, атмосферы и системы земная поверхность-атмосфера. Географическое распределение прямой, рассеянной и суммарной радиации, эффективного излучения и радиационного баланса на земном шаре.

Тема 3. Химия атмосферы. Кислородные составляющие, углеродные компоненты, водородные соединения, азотные составляющие соединения хлора, серные компоненты. Общий баланс озона. Ионы в атмосфере.

## **Раздел 3. Атмосферный аэрозоль.**

Тема 1. Водорастворимые и твёрдые аэрозоли, время жизни аэрозолей. Тропосферные аэрозоли, стратосферные аэрозоли.

Тема 2. Образование облаков, микрофизика облаков. Тропосферная облачность, стратосферная облачность, мезосферные облака.

## **Раздел 4. Атмосферная циркуляция.**

Тема 1. Система уравнений гидродинамики атмосферы. Зональная и меридиональная циркуляция воздуха в тропосфере и стратосфере. Ячейки циркуляции. Волновые движения в атмосфере. Типы и индексы циркуляции. Основные индексы циркуляции по классификации Дзердзеевского. Дальние связи в атмосфере, основные циркуляционные моды (АО, САК и др.).

Тема 2. Циркуляция в тропиках. Пассаты, антипассаты, муссоны. Внутритропическая зона конвергенции. Тропические циклоны. Внетропическая циркуляция. Климатологические фронты. Местные ветры: бризы, горно-долинные ветры, ледниковые ветры, фен, бора.

### **Раздел 5. Взаимодействие слоев атмосферы, атмосферы и океана.**

Тема 1. Термический режим системы океан-атмосфера и его воздействие на климат. Химический состав и соленость природных вод. Термическая зональность вод Мирового океана. Глобальное потепление и уровень Мирового океана.

Тема 2. Процессы переноса в стратосфере и тропосфере, стратосферно-тропосферный обмен. Влияние стратосферы на тропосферную погоду и климат.

Тема 3. Химия ионов верхней атмосферы. Свечение верхней атмосферы. Ионосфера. Солнечные вспышки и геомагнитные бури.

### **5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий**

№	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия		СРС
			Лекции	Практические занятия	
1	Строение и динамика атмосферы Земли	44	10	–	34
2	Радиационные и химические процессы в атмосфере Земли	16	2	–	14
3	Атмосферный аэрозоль	14	2	–	12
4	Атмосферная циркуляция	16	2	–	14
5	Взаимодействие слоев атмосферы, атмосферы и океана	18	2	–	16
<b>Итого (часы/з.е.)</b>		<b>108/3</b>	<b>18/0,5</b>		<b>90/2,5</b>

### **5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи**

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и практик	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин

1	Подготовка к сдаче и сдача кандидатского экзамена	Разделы 1-5
2	Исследовательская практика	Разделы 1-5

#### 5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1	Раздел 1. Строение и динамика атмосферы Земли. Тема 1. Происхождение атмосферы Земли и эволюция её состава. Воздух и атмосфера	Лекция	2	Письменные ответы на контрольные вопросы
2.	Раздел 1. Тема 2. Воздух и атмосфера	Лекция-беседа	3	Устный контроль
3.	Тема 3. Динамика атмосферы.	Проблемная лекция	3	Тестирование
4.	Раздел 1. Тема 4. Элементарные применения основных уравнений.	Лекция	3	Письменные ответы на контрольные вопросы
5.	Раздел 1. Тема 5. Приливы и волны в атмосфере.	Лекция-беседа	3	Устный контроль
6.	Раздел 2. Радиационные и химические процессы в атмосфере Земли. Тема 1. Основные законы излучения.	Проблемная лекция	2	Тестирование
7.	Раздел 2. Тема 2. Излучение Земли и атмосферы.	Лекция	2	Письменные ответы на контрольные вопросы
8.	Раздел 2. Тема 3. Химия атмосферы.	Лекция-беседа	2	Устный контроль
9.	Раздел 3. Атмосферный аэрозоль. Тема 1. Водорастворимые и твёрдые аэрозоли, время жизни аэрозолей.	Проблемная лекция	2	Тестирование
10.	Раздел 3. Тема 2. Образование облаков, микрофизика облаков. Тропосферная облачность, стратосферная облачность, мезосферные облака.	Лекция	2	Письменные ответы на контрольные вопросы
11.	Раздел 4. Атмосферная циркуляция. Тема 1.	Лекция-беседа	3	Устный контроль

	Зональная и меридиональная циркуляция воздуха в тропосфере и стратосфере.			
12.	Раздел 4. Тема 2. Типы региональной циркуляции атмосферы.	Проблемная лекция	3	Тестирование
13.	Раздел 5. Взаимодействие слоев атмосферы, атмосферы и океана. Тема 1. Термический режим системы океан-атмосфера и его воздействие на климат.	Лекция	2	Письменные ответы на контрольные вопросы
14.	Раздел 5. Тема 2. Процессы переноса в стратосфере и тропосфере, стратосферно-тропосферный обмен. Влияние стратосферы на тропосферную погоду и климат.	Лекция-беседа	2	Устный контроль
15.	Раздел 5. Тема 3. Химия ионов верхней атмосферы. Свечение верхней атмосферы.	Проблемная лекция	2	Тестирование

### 5.5. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

Данный вид занятий не предусмотрен

### 5.6. Перечень и содержание самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Рекомендуемая литература	Всего часов
1	Строение и динамика атмосферы Земли	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме. Подготовка докладов по основным вопросам.	основная литература: 1,2,8 дополнительная литература: 1	30
2	Радиационные и химические процессы в атмосфере Земли	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме. Подготовка докладов по основным вопросам.	основная литература: 1,2,5,6,8 дополнительная литература: 2	12
3	Атмосферный аэрозоль	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме.	основная литература: 1,2,8 дополнительная	10

		Подготовка докладов по основным вопросам.	литература: 1,2	
4	Атмосферная циркуляция	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме. Подготовка докладов по основным вопросам.	основная литература: 3,7	8
5	Взаимодействие слоев атмосферы, атмосферы и океана	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме. Подготовка докладов по основным вопросам.	основная литература: 4,7,8 дополнительная литература: 1,2	12

### Методические указания по организации самостоятельной работы

Для выполнения всех перечисленных видов самостоятельной работы студенту предоставляется возможность использования компьютерного класса во внеучебное время (все компьютеры подключены к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду), фондов стационарной и электронной библиотеки ИСЗФ, читального зала ИСЗФ.

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины 6.1. Основная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Аэрономия средней атмосферы. Химия и физика стратосферы и мезосферы / Г. Брасье, С. Соломон ; Пер. с англ. под ред. А.Д. Морозова. - Л. : Гидрометеиздат, 1987. - 413 с. : ил. - Библиогр.: с.400-406. - Предм. указ.: с.409-413. - Б. ц.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
2	Аэрономия мезосферы и нижней термосферы [Текст] / В.В. Кошелев, Н.Н. Климов, Н.А. Сутырин. - М. : Наука, 1983. - 183 с. : ил. - Библиогр.: с. 159-182. - Б. ц. В надзаг.: АН СССР, СО, СибИЗМИР	6
3	Синоптическая и крупномасштабная изменчивость океана и атмосферы [Текст] / В. И. Бышев. - М. : Наука, 2003. - 343 с. - Б. ц.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
4	Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан - атмосфера и энергоактивные области мирового океана [Текст] / С. С. Лаппо, С. К. Гулев, А. Е. Рождественский. - Л. : Гидрометеиздат, 1990. - 336 р. - .	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
5	Солнечно-земная физика : ч.1 / С. И. Акасофу, С. Чепмен ; Пер. с англ. под ред. Г.М. Никольского. - М. :	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ):

	Мир, 1974. - 384 с. : ил. - Парал .тит. л. на англ. яз. - Библиогр.: с.368-382 . - Пер. изд. :Solar-terrestrialphysics / S. Akasofu, S. Chapman. - Б. ц.	неограниченный доступ
6	Солнечно-земная физика : ч.2 / С. И. Акасофу, С. Чепмен ; Пер. с англ. под ред. Г.М. Никольского. - М. : Мир, 1975. - 512 с. : ил. - Доп. тит. л. на англ. яз. - Библиогр.: с. 481-509. - Пер. изд. :Solar-terrestrialphysics / S. Akasofu, S. Chapman. - 3.56 p.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
7	Stratosphere Troposphere Interactions [Electronic resource] / К. Mohanakumar. - Berlin : Springer, 2008. - 423 p. - Б. ц.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
8	Физика атмосферы [Текст] / А. Х. Хргиан. - Л. :Гидрометеиздат, 1969. - 645 с. - Б. ц.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ

### 6.2. Дополнительная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	An Introduction to Lightning, / Vernon Cooray, Springer, 2015. \$79.99 (386 pp.). ISBN 978-94-017-8937-0	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
2	Популярная аэрономия / А.Д. Данилов. - Л. :Гидрометеиздат, 1978. - 136 с. : ил. - Библиогр. в конце текста. - Б. ц.	5

### 6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- База данных наблюдений отдела физики околоземного космического пространства ИСЗФ СО РАН (<http://dep1.iszf.irk.ru/>)
- Архив наблюдений геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (<http://atmos.iszf.irk.ru/>)
- Научная база данных Scopus (<https://www.scopus.com>)
- Научные данные (материалы) издательства Cambridge University Press (<http://www.cambridge.org>)

### 6.4. Информационные, информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН <http://irbis.iszf.irk.ru>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru/>
- Журналы Американского физического общества <http://publish.aps.org/>
- научная электронная библиотека + Российский Индекс Научного Цитирования

<https://elibrary.ru>

- Международный каталог и поисковая система по публикациям в области астрофизики  
[http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)

## 6.5. Программное обеспечение

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- VideoMost Proton

## 7. Образовательные технологии

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование аспирантами выступлений друг друга.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- конспектирование;

При необходимости, в процессе работы над заданием, аспирант может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Для обучения имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

## **9. Контроль качества освоения программы аспирантуры**

**Цель контроля** – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### **Планируемые результаты освоения дисциплины**

#### **Знать:**

- современные представления о строении и взаимодействии различных областей атмосферы, атмосферы и океана, атмосферы и околоземного космического пространства, солнечного излучения и атмосферы
- современные методы исследования атмосферы и её поведения в различном геофизическом окружении
- основные теоретические представления о строении атмосферы, её динамике, физико-химических процессах в атмосфере
- основные источники (модельные и экспериментальные) геофизической информации о характеристиках атмосферы и их динамике

#### **Уметь:**

- применить современные представления о строении и взаимодействии различных областей атмосферы для качественного анализа геофизических явлений, связанных с Солнцем, атмосферой, океаном и околоземным космическим пространством
- определить метод исследования, необходимый для качественного анализа поведения атмосферы в конкретном геофизическом аспекте

- количественно оценить влияние того или иного процесса на общую картину поведения атмосферы
- провести казуальный и статистический анализ результатов исследования атмосферы, выполнить простую интерпретацию полученных результатов

#### **Владеть:**

- базовой терминологией для описания характеристик атмосферы и их динамики
- базовыми навыками применения различных методов исследования атмосферы
- базовыми навыками получения количественных оценок влияния различных физико-химических процессов на поведение атмосферы
- базовыми навыками статистического, корреляционного и спектрального анализа данных о геофизическом окружении

### **Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости аспиранта, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как устный групповой опрос для повторения и закрепления главных тезисов тем, формулирования и обсуждения проблемных вопросов. После освоения материала раздела учащиеся готовят коллективное сообщение по освещению основных и проблемных вопросов.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

Объектами оценивания выступают:

- Учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- Степень усвоения теоретических знаний.

#### **Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине**

<b>Раздел/Тема</b>	<b>ОС</b>	<b>Содержание задания</b>
Раздел 1. Строение и динамика атмосферы Земли	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.
Раздел 2. Радиационные и химические процессы в атмосфере Земли	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.
Раздел 3.	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные

Атмосферный аэрозоль		вопросы по изученному разделу.
Раздел 4. Атмосферная циркуляция	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.
Раздел 5. Взаимодействие слоев атмосферы, атмосферы и океана	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.

### **Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине осуществляется по окончанию дисциплины в виде **зачета** в соответствии с графиком учебного процесса. Проверка наличия конспектов по дисциплине является допуском к зачету. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

### **Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

#### **Вопросы для зачета (Знать)**

##### **Раздел 1. Строение и динамика атмосферы Земли**

1. Происхождение атмосферы Земли и эволюция её состава.
2. Долгосрочный прогноз состояния атмосферы, возможные сценарии динамики строения и состава.
3. Краткосрочный прогноз состояния и динамики атмосферы для обеспечения текущей человеческой деятельности.
4. Фундаментальные силы: градиент давления, гравитация, вязкость.
5. Силы в неинерциальной системе отсчёта: центростремительное ускорение и центробежная сила.
6. Силы в неинерциальной системе отсчёта: эффекты силы тяжести.
7. Силы в неинерциальной системе отсчёта: сила Кориолиса и эффект кривизны.
8. Силы в неинерциальной системе отсчёта: вариации углового момента.
9. Структура статической атмосферы, давление как вертикальная координата.
10. Вывод гидростатического уравнения.
11. Полная производная вектора во вращающейся системе координат. Векторная форма уравнения движения.
12. Переход в сферическую систему координат. Геострофическое приближение и геострофический ветер.

13. Приближённые прогностические уравнения, числа Россби. Гидростатическое приближение.
14. Термодинамика сухой атмосферы. Потенциальная температура, статическая устойчивость.
15. Элементарные применения основных уравнений. Уравнение горизонтального движения.
16. Элементарные применения основных уравнений. Уравнение непрерывности.
17. Элементарные применения основных уравнений. Уравнение термодинамической энергии.
18. Сбалансированный поток. Траектории и потоки. Тепловой ветер.
19. Вертикальное движение воздушных масс.
20. Приливы и волны в атмосфере. Акустические волны, мелководные гравитационные волны, волны Россби.
21. Приливы и волны в атмосфере. Атмосферные гравитационные волны. Энергетика вертикально распространяющихся волн.
22. Приливы и волны в атмосфере. Квазидвухлетняя осцилляция.
23. Приливы и волны в атмосфере. Внезапное стратосферное потепление.

## **Раздел 2. Радиационные и химические процессы в атмосфере Земли**

1. Солнечное излучение в атмосфере. Поглощение и рассеяние излучения. Радиативный перенос.
2. Тепловые и фотохимические эффекты излучения в атмосфере.
3. Химия атмосферы. Кислородные составляющие.
4. Химия атмосферы. Углеродные компоненты.
5. Химия атмосферы. Водородные соединения.
6. Химия атмосферы. Азотные составляющие.
7. Химия атмосферы. Соединения хлора.
8. Химия атмосферы. Серные компоненты.
9. Общий баланс озона в атмосфере.
10. Ионы в атмосфере.
11. Баланс химических реакций в газовой фазе.

## **Раздел 3. Атмосферный аэрозоль**

1. Водорастворимые и твёрдые аэрозоли, время жизни аэрозолей.
2. Тропосферные аэрозоли.
3. Стратосферные аэрозоли.
4. Образование облаков, микрофизика облаков.

5. Тропосферная облачность.
6. Стратосферная облачность.
7. Мезосферные облака.
8. Динамика коллоидных соединений в газе.

#### **Раздел 4. Атмосферная циркуляция.**

1. Спектр атмосферных движений, их пространственный и временной масштаб.
2. Географическое распределение среднего давления атмосферы на уровне моря в январе и июле, центры действия атмосферы, процессы приводят их образования.
3. Географическое распределение давления в свободной атмосфере в зависимости от сезона года.
4. Пассаты, муссоны и внутритропическая зона конвергенции, характеризующие их системы воздушных течений, погода наблюдается в этих системах воздушных течений.
5. Воздушные течения наблюдаются в тропосфере умеренных широт, циклоническая деятельность в умеренных широтах.
6. Местные ветры, их структуру и причины образования.

#### **Раздел 5. Взаимодействие слоев атмосферы, атмосферы и океана**

1. Крупномасштабная циркуляция океана и атмосферы.
2. Теплообмен между океаном и атмосферой.
3. Термический режим системы океан-атмосфера и его воздействие на климат.
4. Процессы переноса в стратосфере и тропосфере, стратосферно-тропосферный обмен.
5. Влияние стратосферы на тропосферную погоду и климат.
6. Химия ионов верхней атмосферы.
7. Свечение верхней атмосферы.
8. Ионосфера. Солнечные вспышки и геомагнитные бури.

#### **Задачи для зачета (Уметь)**

1. Пренебрегая широтной вариацией радиуса Земли, вычислить угол между векторами силы тяжести с учётом и без учёта вращения Земли. Найти максимальную величину этого угла.
2. Показать, что гомогенная атмосфера (плотность не зависит от высоты) обладает конечной высотой, которая зависит только от температуры на нижней границе. Вычислить высоту однородной атмосферы с температурой на поверхности земли 273 К и давлением 1000 гПа (использовать закон идеального газа и гидростатическое равновесие).
3. Записать высотный ход температуры однородной атмосферы с температурой на поверхности земли 273 К и давлением 1000 гПа (использовать закон идеального газа и гидростатическое равновесие).

4. Температура в точке, удалённой на 50 км от станции, на 3 градуса Цельсия холоднее, чем температура на станции. Если ветер дует с северо-востока со скоростью 20 м/с и воздух нагревается излучением со скоростью 1 градус Цельсия в час, какова будет скорость изменения температуры на станции?
5. Найти пик длины волны падающей солнечной радиации при температуре поверхности Солнца 600 К. Оценить температуру поверхности Земли, если известно, что максимальная длина волны земного излучения находится в области 11400 нм.
6. Параллельный луч света проходит через атмосферный слой толщиной 200 м, содержащий поглощающий газ с плотностью 0.2 кг/м<sup>3</sup>. Пусть падающий луч проходит сквозь слой под углом 30 грд. к нормали. Рассчитать оптическую толщину и поглощающую способность слоя при заданной области длин волн, коэффициент поглощения = 0.1 м<sup>2</sup>/кг.
7. Найти период инерционно-гравитационной волны, если в верхней стратосфере горизонтальная длина волны 100 км и вертикальная длина волны 5 км. Сколько времени требуется этой волне, чтобы распространиться вертикально на расстояние 20 км?
8. Определить время экспоненциального затухания для метана по отношению к потере ОН, если ОН = 5.0E+005 молекул/см<sup>3</sup> в химической реакции  $\text{CH}_4 + \text{OH} = \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ , где коэффициент скорости равен 6,2E-015 см<sup>3</sup>/молекул при 298К.

#### **Задания для зачета (Владеть)**

1. Считается, что на ранних стадиях своего формирования Земная атмосфера содержала большое количество водорода. В современной атмосфере нет такого количества этого газа. Куда ушёл водород?
2. Температура тропопаузы в тропиках значительно ниже, чем в средних и высоких широтах, хотя температура поверхности в тропиках намного выше, чем в средних и высоких широтах. Благодаря какой структурной особенности атмосферного температурного профиля возможно такое распределение?
3. Почему высота тропопаузы различна в различных широтных зонах? Если бы высота тропопаузы была одинакова по всему земному шару, то каковы были бы структурные особенности ветров и распределение температур в нижней атмосфере?
4. В атмосфере Земли максимум концентрации озона находится на высоте около 25 км, почему стратопауза находится на высоте 50, а не 25 км?
5. Каковы источники атмосферных аэрозолей? Как аэрозоли достигают стратосферы? Если предположить, что все аэрозоли покинули атмосферу, то что произойдёт?

6. Летом при облачной погоде ночью относительно тепло, но если воздух сухой, то температура значительно ниже – почему?
7. Иногда летом, поскольку солнце нагревает земную поверхность, во второй половине дня появляется много кучевых облаков. После захода Солнца источник нагрева исчезает, но иногда облака дестабилизируют атмосферу и развиваются грозы. Почему это происходит?
8. Каково среднее время жизни для свободного атома кислорода и молекулы озона в дневное время в среднеширотной нижней стратосфере? Почему при данном времени жизни свободного кислорода и озона, озон не исчезает полностью в атмосфере?
9. Что такое циркуляция Брюера-Добсона? Объяснить важность этой системы циркуляции для процессов переноса из тропиков в высокие широты.
10. Каковы характеристики воздуха, выносимого из тропической тропосферы в нижнюю стратосферу? Что происходит с большей частью воздуха, вошедшего в нижнюю стратосферу?
11. Какова роль стационарных планетарных волн в передаче тепла, импульса и энергии в тропосфере и стратосфере? Какие изменения происходят, когда эти планетарные волны достигают стратосферы?
12. Объяснить, как радиационные эффекты в стратосфере могут модулировать тропосферную циркуляцию и динамику и таким образом влиять на системы погоды.
13. Какие изменения происходят в полярной области в связи с событием внезапного стратосферного потепления? Могут ли эти изменения затрагивать тропическую область? Каким образом?
14. Объяснить влияние естественных факторов, таких как солнечная активность и вулканические извержения на стратосферно-тропосферное взаимодействие.

**Критерии оценки:**

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если основной материал усвоен, студент приобрел необходимые знания и умения;
- оценка «не зачтено» - если основной материал усвоен недостаточно, студент не приобрел необходимых знаний и умений