

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

«13» апреля 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.2 Физика атмосферы

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика солнечно-земных связей**

Квалификация выпускника: **МАГИСТР**

Тип профессиональной деятельности: **научно-исследовательский,
педагогический**

Форма обучения: **очная**

Иркутск 2026

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика (уровень магистратуры), утвержденного приказом Минобрнауки России от 07.08.2020 № 914

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал кандидат физико-математических наук	Р.В. Васильев
---	---------------

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

Дисциплина «Физика атмосферы» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 основной образовательной программы по направленности (профилю) подготовки Физика солнечно-земных связей направления подготовки 03.04.02 Физика.

Предшествующие дисциплины из образовательной программы бакалавриата, на которые данная дисциплина опирается: «Физика», «Математический анализ».

Последующие дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо: «Численные методы в физике».

2. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Целью дисциплины «Физика атмосферы» является формирование у учащихся представлений об основных физических процессах, протекающих в атмосфере.

Задачами дисциплины «Физика атмосферы» является:

- формирование знаний о силах, действующих в атмосфере;
- формирование знаний о термодинамике атмосферы;
- формирование знаний об основах динамики и циркуляции атмосферы;
- формирование знаний о радиационных и фотохимических процессах в атмосфере.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения дисциплины «Физика атмосферы» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ОПОП по направлению подготовки 03.04.02 Физика:

Компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области физики.	Знать: теоретические основы закономерностей атмосферной динамики, особенности превращения механической и тепловой энергии в атмосфере Уметь: использовать уравнения движения воздуха, сохранения импульса массы и энергии для создания простых математических моделей динамики атмосферы Владеть: математическим аппаратом моделирования атмосферной динамики и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК.
ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	ИД 1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области физики солнечно-земных связей	Знать: особенности поглощения солнечной радиации в атмосфере, взаимосвязь радиационных и химических процессов Уметь: Использовать уравнения радиационного и теплового баланса

		для создания простых математических моделей поглощения и выделения радиационной энергии атмосферой Владеть: математическим аппаратом моделирования радиационных процессов и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК.
--	--	--

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
Аудиторные занятия (всего)	36/1
В том числе:	
Лекции	18/0,5
Лабораторные работы	
Практические занятия	18/0,5
Самостоятельная работа (всего)	72/2
Вид промежуточной аттестации (зачет)	
Контактная работа (всего)	36/1
Общая трудоёмкость (часы/зачетные единицы)	108/3

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов и темы дисциплины

5.1.1. Введение

Основные элементы математической физики для работы с курсом. Системы трёхмерных пространственных координат, время. Функциональные зависимости координат и времени, расстояние, скорость и ускорение. Производная, правила дифференцирования, ряд Тейлора. Дифференциальные уравнения, правила интегрирования, граничные условия. Основы векторного анализа. Атмосферный континуум. Физические размерности и единицы измерения параметров атмосферы. Сила, законы Ньютона.

5.1.2. Силы в атмосфере

Фундаментальные силы. Сила градиента давления, сила притяжения, сила трения. Видимые силы в неинерциальной системе координат. Центробежная сила и центростремительное ускорение. Сила тяжести. Сила Кориолиса и эффект кривизны. Гидростатическое уравнение, структура статической атмосферы, геопотенциал. Давление как вертикальная координата. Замена градиента давления градиентом геопотенциала.

5.1.3. Состав атмосферы и радиационно-тепловой баланс

Вертикальная структура атмосферы, стратификация. Атмосферные слои, тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера. Химический состав, озоновый слой, гетеропауза, мезопауза, ионосфера. Солнечная постоянная, альbedo. Распространение излучения в атмосфере. Молекулярное поглощение. Рассеяние света. Собственное излучение атмосферы. Основы теории переноса собственного излучения атмосферы. Радиационный баланс планеты.

5.1.4. Основные законы сохранения

Полная производная полевой характеристики. Полная производная вектора во вращающейся системе координат. Векторная форма уравнения движения воздуха во вращающейся системе координат. Запись уравнений движения в сферических координатах. Масштабный анализ уравнений движения. Геострофическое приближение и геострофический ветер. Приближённые прогностические уравнения число Россби. Гидростатическое приближение. Уравнение непрерывности. Вывод в Эйлеровых координатах, вывод в Лагранжевых координатах. Масштабный анализ уравнения непрерывности.

5.1.5. Термодинамика атмосферы, вода и атмосферное электричество

Уравнение термодинамической энергии. Термодинамика сухой атмосферы. Потенциальная температура. Адиабатический градиент. Статическая устойчивость. Масштабный анализ уравнения термодинамической энергии. Приближение Буссинеска. Термодинамика влажной атмосферы. Эквивалентная потенциальная температура. Псевдоадиабатический градиент. Условная неустойчивость. Образование облачности, осадки. Теплообмен между океаном и атмосферой. Микрофизика облаков. Атмосферное электричество. Поле хорошей погоды. Электрические разряды в атмосфере. Формирование молнии. Электрические явления в верхней атмосфере.

5.1.6. Элементарные применения основных уравнений

Основные уравнения в изобарических координатах. Сбалансированный поток в естественных координатах. Приближение градиентного ветра. Траектории и потоки. Термальный ветер. Баротропная и бароклинная атмосфера. Вертикальное движение.

5.1.7. Циркуляция и завихренность

Теорема о циркуляции и завихренность. Завихренность в естественных координатах. Уравнение завихренности. Представление в декартовых координатах. Представление в изобарических координатах. Масштабный анализ уравнения завихренности. Потенциальная завихренность. Уравнения мелкой воды. Потенциальная завихренность Эртеля.

5.1.8. Осцилляции атмосферы

Линейная теория возмущений. Метод возмущений. Свойства волн. Преобразование Фурье. Дисперсия и групповая скорость. Свойства двумерных и трёхмерных волн. Простые типы волн. Акустические волны, звук. Волны на мелководье. Волны тяжести (плаучести). Волны Россби.

5.1.9. Планетарный пограничный слой

Атмосферная турбулентность. Усреднение Рейнольдса. Турбулентная кинетическая энергия. Уравнения движения планетарного пограничного слоя. Перемешанный пограничный слой. Поточно-градиентное описание. Гипотеза длинны перемешивания. Слой Экмана. Поверхностные слои. Модифицированный слой Экмана. Вторичная циркуляция.

5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№ п/п	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лаб. занятия	Практические занятия	Семинары	
1.	5.1.1. Введение	12	2			2	8
2.	5.1.2. Силы в атмосфере	12	2			2	8
3.	5.1.3. Состав атмосферы и радиационно-тепловой баланс	12	2			2	8
4.	5.1.4. Основные законы сохранения	12	2			2	8
5.	5.1.5. Термодинамика атмосферы, вода и атмосферное электричество	12	2			2	8
6.	5.1.6. Элементарные применения основных уравнений	12	2			2	8

№ п/п	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лаб. занятия	Практические занятия	Семинары	
7.	5.1.7. Циркуляция и завихренность	12	2			2	8
8.	5.1.8. Осцилляции атмосферы	12	2			2	8
9.	5.1.9. Планетарный пограничный слой	12	2			2	8
Итого (часы)		108	18			18	72
Итого (з.е)		3	0,5			0,5	2

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.	Производственная практика (Научно-исследовательская работа)	Разделы 5.1.1-5.1.9

5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	5.1.1. Введение	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	2	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
2.	5.1.2. Силы в атмосфере	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	2	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
3.	5.1.3. Состав атмосферы и радиационно-тепловой баланс	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	2	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
4.	5.1.4. Основные законы сохранения	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	2	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
5.	5.1.5. Термодинамика атмосферы, вода и атмосферное электричество	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	2	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
6.	5.1.6. Элементарные применения основных уравнений	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	2	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
7.	5.1.7. Циркуляция и завихренность	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	2	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
8.	5.1.8. Осцилляции атмосферы	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	2	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
9.	5.1.9. Планетарный пограничный слой	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	2	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций

5.5. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	5.1.1. Введение	Решение задач	2	Беседа по конспекту, собеседование по решению задач
2.	5.1.2. Силы в атмосфере	Решение задач	2	Беседа по конспекту, собеседование по решению задач
3.	5.1.3. Состав атмосферы и радиационно-тепловой баланс	Решение задач	2	Беседа по конспекту, собеседование по решению задач
4.	5.1.4. Основные законы сохранения	Решение задач	2	Беседа по конспекту, собеседование по решению задач
5.	5.1.5. Термодинамика атмосферы, вода и атмосферное электричество	Решение задач	2	Беседа по конспекту, собеседование по решению задач
6.	5.1.6. Элементарные применения основных уравнений	Решение задач	2	Беседа по конспекту, собеседование по решению задач
7.	5.1.7. Циркуляция и завихренность	Решение задач	2	Беседа по конспекту, собеседование по решению задач
8.	5.1.8. Осцилляции атмосферы	Решение задач	2	Беседа по конспекту, собеседование по решению задач
9.	5.1.9. Планетарный пограничный слой	Решение задач	2	Беседа по конспекту, собеседование по решению задач

5.6. Тематика заданий для самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Кол-во часов
1.	5.1.1. Введение	Решение задач	Решить задачи 1-5	Конспект лекций выложенных в ЭИОС, конспект семинаров, основная литература №1-3	8
2.	5.1.2. Силы в атмосфере	Решение задач	Решить задачи 6-9	Конспект лекций выложенных в ЭИОС, конспект семинаров, основная литература №1-3	8
3.	5.1.3. Состав атмосферы и радиационно-тепловой баланс	Решение задач	Решить задачи 10-13	Конспект лекций выложенных в ЭИОС, конспект семинаров, основная литература №1-3	8
4.	5.1.4. Основные законы сохранения	Решение задач	Решить задачи 14-18	Конспект лекций выложенных в ЭИОС, конспект семинаров, основная литература №1-3	8
5.	5.1.5. Термодинамика атмосферы, вода и атмосферное электричество	Решение задач	Решить задачи 19-20	Конспект лекций выложенных в ЭИОС, конспект семинаров, основная литература №1-3	8
6.	5.1.6. Элементарные	Решение задач	Решить	Конспект лекций	8

	применения основных уравнений		задачи 21-26	выложенных в ЭИОС, конспект семинаров, основная литература №1-3	
7.	5.1.7. Циркуляция и завихренность	Решение задач	Решить задачи 27-31	Конспект лекций выложенных в ЭИОС, конспект семинаров, основная литература №1-3	8
8.	5.1.8. Осцилляции атмосферы	Решение задач	Решить задачи 32-36	Конспект лекций выложенных в ЭИОС, конспект семинаров, основная литература №1-3	8
9.	5.1.9. Планетарный пограничный слой	Решение задач	Решить задачи 37-38	Конспект лекций выложенных в ЭИОС, конспект семинаров, основная литература №1-3	8

5.7. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Решение задач проводить с помощью конспектов лекций расположенных в электронной информационной образовательной среде и примеров разобранных на семинарских занятиях.

Задачи для решения на семинарах и самостоятельной работы

1. Вычислить силу действующую на тело массой m движущееся со скоростью $u(t) = u_0 + at$

2. Определить скорость тела массой m через время t после начала действия на него силы $F = F_0 e^{at}$ для случая изначально покоящегося тела и для случая, когда тело имело начальную скорость u_0 .

3. Вычислить угол между векторами $A = 3i + 6j + 2k$ и $B = 5i + 2j + 1k$

4. Даны вектора $A = ai$, $B = bj$ и $C = ci + bj$ доказать, что $A \times C = A \times B$

5. Пренебрегая широтным изменением радиуса Земли, вычислить угол между векторами действующей силы тяжести и силой тяжести без учёта вращения Земли как функцию широты на поверхности. Чему равно максимальное значение этого угла?

6. Два шарика диаметром 4 см размещены на расстоянии 100 м друг от друга на горизонтальной плоскости находящейся около 43° СШ. Шарик толкают во встречном направлении так, чтоб они двигались с равными скоростями по плоскости без трения. С какой скоростью они должны двигаться, чтобы не столкнуться друг с другом вследствие силы Кориолиса?

7. Покажите, что однородная атмосфера (плотность не зависит от высоты) имеет конечную высоту, которая зависит только от температуры на нижней границе. Вычислить высоту однородной атмосферы с температурой поверхности 273 К и давлением на поверхности 1000 гПа. (Используйте закон идеального газа и уравнение гидростатического баланса)

8. Вычислить толщину слоя между уровнями давления 1000 гПа и 500 гПа для постоянной температуры 273 К и 250 К.

9. Показать, что в атмосфере с линейным градиентом температуры $\gamma = dT/dz$ геопотенциальная высота уровня давления p будет:

$$Z(p) = \frac{T_0}{\gamma} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{-R\gamma/g} \right]$$

где p_0, T_0 давление и температура при $Z = 0$, а g - ускорение свободного падения.

10. Рассчитать среднее количество солнечной радиации, приходящееся на единицу поверхности земли за пределами атмосферы (среднюю инсоляцию), если солнечная постоянная $S_0 = 1376 \text{ Вт/м}^2$.

11. Рассчитать среднюю эффективную температуру излучения Земли как

планеты, учитывая, что солнечная постоянная равна $S_0 = 1376 \text{ Вт/м}^2$, среднее планетарное альbedo Земли равно 0.4, а средняя многолетняя температура на земном шаре не меняется со временем. Рассчитать также температуру поверхности Земли, лишенной атмосферы, для значений альbedo 0.1 и 0.8

12. Как изменяется коротковолновая нисходящая радиация на уровне земной поверхности; коротковолновая радиация, отраженная обратно в мировое пространство; а так же радиационное нагревание атмосферы, подстилающей поверхности, системы земная поверхность - атмосфера: а) при увеличении высоты Солнца, б) при увеличении влажности, в) при появлении облачности, г) при увеличении альbedo подстилающей поверхности?

13. 3.17. При каких условиях появление облачности приводит к «потеплению» на уровне земной поверхности, а при каких к «похолоданию»?

14. Температура в точке в 50 км к северу от станции на 3°C ниже, чем на станции. Если ветер дует с северо-востока со скоростью 20 м/с, а воздух нагревается излучением со скоростью 1°C/ч , определите каково локальное изменение температуры на станции.

15. Вычислить изменение температуры за 3 ч, которое будет зарегистрировано приборами на свободном уравновешенном аэростате, смещающемся на северо-восток со скоростью 11 м/с, если горизонтальный градиент температуры численно равен 2°C на 100 км и направлен на юг, а повышение температуры за последние 3 ч по данным станционных измерений составило 0.5°C .

16. Воздушная масса поднимается со скоростью 1 см/с. Вычислить изменение ее температуры за 3 ч, если вертикальный градиент равен 0.5°C/100 м (температура с высотой убывает), а на некоторой фиксированной высоте температура за это время возросла на 1°C .

17. Вычислить изменение температуры на некотором фиксированном уровне, если воздушная масса адиабатически опускается со скоростью 2 см/с, а вертикальный градиент температуры в атмосфере равен 0.6°C/100 м (температура с высотой убывает).

18. Частица воздуха находящаяся в покое покоя на уровне 800 гПа и начинает подниматься вертикально до уровня 500 гПа, сохраняя при этом постоянное превышение температуры 1°C относительно окружающей среды. Предполагая, что средняя температура слоя от 800 до 500 гПа составляет 260 К, вычислите энергию, приобретённую за счёт силы плавучести. Предполагая, что вся приобретаемая энергия переходит в кинетическую энергию частицы, определить какова будет её вертикальная скорость на 500 гПа.

19. Показать, что в атмосфере с постоянной потенциальной температурой (сухоадиабатический градиент) геопотенциальная высота определяется как:

$$Z(p) = H_\theta \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{-R/c_p} \right]$$

где p_0 давление при $Z = 0$, и $H_\theta = c_p \theta / g$ полная геопотенциальная высота атмосферы.

20. Получить связь между температурой адиабатически поднимающейся частицы и температурой окружающей среды, если известно, что температура среды линейно падает с высотой: $T(z) = T_0 - \gamma z$.

21. Самолет, летящий с курсом 60° (т.е. 60° к востоку от севера) со скоростью 200 м / с, сносится ветром так, что движется относительно земли на восток (90°) со скоростью 225 м/с. Если самолет летит при постоянном давлении, какова скорость изменения его высоты (в метрах на километр горизонтального расстояния) при условии постоянного поля давления, геострофического ветра и параметр Кориолиса $f = 10^{-4} \text{ с}^{-1}$?

22. Скорость наблюдаемого ветра в некоторой области отклонена направо под углом 30° относительно изобар (линий постоянного давления). Каково ускорение,

действующее на этот ветер, если градиент поля давления таков, что скорость геострофического ветра = 20 м/с, а область расположена на широте с $f = 10^{-4} \text{с}^{-1}$.

23. Торнадо вращается с постоянной угловой скоростью ω . Покажите, что поверхностное давление в центре торнадо определяется как:

$$p(r) = p_0 e^{\frac{-\omega^2 r_0^2}{2RT}}$$

где p_0 - поверхностное давление на расстоянии r_0 от центра, а T - температура (постоянная). Если температура составляет 288 К, а давление и скорость ветра на расстоянии 100 м от центра равны 1000 гПа и 100 м/с, соответственно, каково давление в центре?

24. Рассчитайте геострофическую скорость ветра (м/с) на изобарической поверхности для градиента геопотенциальной высоты 100 м на 1000 км и сравните со всеми возможными градиентными скоростями ветра для того же градиента геопотенциальной высоты и радиуса кривизны ± 500 км. Пусть $f = 10^{-4} \text{с}^{-1}$.

25. Предположим, что вертикальный столб атмосферы на 43° Ш изначально изотермический в диапазоне высот 900 - 500 гПа. Геострофический ветер на разных высотных уровнях: южный, 10 м/с на 900 гПа, западный 10 м/с на 700 гПа и западный 20 м/с на 500 гПа. Рассчитать средние горизонтальные градиенты температуры в слоях 900-700 гПа и 700-500 гПа. Вычислить скорость изменения адвективной температуры в каждом слое. Как долго этот адвекционный паттерн должен сохраняться, чтобы между 600 и 800 гПа установилась величина сухого адиабатического градиента температуры (9.8°С/км), в предположении, что градиент температуры линеен между 900 и 500 гПа и что толщина слоя между 800 и 600 гПа составляет 2,25 км.

26. Средняя температура в слое между 750 и 500 гПа при $f = 10^{-4} \text{с}^{-1}$ уменьшается в восточном направлении на 3°С на 100 км. Если геострофический ветер на 750 гПа дует с юго-востока со скоростью 20 м/с, какова скорость и направление геострофического ветра на 500 гПа? Какова средняя температурная адвекции в слое между 750 и 500 гПа?

27. Цилиндрический столб воздуха радиусом 100 км на 30° с.ш. расширяется в два раза по сравнению с первоначальным радиусом. Если воздух изначально покоится, какова средняя тангенциальная скорость по периметру после расширения?

28. Метеостанции расположены в вершинах равностороннего прямоугольного треугольника с катетами 5 км и гипотенузой лежащей на северо-восток. На северной станции дует ветер со скоростью 10 м/с с азимутом 60° , на южной 7 м/с с азимутом 80° , на юго-восточной 12 м/с с азимутом 105° . Найти завихренность.

29. Какова циркуляция на площади в виде квадрата со стороной 1000 км для восточного (т. е. дующего с запада) ветра, который уменьшается по величине к северу со скоростью 10 м / с на 500 км? Какова средняя относительная завихренность в квадрате?

30. Вычислите скорость изменения циркуляции вокруг квадрата в плоскости (x, y) с углами в точках (0, 0), (0, L), (L, L) и (L, 0), если температура увеличивается в восточном направлении на скорость 1°С на 200 км, а давление увеличивается к северу со скоростью 1 гПа на 200 км. Пусть $L = 1000$ км, а давление в точке (0, 0) равно 1000 гПа.

31. Циклонический вихрь находится в циклострофическом равновесии с профилем тангенциальной скорости, заданным выражением $V = V_0(r/r_0)^n$, где V_0 - составляющая тангенциальной скорости на расстоянии r_0 от центра вихря. Вычислить циркуляцию вокруг линии тока в радиусе r , завихренность в радиусе r и давление в радиусе r . (Пусть p_0 будет давлением в точке r_0 и предположим, что плотность постоянна)

32. Наблюдается периодическая облачная структура. Период прохождения отдельных облаков через выбранную точку составляет 10 минут, а абсолютная скорость

ветра на уровне движения облаков 50 м/с. Чему равно расстояние между облаками?

33. Частота вертикальной вибрации моторной лодки составляет 2 Гц, скорость 45 км/ч. Если лодка движется перпендикулярно фронту волнения, какова длина волны?

34. На футбольном матче звук свистка судьи составляет $\nu = 3000$ Гц, скорость ветра $V = 10$ м/с, ветер имеет северо-западное направление. Какую частоту будут слышать на Северной и Южной трибунах, если температура воздуха $T = 16^\circ\text{C}$?

35. Показать, что собственный вектор групповой скорости в двумерных внутренних гравитационных волнах параллелен линиям постоянной фазы.

36. Покажите, что для изотермического движения ($DT/Dt = 0$) скорость акустической волны определяется выражением $(gH)^{1/2}$, где $H = RT/g$ масштабная высота.

37. Для ламинарного потока во вращающемся цилиндрическом сосуде, заполненном водой (молекулярная кинематическая вязкость $\nu = 0,01$ см² с⁻¹), вычислите глубину слоя Экмана и время замедления, если глубина жидкости составляет 30 см, а скорость вращения танка составляет 10 оборотов в минуту. Каким должен быть радиус резервуара, чтобы шкала времени вязкой диффузии от боковых стенок была сопоставима со временем замедления?

38. Покажите, что вертикально интегрированный массоперенос в ветровом приземном слое океана Экмана направлен на 90° вправо от направления приземного ветра в северном полушарии. Объясните этот результат физически.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1.	Физика атмосферы : учеб.-метод. пособие. Ч.1 / К. П. Гайкович, В. М. Фридман. - М.: Изд-во ун-та Росс. академии образования, 1998. - 40 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
2.	Курс общей метеорологии. Физика атмосферы : учеб. пособие / Л. Т. Матвеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л. : Гидрометеиздат, 2012. - 751 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
3.	Аэрономия средней атмосферы. Химия и физика стратосферы и мезосферы [Текст]: пер. с англ. / Г. Брасье, С. Соломон. - Л. : Гидрометеиздат, 1987.- 413с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ

6.2. Дополнительная литература

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1.	Введение в физику атмосферы / Р. Ф. Флигль, Дж. Бузингер; Пер. с англ. под ред. Г.С. Голицына. - М.: Мир, 1965. - 467 с	2
2.	Букингом М. Шумы в электронных приборах и системах. М.: Мир, 1986	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
3.	Физика атмосферы [Текст] / А. Х. Хргиан. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 647 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
4.	Восемь лекций по физике атмосферы и гидросферы : учеб. пособие / Р. А. Браже. - Ульяновск: УлГТУ, 2003. - 72 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
5.	Теория планетарных атмосфер. Введение в их физику и химию [Текст]: пер. с англ. / Д. В. Чемберлен. - М.: Мир, 1981. - 352 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ

6.	Верхняя атмосфера и солнечно - земные связи. Введение в физику околоземной космической среды [Электронный ресурс]: пер. в англ. / Дж. К. Харгривз. - Л.: Гидрометеиздат, 1982. - 353 с.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
----	---	--

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

- <http://www.meteorf.gov.ru/product/info/>
- <https://www.ventusky.com/>

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

- <http://irbis.iszf.irk.ru>
- <https://eios.iszf.irk.ru/>

6.5. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимые для освоения дисциплины:

- <https://ru.wikipedia.org/>
- <https://yandex.ru/>
- <https://www.google.com>

6.6. 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
- Сервер видеоконференцсвязи Jitsi Meet

7. Образовательные технологии

- Интерактивные лекции
- Решение задач
- Групповые дискуссии

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

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование магистрантами 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:

- Решение задач
- Конспектирование

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

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 30 посадочных мест, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: • доска магнитно-маркерная Branberg • экран для проектора Projecta • проектор BenQ MH733 1920 x 1080 • ноутбук ASUS L1500CDA Windows 10 Pro • система акустическая Electro Voice EVID 6.2
Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций и самостоятельной работы	Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 7 посадочных мест, оснащена компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде: • персональные компьютеры Неттоп Think Center Lenovo M710Q • мониторы IIYAMA PL2283H, Dell CRHX9K2 • доска магнитно-маркерная Branberg • экран для проектора Projecta • проектор BenQ MH733 1920 x 1080

9. Фонд оценочных средств

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

теоретические основы закономерностей атмосферной динамики, особенности превращения механической и тепловой энергии в атмосфере

особенности поглощения солнечной радиации в атмосфере, взаимосвязь радиационных и химических процессов

Уметь:

использовать уравнения движения воздуха, сохранения импульса массы и энергии для создания простых математических моделей динамики атмосферы

использовать уравнения радиационного и теплового баланса для создания простых математических моделей поглощения и выделения радиационной энергии атмосферой

Владеть:

математическим аппаратом моделирования атмосферной динамики и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК.

математическим аппаратом моделирования радиационных процессов и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Код компетенции	Разделы дисциплины, направленные на формирование компетенции								
	5.1.1	5.1.2	5.1.3	5.1.4	5.1.5	5.1.6	5.1.7	5.1.8	5.1.9
ОПК-1	+	+		+	+	+	+	+	+
ПКА-2	+		+	+	+				

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код компетенции	Показатели (индикаторы)	Формы оценивания			
		Текущий контроль			Промежуточная аттестация
		Устный опрос	Решение задач	Контроль самостоятельной работы	Зачет / экзамен
ОПК-1	Знать: теоретические основы закономерностей атмосферной динамики, особенности превращения механической и тепловой энергии в атмосфере особенности поглощения солнечной радиации в атмосфере, взаимосвязь радиационных и химических процессов Уметь: использовать уравнения движения воздуха, сохранения импульса массы и энергии для создания простых математических моделей динамики атмосферы использовать уравнения радиационного и теплового баланса для создания простых математических моделей поглощения и выделения радиационной энергии атмосферой Владеть: математическим аппаратом моделирования атмосферной динамики и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК. математическим аппаратом моделирования	Вопросы 1-43	Задачи 1-44	Задачи 1-44	зачет

	радиационных процессов и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК.				
ПКА-2	Знать: теоретические основы закономерностей атмосферной динамики, особенности превращения механической и тепловой энергии в атмосфере особенности поглощения солнечной радиации в атмосфере, взаимосвязь радиационных и химических процессов Уметь: использовать уравнения движения воздуха, сохранения импульса массы и энергии для создания простых математических моделей динамики атмосферы использовать уравнения радиационного и теплового баланса для создания простых математических моделей поглощения и выделения радиационной энергии атмосферой Владеть: математическим аппаратом моделирования атмосферной динамики и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК. математическим аппаратом моделирования радиационных процессов и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК.	Вопросы 1-43	Задачи 1-44	Задачи 1-44	зачет

Программа оценивания контролируемой компетенции

Тема или раздел дисциплины ¹	Формируемый признак компетенции	Показатель	Критерий оценивания	Наименование ОС ²	
				ТК ³	ПА ⁴
5.1.1. Введение	ОПК-1. Способен применять	Знание основных элементов	Владеет материалом	Собеседование	зачет

	фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	математической физики для работы с курсом. Системы трёхмерных пространственных координат, время. Функциональные зависимости координат и времени, расстояние, скорость и ускорение. Производная, правила дифференцирования, ряд Тейлора. Дифференциальные уравнения, правила интегрирования, граничные условия. Основы векторного анализа. Атмосферный континуум. Физические размерности и единицы измерения параметров атмосферы. Сила, законы Ньютона.	раздела 5.1.1. Умеет аргументированно вести дискуссию по тематике раздела	Решение задач	
5.1.2. Силы в атмосфере	ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	Знание Фундаментальных силх. Сила градиента давления, сила притяжения, сила трения. Видимые силы в неинерциальной системе координат. Центробежная сила и центростремительное ускорение. Сила тяжести. Сила Кориолиса и эффект кривизны. Гидростатическое уравнение, структура статической атмосферы, геопотенциал. Давление как вертикальная координата. Замена градиента давления градиентом геопотенциала.	Владеет материалом раздела 5.1.2. Умеет аргументированно вести дискуссию по тематике раздела	Собеседование Решение задач	зачет
5.1.3. Состав атмосферы и радиационно-тепловой баланс	ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания	Вертикальная структура атмосферы, стратификация. Атмосферные слои, тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера.	Владеет материалом раздела 5.1.3. Умеет аргументированно вести дискуссию по	Собеседование Решение задач	Зачет

	теоретических и экспериментальных разделов физики	Химический состав, озоновый слой, гетеропауза, мезопауза, ионосфера. Солнечная постоянная, альбедо. Распространение излучения в атмосфере. Молекулярное поглощение. Рассеяние света. Собственное излучение атмосферы. Основы теории переноса собственного излучения атмосферы. Радиационный баланс планеты.	тематике раздела		
5.1.4. Основные законы сохранения	ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	Полная производная полевой характеристики. Полная производная вектора во вращающейся системе координат. Векторная форма уравнения движения воздуха во вращающейся системе координат. Запись уравнений движения в сферических координатах. Масштабный анализ уравнений движения. Геострофическое приближение и геострофический ветер. Приближённые прогностические уравнения число Россби. Гидростатическое приближение. Уравнение непрерывности. Вывод в Эйлеровых координатах, вывод в Лагранжевых координатах. Масштабный анализ уравнения непрерывности.	Владеет материалом раздела 5.1.4. Умеет аргументированно вести дискуссию по тематике раздела	Собеседование Решение задач	Зачёт
5.1.5. Термодинамика атмосферы, вода и атмосферное электричество	ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также	Уравнение термодинамической энергии. Термодинамика сухой атмосферы. Потенциальная температура. Адиабатический	Владеет материалом раздела 5.1.5. Умеет аргументированно вести дискуссию по	Собеседование Решение задач	Зачёт

	владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	градиент. Статическая устойчивость. Масштабный анализ уравнения термодинамической энергии. Приближение Буссинеска. Термодинамика влажной атмосферы. Эквивалентная потенциальная температура. Псевдоадиабатический градиент. Условная неустойчивость. Образование облачности, осадки. Теплообмен между океаном и атмосферой. Микрофизика облаков. Атмосферное электричество. Поле хорошей погоды. Электрические разряды в атмосфере. Формирование молнии. Электрические явления в верхней атмосфере.	тематике раздела		
5.1.6. Элементарные применения основных уравнений	ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	Основные уравнения в изобарических координатах. Сбалансированный поток в естественных координатах. Приближение градиентного ветра. Траектории и потоки. Термальный ветер. Баротропная и бароклинная атмосфера. Вертикальное движение.	Владеет материалом раздела 5.1.6. Умеет аргументированно вести дискуссию по тематике раздела	Собеседование Решение задач	Зачет
5.1.7. Циркуляция и завихренность	ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	Теорема о циркуляции и завихренность. Завихренность в естественных координатах. Уравнение завихренности. Представление в декартовых координатах. Представление в изобарических координатах. Масштабный анализ уравнения	Владеет материалом раздела 5.1.7. Умеет аргументированно вести дискуссию по тематике раздела	Собеседование Решение задач	Зачет

		завихренности. Потенциальная завихренность. Уравнения мелкой воды. Потенциальная завихренность Эртеля.			
5.1.8. Осцилляции атмосферы	ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно- исследовательских задач, а также владеть основами педагогике, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	Линейная теория возмущений. Метод возмущений. Свойства волн. Преобразование Фурье. Дисперсия и групповая скорость. Свойства двумерных и трёхмерных волн. Простые типы волн. Акустические волны, звук. Волны на мелководье. Волны тяжести (плавучести). Волны Россби.	Владеет материалом раздела 5.1.8. Умеет аргументированн о вести дискуссию по тематике раздела	Собеседовани е Решение задач	Заче т
5.1.9. Планетарный пограничный слой	ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно- исследовательских задач, а также владеть основами педагогике, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	Атмосферная турбулентность. Усреднение Рейнольдса. Турбулентная кинетическая энергия. Уравнения движения планетарного пограничного слоя. Перемешанный пограничный слой. Потоково-градиентное описание. Гипотеза длинны перемешивания. Слой Экмана. Поверхностные слои. Модифицированный слой Экмана. Вторичная циркуляция.	Владеет материалом раздела 5.1.9. Умеет аргументированн о вести дискуссию по тематике раздела	Собеседовани е Решение задач	Заче т

Текущая и промежуточная аттестация

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

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости магистранта, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как устный групповой опрос, письменные работы.

Оценочные средства для оценки текущей успеваемости студентов

Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине

Раздел / Тема*	Индекс и уровень формируемой компетенции или	ОС	Содержание задания
----------------	--	----	--------------------

	дескриптора		
5.1.1. Введение	ОПК-1, ПК-2, ИД.1	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
5.1.2. Силы в атмосфере	ОПК-1 ИД.1	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
5.1.3. Состав атмосферы и радиационно-тепловой баланс	ПК-2 , ИД. 1	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
5.1.4. Основные законы сохранения	ОПК-1, ПК-2, ИД.1	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
5.1.5. Термодинамика атмосферы, вода и атмосферное электричество	ОПК-1, ПК-2, ИД.1	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
5.1.6. Элементарные применения основных уравнений	ОПК-1 ИД.1	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
5.1.7. Циркуляция и завихренность	ОПК-1 ИД.1	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
5.1.8. Осцилляции атмосферы	ОПК-1 ИД.1	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу Дискуссия, обсуждение

			материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
5.1.9. Планетарный пограничный слой	ОПК-1 ИД.1	Собеседование, решение задач	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, решить задачу Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.

Задания для текущего контроля Вопросы для собеседования

1. Системы трёхмерных пространственных координат, время. Функциональные зависимости координат и времени, расстояние, скорость и ускорение.
2. Производная, правила дифференцирования, ряд Тейлора. Дифференциальные уравнения, правила интегрирования, граничные условия.
3. Основы векторного анализа. Сила, законы Ньютона.
4. Атмосферный континуум. Физические размерности и единицы измерения параметров атмосферы.
5. Фундаментальные силы. Сила градиента давления, сила притяжения, сила трения.
6. Видимые силы в неинерциальной системе координат. Центробежная сила и центростремительное ускорение. Сила тяжести. Сила Кориолиса.
7. Гидростатическое уравнение состояния идеального газа и структура статической атмосферы.
8. Геопотенциал. Связь градиента давления и градиента геопотенциала, давление как вертикальная координата.
9. Полная производная полевой характеристики. Адвекция.
10. Полная производная вектора во вращающейся системе координат. Векторная форма уравнения движения воздуха во вращающейся системе координат.
11. Запись уравнений движения в сферических координатах.
12. Масштабный анализ уравнений движения. Геоострофическое приближение и геоострофический ветер. Приближённые прогностические уравнения число Россби.
13. Гидростатическое приближение.
14. Уравнение непрерывности. Вывод в Эйлеровых координатах, вывод в Лагранжевых координатах.
15. Масштабный анализ уравнения непрерывности.
16. Уравнение термодинамической энергии. Тепловая и механическая энергия. Связь с геопотенциалом.
17. Потенциальная температура. Адиабатический градиент. Статическая устойчивость. Масштабный анализ уравнения термодинамической энергии.
18. Термодинамика влажной атмосферы. Эквивалентная потенциальная температура. Псевдоадиабатический градиент.
19. Основные уравнения в изобарических координатах: Уравнение горизонтального движения; Уравнение непрерывности; Уравнение термодинамической энергии.
20. Сбалансированный поток. Естественные координаты. Геоострофический поток. Инерциальный поток. Циклоострофический поток. Приближение градиентного ветра.
21. Траектории и потоки.
22. Термальный ветер.
23. Вертикальное движение.
24. Теорема о циркуляции и завихренность.
25. Завихренность в естественных координатах. Уравнение завихренности. Представление в декартовых координатах.
26. Представление завихренности в изобарических координатах. Масштабный анализ уравнения завихренности.
27. Потенциальная завихренность. Уравнения мелкой воды. Баротропное уравнение потенциальной завихренности. Баротропное уравнение завихренности.
28. Потенциальная завихренность Эртеля в изоэнтропических координатах. Уравнения движения в изоэнтропических координатах.
29. Уравнение потенциальной завихренности.
30. Атмосферная турбулентность. Усреднение Рейнольдса. Турбулентная кинетическая энергия.
31. Уравнения движения планетарного пограничного слоя. Перемешанный пограничный слой.
32. Поточно-градиентное описание. Гипотеза длинны перемешивания.

33. Слой Экмана. Поверхностные слои. Модифицированный слой Экмана.
34. Линейная теория возмущений. Метод возмущений. Свойства волн.
35. Преобразование Фурье. Дисперсия и групповая скорость.
36. Свойства двумерных и трёхмерных волн.
37. Акустические волны, звук.
38. Волны на мелководье.
39. Волны тяжести (плавучести).
40. Линейные волны вращающейся стратифицированной атмосферы.
41. Инерциально-гравитационные волны.
42. Свободные баротропные волны Россби.
43. Вынужденные топографические волны Россби.

Задачи для практических занятий

1. Вычислить силу действующую на тело массой m движущееся со скоростью $u(t) = u_0 + at$
2. Определить скорость тела массой m через время t после начала действия на него силы $F = F_0 e^{at}$ для случая изначально покоящегося тела и для случая, когда тело имело начальную скорость u_0 .
3. Вычислить угол между векторами $A = 3i + 6j + 2k$ и $B = 5i + 2j + 1k$
4. Даны вектора $A = ai$, $B = bj$ и $C = ci + bj$ доказать, что $A \times C = A \times B$
5. Пренебрегая широтным изменением радиуса Земли, вычислить угол между векторами действующей силы тяжести и силой тяжести без учёта вращения Земли как функцию широты на поверхности. Чему равно максимальное значение этого угла?
6. Два шарика диаметром 4 см размещены на расстоянии 100 м друг от друга на горизонтальной плоскости находящейся около 43° СШ. Шарик толкают во встречном направлении так, чтоб они двигались с равными скоростями по плоскости без трения. С какой скоростью они должны двигаться, чтобы не столкнуться друг с другом вследствие силы Кориолиса?
7. Покажите, что однородная атмосфера (плотность не зависит от высоты) имеет конечную высоту, которая зависит только от температуры на нижней границе. Вычислить высоту однородной атмосферы с температурой поверхности 273 К и давлением на поверхности 1000 гПа. (Используйте закон идеального газа и уравнение гидростатического баланса)
8. Вычислить толщину слоя между уровнями давления 1000 гПа и 500 гПа для постоянной температуры 273 К и 250 К.
9. Показать, что в атмосфере с линейным градиентом температуры $\gamma = dT/dz$ геопотенциальная высота уровня давления p будет:
10.
$$Z(p) = \frac{T_0}{\gamma} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{-R\gamma/g} \right]$$
11. где p_0 давление и температура при $Z = 0$, а g - ускорение свободного падения.
12. Рассчитать среднее количество солнечной радиации, приходящееся на единицу поверхности земли за пределами атмосферы (среднюю инсоляцию), если солнечная постоянная $S_0 = 1376 \text{ Вт/м}^2$.
13. Рассчитать среднюю эффективную температуру излучения Земли как планеты, учитывая, что солнечная постоянная равна $S_0 = 1376 \text{ Вт/м}^2$, среднее планетарное альbedo Земли равно 0.4, а средняя многолетняя температура на земном шаре не меняется со временем. Рассчитать также температуру поверхности Земли, лишенной атмосферы, для значений альbedo 0.1 и 0.8
14. Как изменятся коротковолновая нисходящая радиация на уровне земной поверхности; коротковолновая радиация, отраженная обратно в мировое пространство; а так же радиационное нагревание атмосферы, подстилающей поверхности, системы земная поверхность - атмосфера: а) при увеличении высоты Солнца, б) при увеличении влажности, в) при появлении облачности, г) при увеличении альbedo подстилающей поверхности?

15.3.17. При каких условиях появление облачности приводит к «потеплению» на уровне земной поверхности, а при каких к «похолоданию»?

16. Температура в точке в 50 км к северу от станции на 3°C ниже, чем на станции. Если ветер дует с северо-востока со скоростью 20 м/с, а воздух нагревается излучением со скоростью $1^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, определите каково локальное изменение температуры на станции.

17. Вычислить изменение температуры за 3 ч, которое будет зарегистрировано приборами на свободном уравновешенном аэростате, смещающемся на северо-восток со скоростью 11 м/с, если горизонтальный градиент температуры численно равен 2°C на 100 км и направлен на юг, а повышение температуры за последние 3 ч по данным станционных измерений составило 0.5°C .

18. Воздушная масса поднимается со скоростью 1 см/с. Вычислить изменение ее температуры за 3 ч, если вертикальный градиент равен $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ (температура с высотой убывает), а на некоторой фиксированной высоте температура за это время возросла на 1°C .

19. Вычислить изменение температуры на некотором фиксированном уровне, если воздушная масса адиабатически опускается со скоростью 2 см/с, а вертикальный градиент температуры в атмосфере равен $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ (температура с высотой убывает).

20. Частица воздуха находящаяся в покое покоя на уровне 800 гПа и начинает подниматься вертикально до уровня 500 гПа, сохраняя при этом постоянное превышение температуры 1°C относительно окружающей среды. Предполагая, что средняя температура слоя от 800 до 500 гПа составляет 260 К, вычислите энергию, приобретённую за счёт силы плавучести. Предполагая, что вся приобретаемая энергия переходит в кинетическую энергию частицы, определить какова будет её вертикальная скорость на 500 гПа.

21. Показать, что в атмосфере с постоянной потенциальной температурой (сухоадиабатический градиент) геопотенциальная высота определяется как:

$$22. Z(p) = H_{\theta} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{-R/c_p} \right]$$

23. где p_0 давление при $Z = 0$, и $H_{\theta} = c_p \theta / g$ полная геопотенциальная высота атмосферы.

24. Получить связь между температурой адиабатически поднимающейся частицы и температурой окружающей среды, если известно, что температура среды линейно падает с высотой: $T(z) = T_0 - \gamma z$.

25. Самолет, летящий с курсом 60° (т.е. 60° к востоку от севера) со скоростью 200 м/с, сносится ветром так, что движется относительно земли на восток (90°) со скоростью 225 м/с. Если самолет летит при постоянном давлении, какова скорость изменения его высоты (в метрах на километр горизонтального расстояния) при условии постоянного поля давления, геострофического ветра и параметр Кориолиса $f = 10^{-4}\text{с}^{-1}$?

26. Скорость наблюдаемого ветра в некоторой области отклонена направо под углом 30° относительно изобар (линий постоянного давления). Каково ускорение, действующее на этот ветер, если градиент поля давления таков, что скорость геострофического ветра = 20 м/с, а область расположена на широте с $f = 10^{-4}\text{с}^{-1}$.

27. Торнадо вращается с постоянной угловой скоростью ω . Покажите, что поверхностное давление в центре торнадо определяется как:

$$28. p(r) = p_0 e^{\frac{-\omega^2 r_0^2}{2RT}}$$

29. где p_0 - поверхностное давление на расстоянии r_0 от центра, а T - температура (постоянная). Если температура составляет 288 К, а давление и скорость ветра на расстоянии 100 м от центра равны 1000 гПа и 100 м/с, соответственно, каково давление в центре?

30. Рассчитайте геострофическую скорость ветра (м/с) на изобарической поверхности для градиента геопотенциальной высоты 100 м на 1000 км и сравните со всеми возможными градиентными скоростями ветра для того же градиента геопотенциальной высоты и радиуса кривизны $\pm 500\text{ км}$. Пусть $f = 10^{-4}\text{с}^{-1}$.

31. Предположим, что вертикальный столб атмосферы на 43° СШ изначально

изотермический в диапазоне высот 900 - 500 гПа. Геоострофический ветер на разных высотных уровнях: южный, 10 м/с на 900 гПа, западный 10 м/с на 700 гПа и западный 20 м/с на 500 гПа. Рассчитать средние горизонтальные градиенты температуры в слоях 900-700 гПа и 700-500 гПа. Вычислить скорость изменения адвективной температуры в каждом слое. Как долго этот адвекционный паттерн должен сохраняться, чтобы между 600 и 800 гПа установилась величина сухого адиабатического градиента температуры ($9.8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$), в предположении, что градиент температуры линеен между 900 и 500 гПа и что толщина слоя между 800 и 600 гПа составляет 2,25 км.

32. Средняя температура в слое между 750 и 500 гПа при $f = 10^{-4}\text{ с}^{-1}$ уменьшается в восточном направлении на 3° C на 100 км. Если геоострофический ветер на 750 гПа дует с юго-востока со скоростью 20 м/с, какова скорость и направление геоострофического ветра на 500 гПа? Какова средняя температурная адвекции в слое между 750 и 500 гПа?

33. Цилиндрический столб воздуха радиусом 100 км на 30° с.ш. расширяется в два раза по сравнению с первоначальным радиусом. Если воздух изначально покоится, какова средняя тангенциальная скорость по периметру после расширения?

34. Метеостанции расположены в вершинах равностороннего прямоугольного треугольника с катетами 5 км и гипотенузой лежащей на северо-восток. На северной станции дует ветер со скоростью 10 м/с с азимутом 60° , на южной 7 м/с с азимутом 80° , на юго-восточной 12 м/с с азимутом 105° . Найти завихренность.

35. Какова циркуляция на площади в виде квадрата со стороной 1000 км для восточного (т. е. дующего с запада) ветра, который уменьшается по величине к северу со скоростью 10 м/с на 500 км? Какова средняя относительная завихренность в квадрате?

36. Вычислите скорость изменения циркуляции вокруг квадрата в плоскости (x, y) с углами в точках $(0, 0)$, $(0, L)$, (L, L) и $(L, 0)$, если температура увеличивается в восточном направлении на скорость 1° C на 200 км, а давление увеличивается к северу со скоростью 1 гПа на 200 км. Пусть $L = 1000$ км, а давление в точке $(0, 0)$ равно 1000 гПа.

37. Циклонический вихрь находится в циклострофическом равновесии с профилем тангенциальной скорости, заданным выражением $V = V_0(r/r_0)^n$, где V_0 - составляющая тангенциальной скорости на расстоянии r_0 от центра вихря. Вычислить циркуляцию вокруг линии тока в радиусе r , завихренность в радиусе r и давление в радиусе r . (Пусть p_0 будет давлением в точке r_0 и предположим, что плотность постоянна)

38. Наблюдается периодическая облачная структура. Период прохождения отдельных облаков через выбранную точку составляет 10 минут, а абсолютная скорость ветра на уровне движения облаков 50 м/с. Чему равно расстояние между облаками?

39. Частота вертикальной вибрации моторной лодки составляет 2 Гц, скорость 45 км/ч. Если лодка движется перпендикулярно фронту волнения, какова длина волны?

40. На футбольном матче звук свистка судьи составляет $\nu = 3000$ Гц, скорость ветра $V = 10$ м/с, ветер имеет северо-западное направление. Какую частоту будут слышать на Северной и Южной трибунах, если температура воздуха $T = 16^{\circ}\text{ C}$?

41. Показать, что собственный вектор групповой скорости в двумерных внутренних гравитационных волнах параллелен линиям постоянной фазы.

42. Покажите, что для изотермического движения ($DT/Dt = 0$) скорость акустической волны определяется выражением $(gH)^{1/2}$, где $H = RT/g$ масштабная высота.

43. Для ламинарного потока во вращающемся цилиндрическом сосуде, заполненном водой (молекулярная кинематическая вязкость $\nu = 0,01\text{ см}^2\text{ с}^{-1}$), вычислите глубину слоя Экмана и время замедления, если глубина жидкости составляет 30 см, а скорость вращения танка составляет 10 оборотов в минуту. Каким должен быть радиус резервуара, чтобы шкала времени вязкой диффузии от боковых стенок была сопоставима со временем замедления?

44. Покажите, что вертикально интегрированный массоперенос в ветровом приземном слое океана Экмана направлен на 90° вправо от напряжения приземного ветра в северном полушарии. Объясните этот результат физически.

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине осуществляется по окончании дисциплины, в виде **зачёта** в соответствии с графиком учебного процесса. Проверка наличия конспектов по дисциплине является допуском к экзамену. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), студент отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Вопросы для зачета

1. Системы трёхмерных пространственных координат, время. Функциональные зависимости координат и времени, расстояние, скорость и ускорение.
2. Производная, правила дифференцирования, ряд Тейлора. Дифференциальные уравнения, правила интегрирования, граничные условия.
3. Основы векторного анализа. Сила, законы Ньютона.
4. Атмосферный континуум. Физические размерности и единицы измерения параметров атмосферы.
5. Фундаментальные силы. Сила градиента давления, сила притяжения, сила трения.
6. Видимые силы в неинерциальной системе координат. Центробежная сила и центростремительное ускорение. Сила тяжести. Сила Кориолиса.
7. Гидростатическое уравнение состояния идеального газа и структура статической атмосферы.
8. Геопотенциал. Связь градиента давления и градиента геопотенциала, давление как вертикальная координата.
9. Полная производная полевой характеристики. Адвекция.
10. Полная производная вектора во вращающейся системе координат. Векторная форма уравнения движения воздуха во вращающейся системе координат.
11. Запись уравнений движения в сферических координатах.
12. Масштабный анализ уравнений движения. Геострофическое приближение и геострофический ветер. Приближённые прогностические уравнения числа Россби.
13. Гидростатическое приближение.
14. Уравнение непрерывности. Вывод в Эйлеровых координатах, вывод в Лагранжевых координатах.
15. Масштабный анализ уравнения непрерывности.
16. Уравнение термодинамической энергии. Тепловая и механическая энергия. Связь с геопотенциалом.
17. Потенциальная температура. Адиабатический градиент. Статическая устойчивость. Масштабный анализ уравнения термодинамической энергии.
18. Термодинамика влажной атмосферы. Эквивалентная потенциальная температура. Псевдоадиабатический градиент.
19. Основные уравнения в изобарических координатах: Уравнение горизонтального движения; Уравнение непрерывности; Уравнение термодинамической энергии.
20. Сбалансированный поток. Естественные координаты. Геострофический поток. Инерциальный поток. Циклострофический поток. Приближение градиентного ветра.
21. Траектории и потоки.
22. Термальный ветер.
23. Вертикальное движение.
24. Теорема о циркуляции и завихренности.
25. Завихренность в естественных координатах. Уравнение завихренности. Представление в декартовых координатах.

26. Представление завихренности в изобарических координатах. Масштабный анализ уравнения завихренности.
27. Потенциальная завихренность. Уравнения мелкой воды. Баротропное уравнение потенциальной завихренности. Баротропное уравнение завихренности.
28. Потенциальная завихренность Эртеля в изоэнтропических координатах. Уравнения движения в изоэнтропических координатах.
29. Уравнение потенциальной завихренности.
30. Атмосферная турбулентность. Усреднение Рейнольдса. Турбулентная кинетическая энергия.
31. Уравнения движения планетарного пограничного слоя. Перемешанный пограничный слой.
32. Потоково-градиентное описание. Гипотеза длинны перемешивания.
33. Слой Экмана. Поверхностный слой. Модифицированный слой Экмана.
34. Линейная теория возмущений. Метод возмущений. Свойства волн.
35. Преобразование Фурье. Дисперсия и групповая скорость.
36. Свойства двумерных и трёхмерных волн.
37. Акустические волны, звук.
38. Волны на мелководье.
39. Волны тяжести (плавучести).
40. Линейные волны вращающейся стратифицированной атмосферы.
41. Инерциально-гравитационные волны.
42. Свободные баротропные волны Россби.
43. Вынужденные топографические волны Россби.

Оценочные средства сформированности компетенций

Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций	№ задания к зачету (или задание)
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области физики.	Вопросы для зачета № 1-43 Задачи для зачета № 1-44
ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	ИД 1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области физики солнечно-земных связей	Вопросы для зачета № 1-43 Задачи для зачета № 1-44

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

2. Оценочные средства, обеспечивающие диагностику сформированности компетенций, заявленных в рабочей программе дисциплины (модуля)

Результат диагностики сформированности компетенций	Показатели	Критерии	Соответствие/ несоответствие	Зачет/ экзамен
Положительные результаты устного промежуточного контроля	подготовка к устному промежуточному контролю, знание основных тем дисциплины, указанных в Программе оценивания контролируемой компетенции	Дал грамотный и развернутый ответ на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса Не ответил или ответил неправильно на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса	Соответствие Несоответствие	Зачет
Положительные результаты решения задач	Решение предложенных преподавателем задач, знание основных тем дисциплины	Положительные результаты решения задач Не решил или неправильно решил предложенные задачи	Соответствие Несоответствие	Зачет
Положительные результаты зачета	Подготовка к зачету и знание вопросов для зачета	Полностью раскрыт вопрос, даны все правильные определения Не полностью раскрыт вопрос и (или) даны неверные определения	Соответствие Несоответствие	Зачет