

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

Рабочая программа по дисциплине

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА АЭРОЗОЛЕЙ**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы бакалавриата по направлению подготовки

**05.03.04 Гидрометеорология**

Направленность (профиль)  
**Гидрометеорология**

Квалификация:  
**Бакалавр**

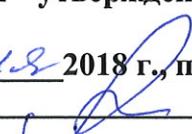
Форма обучения  
**Очная**

Согласовано  
Руководитель ОПОП  
«Гидрометеорология»

  
Абанников В.Н.

Утверждаю  
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением  
Учебно-методического совета  
19 июня 2018 г., протокол № 4

Рассмотрена и утверждена на заседании  
кафедры  
15 февраля 2018 г., протокол № 6  
Зав. кафедрой  Кузнецов А.Д.

Авторы-разработчики:  
 Чукин В.В.

Санкт-Петербург 2018

Рекомендована учёным советом метеорологического факультета РГГМУ  
(Протокол №\_\_\_ от \_\_\_\_\_2018 г.)

**Составил:**

Чукин В.В. – доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы РГГМУ

**Рецензент:**

Щукин Г.Г. – докт. физ.-мат. наук, профессор кафедры Военно-космической Академии  
им. А.Ф. Можайского.

© В.В.Чукин, 2018.  
© РГГМУ, 2018.

## 1. Цели освоения дисциплины

**Цель дисциплины** «Экспериментальная физика аэрозолей» - общетеоретическая подготовка бакалавров гидрометеорологии, владеющих знаниями в объеме, необходимом для понимания роли атмосферного аэрозоля в атмосферных процессах и, в частности, изменениях климата.

**Основная задача дисциплины** «Экспериментальная физика аэрозолей» направлена на формирование у студентов понимания и владения глубокими теоретическими знаниями в области физики атмосферы и практическими навыками по численному моделированию атмосферных процессов.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Экспериментальная физика аэрозолей» для направления подготовки 05.03.04 – Гидрометеорология относится к дисциплинам вариативной части профессионального цикла.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Физика», «Математика», «Вычислительная математика», «Информатика», «Физическая метеорология (раздел Физика атмосферы)».

Дисциплина «Экспериментальная физика аэрозолей» является базовой для освоения дисциплин «Методы зондирования окружающей среды», «Контроль загрязнения природной среды».

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Компетенция
ОК-7	Способность к самоорганизации и самообразованию.
ОПК-1	Владение базовыми знаниями в области фундаментальных разделов математики в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом в гидрометеорологии, для обработки и анализа данных, прогнозирования гидрометеорологических характеристик.
ОПК-2	Владение базовыми знаниями фундаментальных разделов физики, химии, биологии в объеме, необходимом для освоения физических, химических и биологических основ в гидрометеорологии.
ОПК-6	Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ПК-1	Владение методами гидрометеорологических измерений, статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений с применением программных средств.
ПК-3	Владение теоретическими основами и практическими методами организации гидрометеорологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска, а также методами оценки влияния гидрометеорологических факторов на состояние окружающей среды, жизнедеятельность человека и отрасли хозяйства.

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Экспериментальная физика аэрозолей» обучающийся должен:

**Знать:**

- основные параметры атмосферных аэрозолей и методы их измерения;
- физические процессы образования, трансформации и удаления аэрозолей из атмосферы;
- программные средства обработки и визуализации пространственно-временных зависимостей гидрометеорологических параметров;
- основные принципы численного моделирования в области физики атмосферы.

**Уметь:**

- осуществлять численное моделирование в области физики атмосферы;
- обрабатывать большие массивы гидрометеорологических данных;
- визуализировать пространственно-временные зависимости метеорологических параметров;
- эксплуатировать современную вычислительную технику.

**Владеть:**

- методикой эксплуатации вычислительных средств;
- методикой обработки и визуализации гидрометеорологических данных программными средствами;
- методикой численного моделирования в области физики атмосферы.

Основные признаки освоения формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Экспериментальная физика атмосферы» сведены в таблице.

### Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенции	Основные признаки проявленности компетенции (дескрипторное описание уровня)				
	1.	2.	3.	4.	5.
минимальный	не владеет	слабо ориентируется в терминологии и содержании	Способен выделить основные идеи текста, работает с критической литературой	Владеет основными навыками работы с источниками и критической литературой	Способен дать собственную критическую оценку изучаемого материала
	не умеет	не выделяет основные идеи	Способен показать основную идею в развитии	Способен представить ключевую проблему в ее связи с другими процессами	Может соотнести основные идеи с современными проблемами
	не знает	допускает грубые ошибки	Знает основные рабочие категории, однако не ориентируется в их специфике	Понимает специфику основных рабочих категорий	Способен выделить характерный авторский подход
базовый	не владеет	плохо ориентируется в терминологии и содержании	Владеет приемами поиска и систематизации, но не способен свободно изложить материал	Свободно излагает материал, однако не демонстрирует навыков сравнения основных идей и концепций	Способен сравнивать концепции, аргументированно излагает материал
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит проблем	Выделяет конкретную проблему, однако излишне упрощает ее	Способен выделить и сравнить концепции, но испытывает сложности с их практической привязкой	Аргументированно проводит сравнение концепций по заданной проблематике
	не знает	допускает много ошибок	Может изложить основные рабочие категории	Знает основные отличия концепций в заданной проблемной области	Способен выделить специфику концепций в заданной проблемной области
продвинутый	не владеет	ориентируется в терминологии и содержании	В общих чертах понимает основную идею, однако плохо связывает ее с существующей проблематикой	Видит источники современных проблем в заданной области анализа, владеет подходами к их решению	Способен грамотно обосновать собственную позицию относительно решения современных проблем в заданной области
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит их в развитии	Может понять практическое назначение основной идеи, но затрудняется выявить ее основания	Выявляет основания заданной области анализа, понимает ее практическую ценность, однако испытывает затруднения в описании сложных объектов анализа	Свободно ориентируется в заданной области анализа. Понимает ее основания и умеет выделить практическое значение заданной области
	не знает	допускает ошибки при выделении	Способен изложить основное содержание современных научных	Знает основное содержание современных научных идей в рабочей	Может дать критический анализ современным проблемам в

		рабочей области анализа	идей в рабочей области анализа	области анализа, способен их сопоставить	заданной области анализа
--	--	-------------------------	--------------------------------	--	--------------------------

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов.

Объём дисциплины	Всего часов
	Очная форма обучения 2015, 2016, 2017, 2018 года набора
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>144 часа</b>
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b>	<b>72</b>
в том числе:	
лекции	<b>36</b>
практические занятия	<b>36</b>
семинарские занятия	-
<b>Самостоятельная работа (СРС) – всего:</b>	<b>72</b>
в том числе:	
курсовая работа	-
контрольная работа	-
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)</b>	<b>экзамен</b>

#### 4.1 Структура дисциплины

Очное обучение  
2015, 2016, 2017, 2018 года набора

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме,	Формируемые компетенции
			Лекции	Семинар Лаборат. Практич.	Самост. Работа			
1.	Основные параметры аэрозолей	5	6	8	8	Тестирование после лекции. Контроль хода выполнения и результатов практической работы.	2	ОК-7, ОПК-1, ОПК-2
2.	Облакообразующие свойства аэрозолей	5	8	8	8	Тестирование после лекции. Контроль хода выполнения и результатов практической работы.	2	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-6
3.	Электрические свойства аэрозолей	5	8	8	10	Тестирование после лекции. Контроль хода выполнения и результатов практической работы.	2	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-6
4.	Радиационные характеристики аэрозолей	5	8	8	9	Тестирование после лекции. Контроль хода выполнения и результатов практической	1	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-6

						работы.		
5.	Приборы для обнаружения и измерения параметров аэрозолей	5	6	4	10	Тестирование после лекции. Контроль хода выполнения и результатов практической работы.	1	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-6
	<b>ИТОГО</b>		<b>36</b>	<b>36</b>	<b>45</b>		<b>8</b>	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена (27 часов)					<b>144 часов</b>			

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### Основные параметры аэрозолей

Параметры монодисперсного аэрозоля. Распределение полидисперсных частиц по размерам. Процессы образования и удаления аэрозолей из атмосферы. Скорость движения частиц в атмосфере под действием гравитационного и электрического полей. Закон Стокса и поправки на гидродинамическое сопротивление, ламинарность движения и вязкость частицы.

### Облакообразующие свойства аэрозолей

Активация аэрозолей в качестве ядер конденсации, критический радиус аэрозолей, число облачных капель. Конденсационный, сублимационный и коагуляционный рост облачных частиц. Гетерогенный механизм кристаллизации переохлажденных облачных капель с участием аэрозолей. Зависимость времени и температуры замерзания капель от размеров аэрозолей, погруженных в каплю.

### Электрические свойства аэрозолей

Механизмы электризации аэрозолей. Источники ионизации атмосферы. Равновесные значения концентрации ионов и заряда аэрозолей. Предельный заряд аэрозолей. Механизмы пространственного разделения и нейтрализации объемных электрических зарядов в облаках. Роль аэрозолей в глобальной электрической токовой цепи.

### Радиационные характеристики аэрозолей

Теория дифракции электромагнитных волн на частицах. Ослабление, поглощение и рассеяние электромагнитного излучения аэрозолями. Аэрозольная оптическая толщина и ее измерение по актинометрическим и спутниковым данным. Роль аэрозолей в изменении климата планеты.

### Приборы для обнаружения и измерения параметров аэрозолей

Назначение импакторов аэрозольных частиц. Аэрозольные фильтры. Нефелометрические датчики аэрозолей. Оптические счетчики частиц. Принципы дистанционного зондирования аэрозолей с помощью лидаров.

### 4.3.Семинарские, практические, лабораторные занятия, их содержание (Семинарских занятий программой не предусмотрено)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Численное моделирование распределения аэрозолей по размерам	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
2	1	Численное моделирование седиментации аэрозолей	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
3	2	Численное моделирование условий формирования капель водных растворов	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
4	2	Численное моделирование гетерогенной кристаллизации переохлажденных капель водных растворов	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
5	3	Численное моделирование электризации аэрозолей	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
6	3	Численное моделирование генерации атмосферного электричества облаками	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
7	4	Численное моделирование рассеяния и поглощения света аэрозолями	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
8	2	Исследование кристаллизующих свойств аэрозолей	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
9	3	Исследование процессов ионизации воздуха и электризации аэрозолей	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
10	4	Измерение аэрозольной оптической толщины по актинометрическим данным	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
11	4	Измерение аэрозольной оптической толщины по спутниковым данным	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
12	5	Измерение содержания аэрозолей датчиками PM1.0, PM2.5 и PM10	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3
13	5	Измерение аэрозольных параметров лидарным методом	Практическая работа	ОПК-6, ПК-1, ПК-3

### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

#### 5.1. Текущий контроль

Текущий контроль проводится с учетом результатов тестирования и выполненных студентом практических работ.

#### а) Образцы тестовых и контрольных заданий текущего контроля

1. Какие из указанных параметров полностью описывают свойства монодисперсного аэрозоля?

- а) радиус аэрозолей
- б) концентрация аэрозолей
- в) радиус и концентрация аэрозолей

г) радиус и масса аэрозолей  
(Правильный ответ – в)

2. Какое распределение частиц по размерам НЕ используется для описания ансамбля аэрозолей?

- а) распределение Юнге
  - б) распределение Хргиана-Мазина
  - в) модифицированное гамма-распределение
  - г) логарифмически-нормальное распределение
- (Правильный ответ – б)

3. В каком диапазоне размеров частиц распределение Юнге приближенно описывает спектр аэрозолей?

- а) от 0.1 до 1.0 мкм
  - б) от 0.5 до 10 мкм
  - в) от 1 до 10 мкм
  - г) от 10 до 100 мкм
- (Правильный ответ – а)

4. Укажите типичное модальное значение распределения аэрозолей по размерам

- а) 1 нм
  - б) 35 нм
  - в) 0.1 мкм
  - г) 5 мкм
- (Правильный ответ – б)

5. Каким параметром является концентрация частиц аэрозоля?

- а) дифференциальным
  - б) интегральным
  - в) вероятностным
  - г) стохастическим
- (Правильный ответ – б)

#### **б) Примерная тематика рефератов, эссе, докладов**

Выполнение рефератов и докладов по данной дисциплине не предусмотрено.

#### **в) Примерные темы курсовых работ, критерии оценивания**

Выполнение курсовых работ по данной дисциплине не предусмотрено учебным планом.

### **5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы**

В течение семестра студент обязан самостоятельно прорабатывать материал лекций непосредственно перед лекционными занятиями, для чего рекомендуется использовать размещенные в сети Интернет конспекты лекций и вопросы для самопроверки.

### **5.3. Промежуточный контроль:** по результатам 5 семестра – экзамен.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них результаты выполнения практических работ оцениваются максимально в 65 баллов, текущего тестирования - 25 баллов, итоговая форма контроля - 10 баллов.

85 баллов и более - "отлично" (отл.);  
75-84 баллов - "хорошо" (хор.);  
65-74 баллов - "удовлетворительно" (удов.);  
64 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

### Перечень вопросов к экзамену

1. Основные параметры атмосферных аэрозолей.
2. Распределение аэрозолей по размерам.
3. Механизмы образования аэрозолей над сушей.
4. Механизмы образования аэрозолей над океаном.
5. Механизмы удаления аэрозолей из атмосферы.
6. Установившаяся скорость падения частиц аэрозоля в атмосфере.
7. Условия активизации аэрозолей в качестве ядер конденсации.
8. Диффузионный рост капель в облаках. Уравнение Максвелла.
9. Диффузионный рост капель в облаках. Поправки к уравнению Максвелла.
10. Коагуляционный рост капель в облаках.
11. Гетерогенная кристаллизация переохлажденных капель.
12. Модель образования плоских ледяных ядер на аэрозолях, погруженных в каплю.
13. Вероятность кристаллизации переохлажденных капель: зависимость от площади и кристаллизующих свойств аэрозолей.
14. Механизмы электризации аэрозолей.
15. Предельный заряд аэрозолей.
16. Влияние аэрозолей на содержание атмосферных ионов. Уравнение баланса ионов.
17. Источники ионизации атмосферы. Гидратированные атмосферные ионы.
18. Зависимость свободной энергии Гиббса от радиуса гидратированных ионов.
19. Уравнение равновесного радиуса гидратированных ионов.
20. Генерация электричества облаками.
21. Глобальная электрическая токовая цепь.
22. Условия возникновения и типы молниевых разрядов.
23. Рассеяние и поглощение света сферическими частицами.
24. Актинометрические измерения аэрозольной оптической толщины.
25. Спутниковые измерения аэрозольной оптической толщины.
26. Фильтры для измерения содержания аэрозолей.
27. Импакторы аэрозольных частиц.
28. Оптические счетчики частиц.
29. Нефелометрические приборы.
30. Лидарные измерения параметров аэрозолей.

### Образец экзаменационного билета

---

Экзаменационный билет № 1  
Российский Государственный Гидрометеорологический Университет  
Кафедра Экспериментальной физики атмосферы  
Курс Экспериментальная физика аэрозолей

1. Основные параметры атмосферных аэрозолей.
2. Влияние аэрозолей на содержание атмосферных ионов. Уравнение баланса ионов.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ А.Д. Кузнецов

---

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Математическое моделирование облачных процессов: Учебное пособие / Э.Л. Поташник, А.Д. Кузнецов. – СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – 442 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Пиловец Г.И. Метеорология и климатология: Учебное пособие. – М.: НИЦ Инфа-М, 2013. – 399 с.

2. Загайнов В.А. Аэрозоли вокруг нас // Химия и жизнь. – 2003. – №7-8. – С.48-50.

3. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы): Учебное пособие / А.Г.Ветошкин, К.Р.Таранцева, А.Г.Ветошкин. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 362 с.

4. Метеорологические и геофизические исследования [Электронный ресурс] / гл. ред. Г.В. Алексеев. – М.: Paulsen, 2011. – 352 с.

5. Пискунов В.Н. Динамика аэрозолей. – СПб.: Книга по требованию, 2011. – 291 с.

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

Сайт дисциплины «Экспериментальная физика атмосферы»: <http://aerosol.meteolab.ru>

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
<b>Лекции</b> (темы №1-5)	Чтение конспекта лекций на сайте дисциплины с использованием сети Интернет и подготовка ответов на контрольные вопросы. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции, на консультации, или с использованием удаленного доступа через сеть Интернет.
<b>Практические занятия</b> (темы №1-5)	Работа с описанием практических работ с основного сайта дисциплины с использованием сети Интернет. Работа с конспектом лекций, просмотр рекомендуемой литературы и работа с текстом.
<b>Лабораторные работы</b> (темы №1-5)	Работа с описанием лабораторных работ с основного сайта дисциплины с использованием сети Интернет. Работа с конспектом лекций, просмотр рекомендуемой литературы и работа с текстом.
<b>Подготовка к экзамену</b>	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к экзамену и т.д.

## 8. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Тема (раздел) дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
Темы 1-5	Интерактивное взаимодействие педагога и студента Сочетание индивидуального и коллективного обучения Использование компьютеризированных аудиторий с проекторами для демонстрации лекций в режиме онлайн. Студенты имеют возможность одновременно читать лекцию с помощью персональных средств доступа в сеть Интернет.	1. Конспекты лекций размещены на сайте: <a href="http://aerosol.meteolab.ru">http://aerosol.meteolab.ru</a> 2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн <a href="http://elib.rshu.ru">http://elib.rshu.ru</a> 3. Электронно-библиотечная система Знаниум <a href="http://znanium.com">http://znanium.com</a>
Темы 1-5	Интерактивное взаимодействие педагога и студента Сочетание индивидуального и коллективного обучения Использование персональных компьютеров и сети Интернет для выполнения практических работ по численному моделированию параметров аэрозолей.	Практические работы размещены на сайте: <a href="http://aerosol.meteolab.ru">http://aerosol.meteolab.ru</a> Основное программное обеспечение: - Oracle VirtualBox; - операционная система Ubuntu; - интерпретатор Python.

Тема 1-5	Интерактивное взаимодействие педагога и студента Сочетание индивидуального и коллективного обучения Использование персональных компьютеров и сети Интернет для выполнения лабораторных работ по исследованию параметров аэрозолей.	Лабораторные работы размещены на сайте: <a href="http://aerosol.meteolab.ru">http://aerosol.meteolab.ru</a> Основное программное обеспечение: - Oracle VirtualBox; - операционная система Lubuntu; - интерпретатор Python.
----------	--	--

### 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. **Учебная аудитории для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядными пособиями, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).
2. **Учебная аудитории для проведения занятий семинарского типа** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации
3. **Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
4. **Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
5. **Помещение для самостоятельной работы** – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации.
6. **Учебная лаборатория**, оснащенная экспериментальными установками, для проведения работ по физике аэрозолей.