

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького»

ИОНЦ «Экология и природопользование»

Физический факультет

Кафедра общей и молекулярной физики

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Физика атмосферных аэрозолей

Методические указания к изучению дисциплины

Екатеринбург

2008

Береснев С.А., Грязин В.И.

Физика атмосферных аэрозолей: Курс лекций. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008.

Курс лекций «Физика атмосферных аэрозолей» является введением в междисциплинарную область знаний для студентов естественных факультетов, специализирующихся в области физики атмосферы. Целью курса является изложение фундаментальных закономерностей и современных представлений о процессах образования, эволюции и распада природных и антропогенных аэродисперсных систем.

Курс предназначен для студентов и магистрантов, обучающихся по направлениям «физика», «химия» и «экология» при углубленном изучении физики и химии атмосферных процессов. Может быть полезен аспирантам соответствующих специальностей, научным работникам и преподавателям.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИКА АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ»

Составитель: доц., к.ф.-м.н. Береснев С.А.

1. Описание комплекта учебно-методических материалов и средств курса

Цель специальной дисциплины «Физика атмосферных аэрозолей» – изложение фундаментальных знаний и современных представлений в области образования, эволюции и распада природных и антропогенных аэродисперсных систем. Междисциплинарность курса должна отразить взаимосвязь и необходимость использования физических, химических и экологических методов исследования при анализе сложной многокомпонентной динамической системы – атмосферного аэрозоля.

Задачами дисциплины являются:

- а) выделение общих характеристик и классифицирующих признаков для описания аэродисперсных систем, рассмотрение основных морфологических признаков аэрозолей и закономерностей распределения частиц по размерам;
- б) характеристика общих закономерностей двух основных способов образования аэрозолей – диспергационного и конденсационного;
- в) изложение фундаментальных основ процессов движения и эволюции аэродисперсных систем (элементы механики, электродинамики и оптики атмосферных аэрозолей);
- г) описание и раскрытие роли аэрозолей в атмосферных процессах и современных климатических изменениях.

Для усвоения спецкурса «Физика атмосферных аэрозолей» необходимо знание курса общей физики (разделы механика, молекулярная физика, термодинамика, электродинамика и оптика) и общей химии; желательным является знание основ кинетической теории газов, гидрогазодинамики, термодинамики и статистической физики, физической и коллоидной химии. В свою очередь, спецкурс «Физика атмосферных аэрозолей» является базовым для студентов,

специализирующихся в области физики аэродисперсных систем и физики атмосферных процессов.

Требования к уровню освоения содержания курса (приобретаемые компетенции, знания, умения, навыки):

В ходе изучения курса студенты изучают и осваивают:

- основные понятия и термины физики аэродисперсных систем;
- основные закономерности образования аэрозольных частиц в диспергационном и конденсационном способах, основные закономерности процессов эволюции аэродисперсных систем;
- приобретают навыки постановки, решения и анализа базовых задач физики аэрозолей;
- усваивают и закрепляют взаимосвязи между физическими, химическими и экологическими методами исследования, применяемыми к анализу сложной многокомпонентной динамической системы – атмосферного аэрозоля.

Методическая новизна спецкурса состоит в рассмотрении разноплановых и разномасштабных физических процессов в атмосферном аэрозоле с единой точки зрения: комплексное описание «жизненного цикла» цикла динамической аэродисперсной системы (образование, эволюция и разрушение системы).

Структура курса «Физика атмосферных аэрозолей» представлена 16 лекциями (32 час.), двумя практическими занятиями (4 час.) и итоговым зачетом по проверке усвоенных знаний. Для методического обеспечения курса разработаны программа курса, настоящие методические указания по изучению дисциплины, учебное пособие (курс лекций) «Физика атмосферных аэрозолей», комплект вопросов для самоконтроля (160 вопросов), комплект экзаменационных вопросов для проведения зачета (100 вопросов, 50 билетов), презентация лекций в PowerPoint (311 слайдов).

2. Методические указания по лекционному сопровождению дисциплины

ЛЕКЦИЯ 1. Введение в физику атмосферных аэрозолей.

Цель: ознакомить с предметом и основными задачами курса.

В лекции дается описание предмета и основных задач курса, обсуждаются этапы развития науки об аэрозолях, описывается ее современный уровень и международная научная кооперация в данной области. Дается описание типов и классов атмосферных аэрозолей, обсуждаются способы их образования и поступления в атмосферу. Выполнен обзор рекомендуемой литературы по курсу, обсуждаются доступные русско- и англоязычные литературные источники, дается оценка их значимости и полезности как для курса в целом, так и при изучении его отдельных разделов.

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 19 слайдов.

ЛЕКЦИЯ 2. Общая характеристика и классификации аэродисперсных систем.

Цель: дать описание места аэрозолей среди дисперсных систем с точки зрения коллоидной химии и статистической механики.

Основной методический прием лекции – введение системы классифицирующих признаков для аэродисперсных систем, обсуждение ее незамкнутости. Детально разбираются и комментируются возможные классифицирующие признаки, делается вывод о невозможности кратких замкнутых определений данной физической системы. Рекомендуется достаточно подробно и вдумчиво ознакомиться с данной лекцией, так как правильная классификация свойств объекта исследования – половина успеха при дальнейшей работе.

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 13 слайдов.

ЛЕКЦИЯ 3. Морфологические свойства аэрозолей.

Цель: познакомить с многообразием морфологических свойств аэрозолей, описать специфические особенности и свойства атмосферных аэрозолей.

Обсуждаются форма и структура первичных и вторичных аэрозольных частиц. Описываются необычные свойства вторичных частиц как объемных фрактальных кластеров. Показано, что в случае фрактало-подобных вторичных аэрозольных частиц их свойства невозможно свести к свойствам компактных частиц с каким-либо эквивалентным диаметром. Подробно обсуждается специфика морфологических свойств атмосферных аэрозолей, анализируется их дисперсный состав с точки зрения общих классификационных схем для аэрозолей. Обсуждается классификация Уитби для атмосферных аэрозолей и ее взаимосвязь с общими классификационными схемами для размеров аэрозольных частиц. Анализируется широкий класс поверхностных свойств аэрозольных частиц и их значимость по сравнению с объемными свойствами.

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 27 слайдов.

ЛЕКЦИЯ 4. Закономерности распределения частиц по размерам.

Цель: познакомить студентов с очень важным разделом физики аэрозолей – с закономерностями распределений частиц по размерам (своеобразная метрология аэродисперсных систем).

Обсуждается так называемый «жизненный цикл аэрозолей», дается общая характеристика процессов образования, эволюции и трансформации, разрушения аэродисперсных систем. Обращается внимание на то, что аэрозоли – это в общем случае нестабильная динамическая система. Обсуждается понятие функции распределения частиц по размерам, даются общие представления о математическом формализме данной методики. Обсуждаются наиболее важные и характерные статистические параметры функций распределения частиц по размерам. Главный вопрос лекции – анализ

теоретически обоснованных функций распределения, основное внимание уделено логарифмически-нормальному закону распределения, широко применяемому на практике. В конце лекции обсуждаются полуэмпирические и чисто эмпирические функции распределения частиц по размерам.

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 25 слайдов.

ЛЕКЦИИ 5-6. Образование аэрозолей: диспергирование жидкостей и твердых тел.

Цель двух объединенных лекций (посвященных одной теме и содержащих объемный однородный материал): познакомить с одним из двух возможных способов образования аэрозолей – диспергационным способом.

В лекциях обсуждаются общие закономерности диспергационного (способ «от большого к малому») и конденсационного (от «малого к большому») способов образования аэрозолей, их коренные отличия и специфические особенности. Основное внимание уделено диспергированию жидкостей и твердых тел. Обсуждаются физические закономерности, приводящие к распаду жидкости на капли, стадии и формы такого распада. Анализируются возможные способы диспергации жидкости, применяемые на практике. Представлено описание ряда классических устройств (генераторов аэрозолей), использующих распыление жидкостей. Обсуждается механизм образования морских (океанических) атмосферных аэрозолей. Далее представлено описание особенностей диспергации твердых тел. Описан механизм образования почвенного (континентального) аэрозоля, в основе которого лежит процесс сальтации частиц – их отрыва и прыжкового поднятия частиц на достаточно большие высоты от поверхности почвы.

В конце лекций приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекциям имеются презентации в формате PowerPoint – 23 и 13 слайдов соответственно.

ЛЕКЦИИ 7-8. Образование аэрозолей: гомогенная и гетерогенная конденсации пара.

Цель двух объединенных лекций (посвященных одной теме и содержащих объемный, но однородный материал): познакомить студентов со вторым возможным способом образования аэрозолей – конденсационным способом.

В лекциях обсуждаются вопросы и детали второго способа образования аэрозолей – конденсационного. Анализируются необходимые физические условия для реализации данного процесса. Представлены результаты классической термодинамической теории Гиббса для проблемы о спонтанной конденсации в пересыщенном паре. Детально обсуждаются основные положения, история создания и основные результаты классической феноменологической теории спонтанной конденсации в пересыщенном паре. Представлено описание современного состояния вопроса. Обсуждается роль и место классической феноменологической теории с точки зрения современных представлений. Анализируются особенности способа гетерогенной конденсации пара на уже имеющихся центрах (ядрах) конденсации, обсуждается их связь с возникновением капельно-водного атмосферного аэрозоля.

В конце лекций приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекциям имеются презентации в формате PowerPoint – 20 и 13 слайдов соответственно.

ЛЕКЦИИ 9-10. Элементы механики аэрозолей.

Цель двух объединенных лекций (посвященных одной теме и содержащих объемный материал): познакомить студентов с основами важнейшего раздела физики аэрозолей – механикой аэрозолей.

В лекции обсуждаются предмет и задачи механики аэрозолей, даются общие сведения о методике реализации разработанной физико-математической модели процесса, о возможных способах построения феноменологических моделей аэродисперсных систем. Детально обсуждается приближение

одиночной частицы в бесконечном объеме газа, являющееся одной из самых конструктивных моделей в механике аэрозолей. Обсуждается смысл и значение основных безразмерных критериев подобия для описания аэродисперсных систем. Подробно анализируется вопрос о прямолинейном равномерном движении частиц аэрозоля на основе задачи Стокса. Проведено описание особенностей неравномерного движения частиц аэрозоля, обсуждается принципиальный вывод Н.А. Фукса о квазистационарном характере движения аэрозольных частиц. Рассмотрены режимы движения сферической частицы в зависимости от числа Рейнольдса. Обсуждается вопрос о силах, действующих на частицы в неоднородных газах. Приводится детальное описание явления термофореза аэрозолей.

В конце лекций приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекциям имеются презентации в формате PowerPoint – 26 и 17 слайдов соответственно.

ЛЕКЦИЯ 11. Испарение и конденсационный рост капель.

Цель: познакомить с основными закономерностями и результатами в важном разделе физики аэрозолей, соответствующем этапу эволюции аэродисперсных систем.

Дается общая характеристика проблемы конденсационного роста и испарения капель. Приведена классическая теория Максвелла для диффузионного режима испарения одиночной капли. Обсуждается уравнение Ленгмюра для времени испарения капли. Анализируются результаты Герца и Кнудсена для кинетического режима испарения капель. Представлено описание современного состояния вопроса. Обсуждаются прикладные аспекты проблемы.

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 21 слайд.

ЛЕКЦИЯ 12. Броуновское движение и диффузия частиц.

Цель: дать компактное описание классического раздела физики аэрозолей, познакомить с основными закономерностями данных процессов.

Анализируются причины и характер броуновского движения аэрозольных частиц, обсуждаются законы, описывающие броуновскую диффузию частиц. Дано описание результатов теории броуновского движения Эйнштейна. Обсуждается вопрос о возможной ситуации диффузионно–седиментационного равновесия и «барометрического» распределения частиц по высоте вблизи поверхности осаждения. Анализируется вопрос о влиянии массы частицы на коэффициент броуновской диффузии. Вводится понятие кажущегося среднего свободного пробега аэрозольной частицы.

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 23 слайда.

ЛЕКЦИЯ 13. Коагуляция аэрозолей.

Цель: познакомить с разнообразными процессами укрупнения (агрегации) аэрозольных частиц в процессе их эволюции – с процессами коагуляции частиц.

В начале лекции обсуждаются вопросы классификации возможных типов коагуляции, подчеркивается многообразие возможных процессов. Детально обсуждается броуновская (или тепловая) коагуляция аэрозольных частиц. Приведены результаты классической теории Смолуховского для монодисперсного и полидисперсного аэрозоля.

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 18 слайдов.

ЛЕКЦИЯ 14. Электрические свойства аэрозолей.

Цель: познакомить с закономерностями, присущими аэрозолям, имеющим электрический заряд на поверхности. Дать основные сведения о механизмах зарядки части.

В начале лекции дается введение об электрических свойствах аэрозолей, анализируется важность этого признака для процессов движения частиц. Обсуждаются механизмы зарядки аэрозольных частиц: диффузионная зарядка (в отсутствие внешнего поля) и зарядка частиц во внешнем электрическом поле. Обсуждаются механизмы, ограничивающие накопление заряда на поверхности частиц. анализируется вопрос о равновесном распределении зарядов для частиц атмосферного аэрозоля.

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 20 слайдов.

ЛЕКЦИЯ 15. Оптические свойства аэрозолей.

Цель: дать краткое введение в оптику аэродисперсных систем.

Во введении обсуждаются вопросы о важности и значимости изучения оптических свойств аэрозольных систем. Достаточно подробно (но компактно) описаны результаты теории взаимодействия электромагнитного излучения с одиночной частицей – теория Ми. Обсуждаются пределы применимости данной классической электродинамической теории. Обсуждаются и анализируются основные оптические характеристики аэрозолей.

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 19 слайдов.

ЛЕКЦИЯ 16. Роль аэрозолей в современных климатических изменениях.

Цель: представить краткое, но связное введение в проблему.

В лекции детально обсуждается модель аэрозольно-газовой атмосферы, дается описание строения земной атмосферы и ее современного химического состава. Дается определение радиационного возмущающего воздействия вообще и аэрозольного радиационного возмущающего воздействия в частности. Обсуждается вопрос о климатообразующих свойствах атмосферного аэрозоля. Подробно анализируются глобальные геоинженерные проекты стабилизации современного климата с участием аэрозолей (проект «аэрозольных щитов»).

В конце лекции приведены вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы по изучаемой теме. По лекции имеется презентация в формате PowerPoint – 14 слайдов.