

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

Вопросы для самоконтроля

Екатеринбург

2008

Лекция 1. Введение в физику атмосферных аэрозолей

1. Что является объектом исследования в физике атмосферных аэрозолей? Почему данный раздел физики аэрозолей можно выделить в самостоятельное научное направление?
2. Какие прикладные задачи и когда инициировали возникновение физики аэрозолей как самостоятельной науки?
3. Как следует понимать комментарий Петрянова-Соколова и Сутугина (1989) о физике аэрозолей как «нелюбимой падчерице физики или, может быть, физической химии»? В какой период времени и почему возникла подобная ситуация?
4. Какие оборонные приложения и направления может иметь прикладная физика аэрозолей?
5. По какой причине земная атмосфера не может рассматриваться как чисто газовая система? Насколько принципиальным является вопрос о включении в ее состав атмосферных аэрозолей?
6. По какой причине облачные частицы (капли воды и ледяные кристаллы) и частицы различных типов атмосферного аэрозоля трактуются в физике аэрозолей как различные физические подсистемы? Существует ли принципиальное физико-химическое различие между ними?
7. Физика аэрозолей является междисциплинарной наукой. Какие основные блоки и из каких наук она включает в свой состав?
8. Какую важнейшую роль атмосферные ядра конденсации и кристаллизации играют в протекании атмосферных процессов?
9. Каково, на ваш взгляд, соотношение между массой газовых компонент и массой аэрозолей в земной атмосфере?
10. Почему на сегодняшний день так мало универсальных учебников по физике аэрозолей в целом и физике атмосферных аэрозолей в частности?

Лекция 2. Общая характеристика и классификации аэродисперсных систем

1. Чем принципиально не устраивают краткие определения аэрозолей как дисперсной системы, известные из литературы?
2. Какие цели преследуют известные классификации дисперсных систем в целом и аэрозолей в частности?
3. Как можно охарактеризовать аэрозоли с точки зрения классификации дисперсных систем, принятой в коллоидной химии?
4. Почему в данной классификации существует запрет на существование системы «газ – газ»? При каких физических условиях все же могут возникать предпосылки для возникновения такой дисперсной системы?
5. В чем принципиальные различия и сходство с точки зрения данной классификации между аэрозолями и пористыми телами?
6. Может ли дождь рассматриваться как аэродисперсная система? Если нет, то почему?
7. Какую цель преследует построение системы классифицирующих признаков для аэродисперсных систем? Является ли такая система замкнутой?
8. С какой целью вводится классифицирующий признак о соотношении внутренних структурных элементов дисперсионной и дисперсных фаз (Рудяк, 1995)? В чем его конструктивный смысл при теоретическом анализе аэродисперсных систем?
9. К какому типу аэрозолей (пыли, дымы или туманы) относится табачный дым? Какую эволюцию его частицы испытывают с течением времени? Почему дым от горящей сигареты выглядит голубоватым, а выдохнутый курильщиком – белесым?
10. Аэрозоли и аэрозвеси: для какой дисперсной системы легче формулировать физико-математические модели, описывающие их свойства? В чем различия между этими системами?

Лекция 3. Морфологические свойства аэрозолей

1. Почему для изучения свойств аэрозольных частиц конструктивно использовать модель объемного физического кластера (ОФК)? В чем проявляется принципиальная ограниченность стандартного подхода, основанного на идее эквивалентных диаметров вторичных частиц?
2. Как понимать термин «фрактальная размерность ОФК»? Какие значения она принимает для реальных вторичных аэрозолей?
3. В чем принципиальная разница в терминах «фрактало-подобные» и «фрактальные» частицы для характеристики соответствующих вторичных аэрозолей?
4. Каков физический смысл корреляционной функции для фрактальных частиц? Как оценить требуемые морфологические и теплофизические характеристики вторичных аэрозольных частиц при ее использовании?
5. Какие транспортные и теплофизические характеристики вторичных аэрозольных частиц определяют различные сценарии (модели) сборки ОФК?
6. По каким причинам плотность реальных атмосферных аэрозолей может быть существенно меньше плотности массивных образцов тех же веществ?
7. В чем различие в определениях аэродинамического и стоксовского диаметров частиц? Какой из диаметров чаще используется в аэрозольных измерениях и почему?
8. Попробуйте рационально обосновать границы диапазонов размеров в классификации аэрозольных частиц по степени дисперсности.
9. В каких координатах представлена функция распределения частиц по размерам в классификационной схеме Уитби (рис. 3.7)? В чем заключается необходимость именно такого представления данных?
10. В чем состоит методическое различие классификаций частиц атмосферного аэрозоля по степени дисперсности и по схеме Уитби?

Лекция 4. Закономерности распределения частиц по размерам

1. Распределения каких физико-химических характеристик атмосферных аэрозолей (помимо распределения по размерам) принципиально возможно рассматривать?
2. Почему до сих пор не существуют универсальные аэрозольные приборы, которые позволяли бы проводить дисперсный анализ для всего диапазона размеров аэрозольных частиц?
3. При введении функции распределения частиц по размерам нигде не фигурировал радиус-вектор r , определяющий положение точки (или элементарного объема) наблюдения. Как следует понимать и трактовать отсутствие в формулах этой необходимой характеристики?
4. Каковы размерности различных видов функций распределения? Как они согласуются с общепринятыми обозначениями (см., например, рис. 4.3)?
5. Как следует понимать термин «нормальное распределение для частиц монодисперсного аэрозоля»? Нет ли здесь определенных терминологических противоречий?
6. Что является физическим обоснованием для введения в практику распределения Юнге?
7. Для какого вида функций распределения логарифмически-нормальное распределение представимо в виде прямой линии в соответствующих координатах?
8. Каковы пределы применимости логарифмически-нормального распределения как с фундаментальной точки зрения, так и при практическом использовании?
9. По каким причинам чисто математическое Г-распределение так удачно аппроксимирует данные измерений для частиц конденсационного происхождения? Каково соотношение этого распределения и распределения Левина?
10. В чем заключается удобство и ограниченность полуэмпирических и чисто эмпирических функций распределения частиц по размерам?

Лекции 5–6. Образование аэрозолей: диспергирование жидкостей и твердых тел

1. Согласуется ли общепринятое утверждение о двух принципиально различных способах образования аэрозолей (конденсационном и диспергационном) с известными данными для атмосферного аэрозоля (в частности, с классификационной схемой Уитби)?
2. В чем заключается универсальность представлений о физических механизмах диспергации жидкости при различных формах ее проявления?
3. Каковы физические причины возникновения неустойчивой формы жидкости на первоначальной стадии развития процесса?
4. Какой физический механизм действует на заключительной стадии образования капельного аэрозоля при диспергации жидкости?
5. Какой из способов распыления жидкостей – пневматический или гидравлический – энергетически более выгоден и почему?
6. Какой физический механизм лежит в основе метода распыления жидкости ультразвуком? В каких еще методах распыления жидкости также проявляется данный механизм?
7. Что такое спрэй? Каково место данного типа аэрозоля в классификационных схемах (это новый тип аэрозоля или его можно отнести к уже известным)?
8. Какова роль пропеллента в диспергации жидкостей в аэрозольных баллончиках? Какие вещества и с какими теплофизическими характеристиками для этого используются?
9. Что означает повсеместно используемое предупреждение «Ozone friendly» на корпусе аэрозольного баллончика?
10. Каковы основные физические механизмы образования частиц морского (океанического) аэрозоля? Какова генетическая взаимосвязь данных частиц и атмосферных ядер конденсации?
11. К каким физическим следствиям приводит действие адгезионных сил при диспергации твердых тел?

12. В чем заключается необычность теплофизических характеристик частиц твердых ультрадисперсных аэрозолей (особенно металлов)?
13. В чем принципиальная разница терминов «пыль», «осадок пыли» и «порошок»? Как производится искусственное запыление воздуха?
14. Каковы механизмы и стадии развития процесса сальтации частиц почвенного аэрозоля?
15. Почему в «прыжках» частиц при сальтации они поднимаются все выше и выше от поверхности почвы? Откуда черпается энергия для развития подобного процесса?
16. Какую роль механизм сальтации частиц играет в процессе эрозии почвы? Как возможно предотвратить развитие данного негативного процесса?
17. Проанализируйте классификацию основных типов атмосферного аэрозоля и выделите те из них, которые образованы посредством диспергации жидкости или твердых тел.

Лекции 7–8. Образование аэрозолей: гомогенная и гетерогенная конденсация пара

1. В чем принципиальная разница образования аэрозолей диспергационным и конденсационным способами?
2. Какова функциональная зависимость давления насыщенного пара над плоской границей раздела фаз от температуры?
3. В чем принципиальная разница между термодинамическими уравнениями Кельвина и Клапейрона–Клаузиуса?
4. Какова область применимости термодинамического уравнения Кельвина? Какие его обобщения вам известны? Для чего необходимы такие обобщения?
5. Каковы основные результаты термодинамической теории Гиббса в задаче гомогенной конденсации? На какой принципиальный вопрос она не в состоянии дать ответ?
6. Используя формализм метода Гиббса, получите уравнение Кельвина.
7. Почему в методе Гиббса используется условие изотермичности процесса? К каким неточностям в описании процесса гомогенной конденсации может привести такой подход?
8. Что такое гомофазные и гетерофазные флуктуации плотности? Какую принципиальную возможность открывает использование концепции гетерофазных флуктуаций в теории гомогенной нуклеации?
9. Кто из исследователей внес существенный и принципиальный вклад в классическую феноменологическую теорию гомогенной нуклеации? Перечислите основные идеи и концепции авторов в этом вопросе.
10. Каковы основные результаты классической феноменологической теории гомогенной нуклеации? Почему она так называется?
11. Какие методы экспериментального исследования процесса гомогенной нуклеации вам известны?

12. Как в целом можно охарактеризовать достоинства и недостатки классической теории? Исчерпывает ли она все возможные варианты процесса гомогенной нуклеации?
13. Может ли процесс гомогенной нуклеации эффективно проявляться в реальных атмосферных условиях? Если нет, то почему?
14. Какова оценка величины относительной влажности воздуха, при которой в атмосфере может начаться процесс гетерогенной конденсации водяного пара?
15. Почему необходимое пересыщение пара при наличии у частицы растворимого ядра конденсации существенно меньше, чем для капли чистого вещества?
16. В каком агрегатном состоянии может находиться атмосферная вода, в том числе в облаках различных типов?
17. Что такое ядра кристаллизации? В чем их отличие от атмосферных ядер конденсации?
18. По какой физической причине ионы могут являться эффективными ядрами при гетерогенной конденсации пара?
19. Какие реальные физические объекты подразумеваются под легкими, средними и тяжелыми ионами в классификационной схеме ионов как ядер конденсации?
20. Проанализируйте классификацию основных типов атмосферного аэрозоля и выделите те из них, которые образованы тем или иным типом конденсационного способа.

Лекции 9–10. Элементы механики аэрозолей

1. Какие из этапов «жизненного цикла» аэрозолей целесообразно анализировать методами механики аэрозолей?
2. Какова возможная методология построения феноменологических моделей аэродисперсных систем?
3. В чем могут проявляться недостатки и опасности такого подхода?
4. Какие феноменологические модели дисперсионной среды используются в механике аэрозолей? В чем их сходство и коренное различие?
5. Какие феноменологические модели дисперсной среды наиболее часто используются в механике аэрозолей?
6. Какова, на ваш взгляд, общая процедура использования континуальной модели дисперсной среды в механике аэрозолей? Каково ее соответствие с соответствующей процедурой для модели одиночной частицы в бесконечном объеме газа?
7. Какую цель преследует введение модели «газодинамики со скольжением» в механике аэрозолей? Почему недостаточно модели на основе классической навье-стоксовской газодинамики?
8. Какую самостоятельную роль играют безразмерные критерии подобия в задачах механики аэрозолей?
9. В чем заключается сходство и различие числа Рейнольдса и числа Стокса в механике аэрозолей?
10. Являются ли независимыми три основных «газовых» критерия подобия: число Рейнольдса, число Маха и число Кнудсена?
11. Сформулируйте основные предположения и допущения для задачи Стокса.
12. Что характеризует время механической релаксации частицы в задачах механики аэрозолей?
13. Какой тип движений аэрозольных частиц Фукс (1955) предложил назвать квазистационарным?
14. Какой физический смысл подвижности частицы?

15. Как определяется коэффициент сопротивления тела в аэродинамике и механике аэрозолей?
16. Какие характерные особенности имеет коэффициент сопротивления в зависимости от числа Рейнольдса?
17. Чем обусловлен так называемый «кризис сопротивления» для данной зависимости?
18. Что такое радиометрические явления (эффекты) для аэрозолей?
19. Как возникает тепловое скольжение газа вдоль неоднородно нагретой поверхности частицы? В чем его необычность с термодинамической точки зрения?
20. Почему термофоретическая сила и скорость движения частицы направлены против градиента температуры в газе?

Лекция 11. Испарение и конденсационный рост капель

1. Приведите примеры атмосферных и технологических приложений для проблем испарения и конденсационного роста капель.
2. Как следует понимать термин «квазистационарный режим испарения»? Какие трудности в описании проблемы снимает использование данного приближения?
3. Какие термодинамические условия необходимы для реализации процессов испарения и конденсационного роста капель?
4. Почему капля жидкости может испаряться даже в среде собственного насыщенного пара?
5. Учитывается ли в теории Максвелла структурность (молекулярность) газовой среды? Если учитывается, то на каком уровне описания?
5. Что является движущей силой процессов испарения/конденсации согласно формулам Максвелла и Герца–Кнудсена?
6. Как вы понимаете термины «диффузионный» и «кинетический» режимы испарения? Какие еще режимы процессов также принципиально возможны?
7. Пусть капля испарилась от некоторого начального радиуса R_p до ситуации $R_p=0$ (превратилась в молекулярный кластер, который затем распался). Используя формулу Ленгмюра, оцените время такого процесса.
8. Какой физический смысл имеет коэффициент испарения α_m ?
9. Почему в диффузионном режиме скорость испарения пропорциональна R_p , а в кинетическом режиме $\sim R_p^2$?
10. Как вы понимаете сущность метода «граничной сферы» в теории Фукса? Что данный метод уточняет в теории Максвелла?

Лекция 12. Броуновская движение и диффузия частиц

1. Какие процессы в механике аэрозолей принято называть диффузионными? Участвуют ли в процессе диффузии частиц внешние силы?
2. Что является первопричиной броуновского движения аэрозольных частиц?
3. Каков смысл коэффициента броуновской диффузии частиц в феноменологических законах Фика? Какой подход необходим для расшифровки его структуры?
4. Почему среднее смещение частиц при броуновской диффузии равно нулю?
5. Почему при трехмерном движении среднеквадратичное смещение частиц меньше, чем при одномерном?
6. Что такое подвижность частиц? Через какие характеристики она выражается в механике аэрозолей?
7. Каковы характерные порядки коэффициентов броуновской диффузии частиц и коэффициентов молекулярной диффузии?
8. В каких проблемах механики аэрозолей обязательно необходим учет броуновской диффузии частиц?
9. Какая средняя энергия приходится на возбуждение поступательного или вращательного броуновского движения аэрозольных частиц?
10. От каких характеристик дисперсионной и дисперсной фазы аэрозолей зависит коэффициент броуновской диффузии?
11. К каким выводам при анализе процессов осаждения аэрозолей приводит анализ условий диффузионно-седиментационного равновесия частиц?
12. Как можно объяснить тот факт, что коэффициент броуновской диффузии очень слабо зависит от массы аэрозольной частицы?
13. Что такое кажущийся средний свободный пробег аэрозольных частиц? В чем сходство и разница этой характеристики по сравнению со средней длиной свободного пробега молекул газа?

Лекция 13. Коагуляция частиц

1. В чем различие процессов броуновской и вынужденной коагуляции аэрозольных частиц?
2. Каковы основные предположения теории Смолуховского для кинетики броуновской коагуляции?
3. Как вводится понятие «поглощающей сферы» в теории Смолуховского? Каков ее радиус по сравнению с размером реальной частицы?
4. На каком этапе процесса коагуляции монодисперсного аэрозоля теория Смолуховского обладает максимальной погрешностью?
5. Как зависит от времени числовая концентрация частиц при броуновской коагуляции?
6. В чем смысл поправки Фукса для теории броуновской коагуляции по Смолуховскому?
7. Как зависит темп изменения концентрации монодисперсных частиц во времени от начальной концентрации частиц?
8. По какому закону изменяется радиус капель при броуновской коалесценции?
9. Какую информацию о свойствах аэрозоля необходимо иметь для оценки константы коагуляции полидисперсного аэрозоля?
10. Как зависит константа коагуляции полидисперсного аэрозоля от отношения радиусов частиц? Почему константа коагуляции для частиц близких размеров минимальна?

Лекция 14. Электрические свойства аэрозолей

1. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные механизмы униполярной зарядки аэрозольных частиц.
2. Какие из механизмов зарядки являются наиболее значимыми? Какой критерий можно использовать для данной оценки?
3. Почему наличие в пламени мелких частиц вещества значительно увеличивает концентрацию свободных электрических зарядов?
4. Почему возникает двойной электрический слой вблизи поверхности жидкости? Какую роль он играет в зарядке частиц, образующихся при диспергации жидкости?
5. Почему в теории Уайта для диффузионной зарядки формально отсутствует предел насыщения частицы зарядом? Устраняет ли это свойство более совершенная теория Фукса – Брикарда?
6. Какой физический механизм в реальности ограничивает накопление заряда на частице при ее диффузионной зарядке?
7. Почему при зарядке в электрическом поле возникает предельный заряд частиц? Каков физический механизм этого явления?
8. Каков физический механизм ограничения предельного заряда на поверхности жидкой капли по теории Рэлея?
9. Что является источником возникновения равновесного электрического заряда атмосферных аэрозолей?
10. Что представляют собой физически носители отрицательного и положительного заряда аэрозольных частиц?

Лекция 15. Оптические свойства аэрозолей

1. Что понимается под термином «задача Ми» в оптике аэрозолей?
2. Что является аргументом, а что параметрами в математическом формализме задачи Ми?
3. Что определяют дисперсионные соотношения Крамерса– Кронига?
4. Какая физическая микроскопическая модель лежит в основе теории Ми? Что с этой точки зрения означает суммирование все больших слагаемых в рядах Ми?
5. Как понимать термины «рэлеевское рассеяние» и «рассеяние Ми»? Какому случаю соответствует рассеяние излучения на реальных аэрозольных частицах?
6. Каков физический смысл величин факторов рассеяния, поглощения и ослабления излучения?
7. Каков физический смысл величины альбедо однократного рассеяния для аэрозолей?
8. Что такое объемный коэффициент поглощения излучения? Какова его размерность?
9. Какой процесс характеризует закон Бугера–Ламберта–Бэра? Каков характер этого закона?
10. Каковы основные ограничения теории Ми?

Лекция 16. Роль аэрозолей в современных климатических изменениях

1. Попробуйте оценить соотношение масс атмосферного аэрозоля и атмосферных газов.
2. Каков характер термодинамической устойчивости воздушных масс в тропосфере и стратосфере?
3. Какую температуру в действительности покажет стандартный термометр в термосфере?
4. Какой из атмосферных компонентов является основным радиационно-активным газом?
5. Какими основными причинами обусловлено понижение температуры с высотой в тропосфере и возрастание в стратосфере?
6. Какие атмосферные компоненты являются основными антропогенными парниковыми газами? Каковы источники их поступления в атмосферу?
7. В чем основное отличие климатологических характеристик атмосферных аэрозолей и радиационно-активных газов?
8. К каким последствиям приводит накопление в атмосфере сульфатных (серосодержащих) и сажевых (углеродистых) аэрозолей?
9. Что означает термин «аэрозольное радиационное возмущающее воздействие»?
10. На каких различных принципах основаны геоинженерные идеи распыления в стратосфере мелкодисперсного сульфатного и сажевого аэрозоля?