**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего образования**

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Наименование дисциплины:

**Кинетика низкотемпературной плазмы**

Уровень высшего образования:

**Специалитет**

Специальность:

**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

**Физическая электроника**

Форма обучения:

Очная

Москва 20\_\_

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 21.12.2018 г. № 1780.

Год (годы) приема на обучение \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. Д.ф.-м.н., доцент, Двинин Сергей Александрович, кафедра физической электроники физического факультета МГУ
2. Инженер Корнев Константин Николаевич, кафедра физической электроники физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Доктор физико-математических наук, профессор Черныш Владимир Савельевич, заведующий кафедрой физической электроники

**Аннотация к рабочей программе дисциплины**

В курсе лекций кратко рассматриваются основные понятия, связанные с плазмой, и приводятся кинетические модели, используемые при описании состояния реальной неравновесной плазмы. Приводится детальное описание эффектов взаимодействия ионизованного газа с внешним полем, анализируется динамика передача энергии от электрического поля заряженным частицам плазмы и формирования функции распределения электронов по энергиям. Рассматриваются различные режимы поддержания стационарных состояний неравновесных разрядов. На основе анализа системы кинетических уравнений баланса для заселенностей возбужденных состояний при учете всевозможных элементарных процессов, приводящих к заселению и расселению рассматриваемых уровней, решается задача о распределении частиц по состояниям возбуждения. Кратко рассматриваются процессы переноса возбуждения в плазме и некоторые особенности разрядов в смесях газов. Анализируется влияние продольного магнитного поля на пространственное перераспределение нейтральных, возбужденных и заряженных частиц. Особое внимание уделяется анализу кинетики молекулярной плазмы. Даются основные сведения о протекании релаксационных процессов в газоразрядной плазме молекулярных газов. Анализируется процесс установления равновесия по всевозможным степеням свободы молекулярного газа. Функция распределения электронов по энергиям в плазме молекулярного азота. Рассматривается кинетика нагрева молекулярного газа при больших значениях приведенного электрического поля. Определена роль неравновесности возбужденных частиц в плазмохимии. Изучается кинетика воспламенения воздушно-углеводородных смесей в условиях низкотемпературной неравновесной газоразрядной плазмы, существующей при высоких значениях приведенного электрического поля. Рассмотрены различные механизмы, приводящие к воспламенению углеводородного топлива. Описывается математическое моделирование изучаемого явления.

Объем дисциплины составляет 72 часов (2 з.е.), в том числе 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу учащихся.

**1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Вариативная часть, по выбору

**2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия**

Не установлены

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Код и наименование компетенции** | **Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций** |
|  |  | Знать физические основы кинетики низкотемпературной газоразрядной плазмы;  знать основные законы формирования неравновесных плазменных систем, основные кинетические модели плазмы и принципы их построения;  Владеть методами математического моделирования процессов перераспределения энергии между различными степенями свободы молекулярной плазмы;  Уметь применять полученные знания для описания газоразрядной плазмы, используемой для различных практических применений. |

**4.** Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

**5.**Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),**  **Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего**  **(ак.ч.)** | **В том числе** | | | | | | **Форма текущего контроля успеваемости, наименование** |
| **Контактная работа  (работа во взаимодействии с преподавателем)**  ***Виды контактной работы, академические часы[[1]](#footnote-1)*** | | | | | **Самостоятельная работа обучающегося,**  **академические часы** |
| **Занятия лекционного типа (лекции)** | **Занятия семинарского типа** | | | **Всего** |
| **Семинары** | **Лабораторные занятия\*** | **Практические занятия\*** |
| Введение. Понятие плазмы. Степени свободы. Равновесная плазма. ЛТР. Принцип детального равновесия. Неравновесная плазма. Корональная модель плазмы. Критерии возникновения неравновесных состояний. Критерии нестационарности. Квазистационарность. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, |
| Заряженные частицы в неравновесной плазме. Передача энергии электрического поля заряженным частицам плазмы. Нарастание энергии электронов в переменном поле. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Функция распределения электронов по энергиям. Баланс энергии электронов. Максвелловское и дрюйвестейновское распределение электронов по энергиям. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Проверка домашних заданий, Контрольная работа |
| Сильно- и слабоионизованная плазма. Убегающие электроны. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Процессы ионизации и исчезновения заряженных частиц в неравновесной плазме. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Возбужденные атомы в плазме. Кинетика заселения возбужденных состояний. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Метастабильные атомы. Коэффициент диффузии. Температурная зависимость коэффициента диффузии метастабильных атомов в собственном газе и в бинарной смеси. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Кинетика концентрации долгоживущих атомов в стадии деионизации плазмы. Влияние метастабильных атомов на повторный пробой газа. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Радиационный перенос возбуждения. Уравнение радиационного переноса возбуждения. Эффективное время жизни. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Проверка домашних заданий, Контрольная работа |
| Неравновесная плазма в бинарных смесях. Эффекты, приводящие к пространственному перераспределению компонентов бинарной смеси. Влияние продольного магнитного поля на пространственное перераспределение нейтральных, возбужденных и заряженных частиц. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Кинетика молекулярной плазмы. Баланс энергии электронов. Распределение энергии электронов по различным степеням свободы. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Проверка домашних заданий, Контрольная работа |
| Поступательная, вращательная и колебательная релаксации. Вращательно-поступательная (RT) релаксация. Релаксация электронно-возбужденных атомов и молекул. Особенности колебательной релаксации. Колебательно-поступательная (VT) релаксация. Резонансный VV-обмен. VV-обмен ангармонических осцилляторов. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Распределение молекул по колебательным уровням. Квазиравновесие. Стационарное распределение в случае слабого и сильного возбуждения. Неравновесность возбужденных частиц и их химических превращениях в плазме. О закалке продуктов плазмохимических реакций. Идеальная и сверхидеальная закалки. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Перераспределение энергии между различными компонентами и степенями свободы молекулярного газа. Механизмы и каналы. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Нестационарная кинетическая модель неравновесной плазмы разряда в сухом воздухе. Кинетика заряженных и возбужденных частиц. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Проверка домашних заданий, Контрольная работа |
| Функция распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ). Влияние колебательного возбуждения на вид ФРЭЭ. Кинетика нагрева молекулярного газа при больших значениях приведенного электрического поля. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Разряды в воздушно-углеводородных смесях. Воспламенение газообразного и жидкого углеводородного топлива в условиях газоразрядной плазмы. Механизмы воспламенения. Автовоспламенение. Плазменно-стимулированное воспламенение. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Кинетика воспламенения воздушно-углеводородных смесей в условиях низкотемпературной неравновесной газоразрядной плазмы, существующей при высоких значениях приведенного электрического поля. Математическое моделирование. | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| **Промежуточная аттестация – зачет** |  | | | | | | **8[[2]](#footnote-2)** |  |
| **Итого** | **72** | **36** | | | | | **36** |  |

\*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

**6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Перечень вопросов:

* 1. Кинетика молекулярной плазмы. Баланс энергии электронов. Распределение энергии электронов по различным степеням свободы.
  2. Функция распределения электронов по энергиям. Влияние колебательного возбуждения на вид ФРЭЭ.
  3. Кинетика нагрева молекулярного газа при больших значениях приведенного электрического поля.
  4. Нестационарная кинетическая модель неравновесной плазмы разряда в сухом воздухе.
  5. Прилипательный режим поддержания стационарного состояния неравновесного разряда в воздухе.
  6. Методы получения и измерения концентраций метастабильных и резонансных атомов инертных газов.
  7. Больцмановское и Триноровское распределения молекул по колебательным уровням основного состояния молекулы азота.
  8. Методы управления пространственным разделением бинарных смесей.
  9. Методы получения и измерения концентраций метастабильных и резонансных атомов инертных газов
  10. Возбуждение колебательных состояний молекул электронным ударом
  11. Коэффициент амбиполярной диффузии для изотермической и неизотермической плазмы.
  12. Радиационный перенос возбуждения.
  13. Распределение энергии электронов по различным степеням свободы молекулярного газа.
  14. Больцмановское и триноровское распределение молекул по колебательным уровням.
  15. Свободная и амбиполярная диффузии.
  16. Электрон-ионная рекомбинация.
  17. Ион-ионная рекомбинация.
  18. Нарастание энергии электронов в постоянном и переменном электрических полях.
  19. Автовоспламенение. Плазменно-стимулированное воспламенение газообразного и жидкого углеводородного топлива. Механизмы воспламенения.
  20. Неравновесная плазма в бинарных смесях. Эффекты, приводящие к пространственному перераспределению компонентов бинарной смеси.
  21. Убегающие электроны.

Примеры задач:

1. Найти коэффициенты свободной диффузии электронов и ионов в направлении, перпендикулярном магнитному полю, в плазме разряда в гелии, помещенного в продольное магнитное поле H=103 эрстед, температура ионов Ti=300 K, температура электронов Te=40000 K, длина свободного пробега ионов λi при давлении гелия 1 Тор λi1=10-2 см, длина свободного пробега электронов λe в шесть раз больше длины свободного пробега ионов λi, давление гелия р=5 Тор.
2. Определить скорость нагрева азота за счет VT-релаксации при условии: давление газа 100 Тор, начальная температура газа Tgo = 500 K; колебательная температура нижних колебательных уровней основного состояния молекулы Tv = 5000 K;.
3. Определить температуру ксенона в закрытой трубке к концу импульса длительностью 1 мс, если нагрев газа происходит только за счет упругих столкновений электронов с атомами. Газ напущен в трубку при комнатной температуре, при этом давление равно 100 Тор. Начальная температура газа перед включением разряда Tg = 1000 K; температура электронов Te = 30000 K; концентрация электронов ne = 2⋅1012 см-3; доля энергии, передаваемая электроном молекуле газа при упругих столкновениях δ = 3⋅10-5; частота упругих столкновений электронов с молекулами νen = 5⋅109p.
4. Найти коэффициенты свободной диффузии электронов и ионов в направлении, перпендикулярном магнитному полю, в плазме разряда в гелии, помещенного в продольное магнитное поле H=103 эрстед, температура ионов Ti=300 K, температура электронов Te=40000 K, длина свободного пробега ионов λi при давлении гелия 1 Тор λi1=10-2 см, длина свободного пробега электронов λe в шесть раз больше длины свободного пробега ионов λi, давление гелия р=5 Тор.
5. Определить иерархию процессов, определяющих время релаксации атомов в возбужденном к-ом состоянии при условии: давление газа р = 3 Тор, концентрация электронов ne = 109 см-3, концентрация атомов в к-ом возбужденном состоянии nk = 1010 см-3, температура газа Tg = 900 K, температура электронов Te = 3 эВ, радиус разрядной трубки R = 2 см, длина L = 1 м, вероятность излучательного девозбуждения уровня Ак = 103 с-1, коэффициент диффузии атомов в возбужденном к-ом состоянии при давлении газа 1 Тор D1k = 100 см2с-1, константа взаимотушения атомов в возбужденном к-ом состоянии к1 = 10-9 см3с-1, константа тушения собственным газом к2 = 7⋅10-16 см3с-1, пороговая энергия девозбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом εo =3 эВ, максимальное суммарное сечение данного процесса равно σm =10-13 см2 и достигает при εm = 5 эВ.
6. Вывести выражение для зависимости величины индукции магнитного поля, при котором происходит переворот радиального электрического поля. Определить эту величину для Не-Хе смеси при Те = 40000 К, Тi = 300 К.
7. Определить степень ионизации молекулярного газа для условий: давление газа р=5 Тор, температура электронов Te=20000 K; Tgo=600 K; пороговая энергия ионизации εoi=15 эВ, максимальное сечение данного процесса равно σm=10-18 см2 и достигает при εm=100 эВ; константа скорости отлипания в 15 раз меньше константы скорости прилипания электронов к молекулам; константа электрон-ионной рекомбинации при Te= Tgo= 300 K равна 10-7 см3с-1; константа скорости ион-ионной рекомбинации при нормальных условиях 10-6 см3с-1.
8. Определить стационарную концентрацию метастабильных атомов гелия 21S в плазме разряда в цилиндрической трубке (R = 1,5 см, L = 50 см) при давлении газа р = 0,5 Тор. Концентрация электронов ne =5⋅109 см-3, температура газа Tg = 600 K, температура электронов Te =5 эВ, вероятность излучательного девозбуждения уровня Аm = 102 с-1, коэффициент диффузии метастабильных атомов при давлении газа 1 Тор D1 = 400 см2с-1, константа тушения метастабильных атомов собственным газом к1 = 10-16 см3с-1, порог энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом εo = 20 эВ, максимальное сечение данного процесса равно σm = 10-17 см2 и достигает при εm = 100 эВ, константа тушения уровня 21S электронным ударом кme = 3⋅10-7 см3с-1. Взаимотушением метастабильных атомов друг с другом – пренебречь.
9. Определить время релаксации атомов в возбужденном состоянии при условии: давление газа р = 0.01 Тор, концентрация электронов ne = 108 см-3, температура газа Tg = 400 K, температура электронов Te = 7 эВ, шарообразная разрядная трубка радиусом R = 5 см, вероятность излучательного девозбуждения уровня Ак = 106 с-1, коэффициент диффузии атомов в возбужденном состоянии при давлении газа 1 Тор D1k = 50 см2с-1, константа тушения собственным газом к2 = 7⋅10-16 см3с-1, пороговая энергия девозбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом εo =5 эВ, максимальное суммарное сечение данного процесса равно σm =10-15 см2 и достигает при εm = 25 эВ.
10. Определить величину коэффициента амбиполярной диффузии для плазмы разряда в гелии: давление гелия р =7 Тор, длина свободного пробега ионов λi при давлении гелия 1 Тор λi1 =10-2 см, температура ионов Ti = 600 K, температура электронов Te = 40 000 K.
11. Определить температуру азота к концу импульса длительностью 50 мкс, если за нагрев газа ответственен канал, связанный с самотушением метастабильных молекул. Давление азота 40 Тор, начальная температура газа Tgo = 300 K; температура электронов Te = 30000 K; концентрация электронов ne = 2⋅1012 см-3; доля энергии, идущая в поступательные степени свободы при самотушении метастабильных молекул η = 0.2; пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом εo = 8 эВ, максимальное сечение данного процесса равно σm = 3⋅10-17 см2 и достигает при εm = 11 эВ. Считать, что концентрация метастабильных молекул в условиях задачи стационарна и определяется только прямым электронным возбуждением из основного состояния и самотушением при взаимодействии друг с другом.
12. Найти коэффициенты свободной диффузии электронов и ионов в направлении, перпендикулярном магнитному полю, в плазме разряда в гелии, помещенного в продольное магнитное поле H=103 эрстед, температура ионов Ti=300 K, температура электронов Te=40000 K, длина свободного пробега ионов λi при давлении гелия 1 Тор λi1=10-2 см, длина свободного пробега электронов λe в шесть раз больше длины свободного пробега ионов λi, давление гелия р=5 Тор.
13. Определить концентрацию атомов в к-ом состоянии при условии: давление газа р = 25 Тор, концентрация электронов ne = 1011 см-3, температура газа Tg = 600 K, температура электронов Te = 2 эВ, радиус разрядной трубки R = 2 см, длина L = 1 м, вероятность излучательного девозбуждения уровня Ак = 107 с-1, коэффициент диффузии атомов в возбужденном к-ом состоянии при давлении газа 1 Тор D1k = 10 см2с-1, константа тушения собственным газом к2 = 10-18 см3с-1, пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом εo =20 эВ, максимальное сечение данного процесса равно σm =10-17 см2 и достигает при εm = 100 эВ. Девозбуждением рассматриваемого состояния электронным ударом пренебречь.
14. Определить скорость нагрева молекулярного газа при условии: давление 5 Тор, начальная температура газа Tgo = 300 K; температура электронов Te = 20000 K; колебательная температура нижних колебательных уровней основного состояния молекулы Tv = 5000 K; концентрация электронов ne = 1012 см-3; доля энергии, передаваемая электроном молекуле газа при упругих столкновениях δ = 2⋅10-5; частота упругих столкновений электронов с молекулами νen = 4⋅109p; постоянная времени VT-релаксации в условиях задачи τVT = 10-2 с; доля энергии, идущая в поступательные степени свободы при самотушении метастабильных молекул η = 0.3; пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом εo = 6 эВ, максимальное сечение данного процесса равно σm = 5⋅10-17 см2 и достигает при εm = 9 эВ. Считать, что концентрация метастабильных молекул в условиях задачи стационарна и определяется только прямым электронным возбуждением из основного состояния и самотушением при взаимодействии друг с другом.
15. Вычислить частоту возбуждения состояния 21S атомов гелия электронным ударом при давлении газа 7 Тор, температуре газа 600 К и температуре электронов 4 эВ. Пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом εo=21 эВ, максимальное сечение данного процесса равно σm=10-17 см2 и достигает при εm=100 эВ.

Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация проводятся на основе приведенного выше перечня вопросов.

6.2. Шкала и критерии оценивания

**7. Ресурсное обеспечение**

Основная литература

1. А.М.Девятов, В.М.Шибков. «Элементарные процессы и кинетика низкотемпературной плазмы», Издательство МГУ, Москва, 1992.
2. А.М.Девятов, В.М.Шибков. «Элементарные процессы в ионизованном газе», Издательство МГУ, Москва, 2001.
3. Л.В.Шибкова, В.М.Шибков. Разряд в смесях инертных газов. Москва: Физматлит, 2005, 198 с.
4. В.М.Шибков, А.С.Зарин, А.А.Кузовников. Свободно локализованный СВЧ-разряд в воздухе. М.: Нефть и газ, 1996, 204 с.
5. В.Д.Русанов, А.А.Фридман. Физика химически активной плазмы. М.: Наука, 1984, 415 с.
6. Неравновесная колебательная кинетика. Под ред. М.Капителли. М.: Мир, 1989, 391 с.
7. Л.М.Биберман, В.С.Воробьев, И.Т.Якубов. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 1982, 375 с.
8. Ю.П.Райзер. Физика газового разряда. М.: Наука, 1982, 591 с.

**Дополнительная литература**

1. В.М.Шибков. Изучение влияния различных механизмов передачи энергии на кинетику нагрева молекулярного газа. В книге ″Сборник задач компьютерного практикума по физическим основам плазменных и лучевых технологий″. Под ред. А.Ф. Александрова и В.И. Петрова. Москва: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2000, с.43-56.
2. А.А.Матвеев, В.П.Силаков. //Неравновесная кинетика процессов в низкотемпературной водородной плазме. //ИОФ РАН. Москва, 1994. Препринт № 8.
3. А.Ю.Костинский, А.А.Матвеев, В.П.Силаков. //Кинетические процессы в неравновесной азотно-кислородной плазме. //ИОФ РАН. Москва, 1990. Препринт №87.
4. В.М.Шибков. Р.С.Константиновский, Л.В.Шибкова. Влияние газового разряда на воспламенение водородно-кислородной смеси. //Кинетика и катализ, 2005, т.46, № 6, с.821-834.
5. Toshizo Shirai, Tatsuo Tabata, Hiroyuki Tawara, Yukikazu Itikawa // Atom. Data and Nucl. Data Tables. 2002. V. 80. № 2. P. 147.
6. Brunger M.J., Buckman S.J. Electron-Molecule Scattering Cross-Section. I. Experimental techniques and data for diatomic molecules // Phys. Rep. 2002. № 357. P. 215.
7. Sobrinho A.A., Machado L.E., Michelin S.E., Mu-Tao L., Brescansin L.M. // J. Molecular Structure (Theochem). 2001. № 539. P. 65.
8. В.М.Шибков. Нагрев газа в условиях свободно локализованного СВЧ разряда в воздухе. Математическое моделирование. //Теплофизика высоких температур. 1997, т.35, № 5, с.693-701. 1. В.М.Шибков. Нагрев газа в условиях свободно локализованного СВЧ разряда в воздухе. Математическое моделирование. //Теплофизика высоких температур. 1997, т.35, № 5, с.693-701.
9. Злобина Ю.В., Шибков В.М., Шибкова Л.В. Кинетика нагрева и диссоциации молекул в импульсном разряде в водороде. //Физика плазмы, 1998, т.24, № 7, с.667-671.
10. В.М.Шибков. Р.С.Константиновский, Л.В.Шибкова. Влияние газового разряда на воспламенение водородно-кислородной смеси. //Кинетика и катализ, 2005, т.46, № 6, с.821-834.

Интернет-ресурсы

physelec.phys.msu.ru

**8. Язык преподавания:** русский

1. *Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.* [↑](#footnote-ref-1)
2. *Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося* [↑](#footnote-ref-2)