

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»
(РУДН)*

*Факультет физико-математических и естественных наук
Институт физических исследований и технологий*

Рекомендовано МССН

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

Рекомендуется для направления подготовки/специальности

03.03.02 «Физика»

**Квалификация (степень) выпускника
бакалавр**

1. Цели и задачи дисциплины:

Курс излагается для студентов факультета физико-математических и естественных наук 4-го года обучения. Основной целью специализированного курса является общеобразовательная подготовка студентов по дисциплине «Физическая кинетика», создание фундаментальной базы для усвоения других специализированных курсов. Для реализации поставленной цели в процессе преподавания курса решаются следующие задачи: 1) анализ основных физических понятий и законов; 2) приложение законов физики к практическим задачам; 3) формирование у студентов единой, логически непротиворечивой физической картины мира.

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Физическая кинетика» относится к *вариативной* части, блок Б1.О.02 учебного плана.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Теория колебаний и волн, Радиофизика, Основы физики плазмы	

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование ряда компетенций в соответствии с ОС ВО РУДН.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: теоретические основы, основные понятия законы и модели кинетических процессов протекающих в плазменных средах и методы их анализа.

Уметь: решать физические задачи, использовать при решении основные законы, представления и модели физической кинетики, а также применять полученные знания для анализа основных задач, типичных для естественнонаучных дисциплин; использовать теоретические знания для объяснения результатов физических экспериментов.

Владеть: методами обработки, анализа и интерпретации физического эксперимента.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		D	E		
Аудиторные занятия (всего)	51	27	24		
В том числе:	-				
<i>Лекции</i>	17	9	8		
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	-				
<i>Семинары (С)</i>	34	18	16		
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	-				
Самостоятельная работа (всего)	21	9	12		
Общая трудоемкость час	72	36	36		
зач. ед.	2	1	1		

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
1.	Основы физики столкновительных процессов в газовом разряде	Эффективное сечение взаимодействия частиц. Средняя длина свободного пробега частиц и частота столкновений. Упругие и неупругие столкновения. Дифференциальное сечение и угловое рассеяние частиц. Транспортное сечение и потеря количества движения при столкновениях. Поляризационное сечение взаимодействия ионов с нейтральными частицами. Взаимодействие ионов с дипольными молекулами. Резонансная перезарядка. Кулоновские столкновения заряженных частиц. Обмен энергией и релаксация энергии при столкновении частиц. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами. Типы ионизации частиц. Диссоциация молекул.
2.	Дрейф и диффузия заряженных частиц плазмы	Скорость дрейфа электронов. Принцип подобия. Проводимость ионизованного газа. Работа электрического поля. Диффузионный поток. Соотношение Эйнштейна. Продольная и поперечная диффузия электронов и ионов в электрическом поле. Свободная и амбиполярная диффузии. Дрейф электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях. Протекание электрического тока в плазме в присутствии градиентов плотности заряженных частиц.
3.	Образование и гибель заряженных частиц	Рождение и гибель заряженных частиц в плазме. Ионизация электронным ударом. Фитоионизация. Ионизация при столкновении возбужденного атома с атомом или молекулой. Рекомбинационные процессы в газовом разряде. Фоторекомбинация. Рекомбинация в тройных столкновениях. Ударно-рекомбинационная рекомбинация с участием атомов. Диэлектронная рекомбинация. Диссоциативная рекомбинация. Прилипание электронов к атомам и молекулам. Освобождение электронов из отрицательных тонов. Ион-ионная рекомбинация.
4.	Термодинамические и транспортные свойства равновесной плазмы	Химический и ионизационный состав плазмы. Термодинамические функции. Электропроводность. Теплопроводность, температурапроводность и «диффузия» тепла. Реактивная теплопроводность. Электронная теплопроводность. Потенциал потока тепла.

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Лаб. зан.	Семина.	СРС	Всего час.
1	Основы физики столкновительных процессов в газовом разряде	4		8	15	27
2	Дрейф и диффузия заряженных частиц плазмы	6		12	15	33
3	Образование и гибель заряженных частиц	4		8	15	27
4	Термодинамические и транспортные свойства равновесной плазмы	3		6	12	21

6. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо-емкость (час.)
1.	1	Основы физики столкновительных процессов в газовом разряде	8
2.	2	Дрейф и диффузия заряженных частиц плазмы	12
3.	3	Образование и гибель заряженных частиц	8
4.	4	Термодинамические и транспортные свойства равновесной плазмы	6

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционный компьютер, компьютерный проектор, аудитория для компьютерного тестирования, кабинет лекционных демонстраций, научные лаборатории.

8. Информационное обеспечение дисциплины

а) программное обеспечение:

МЕНТОР

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

телекоммуникационная учебно-информационная система (ТУИС)

Учебный портал РУДН

Научная электронная библиотека РУДН

<http://www.edu.ru/> – федеральный образовательный портал.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/demo/> - кабинет физических демонстраций МГУ.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/ofp/>

<http://www.alpud.ru/> - автоматизированные лабораторные практикумы удаленного доступа.

<http://prac-gw.sinp.msu.ru/atom.htm> - атомный и ядерный практикум МГУ.

9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука. 1987.

2. Месси Г. Отрицательные ионы. М.: Мир. 1979.

3. Смирнов Б.М. Атомные столкновения и элементарные процессы в плазме. М.: Атомиздат. 1968.

4. Русанов В.Д., Фридман А.А. Физика химически активной плазмы. М.: Наука. 1984.

5. Хаксли Л., Кромптон Р. Диффузия и дрейф электронов в газах. М.: Мир. 1977.

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Необходимо обеспечить себя рекомендованными учебными материалами. Для получения глубоких и прочных знаний, твердых навыков и умений, необходима, кроме проработки лекционного материала, систематическая самостоятельная работа студента. Дополнить конспект лекций, выделить главное студент должен самостоятельно, пользуясь предлагаемыми учебными пособиями.

Методика начисления баллов

1. Опрос пройденного материала – всего максимум 9 баллов.
2. Тестирование (2 раза)– всего 51 баллов максимум.

Всего: 60 баллов (максимальная оценка за работу в семестре).

Итоговый контрольный опрос (письменно) -40 баллов (максимум).

Итоговый контроль проводится письменно. По допуску из деканата разрешена передача, но не более двух раз.

11. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Шкала оценок

Соответствие систем оценок (согласно Приказу Ректора № 996 от 27.12.2006 г.)

Баллы БРС	Традиционные оценки в РФ	Баллы для перевода оценок	Оценки	Оценки
86-100	5	95-100	5+	A
		86-94	5	B
69-85	4	69-85	4	C
51-68	3	61-68	3+	D
		51-60	3	E
0-50	2	31-50	2+	FX
		0-30	2	F
51-60	Зачет		Зачет	Passed

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине Физическая кинетика

Направление/Специальность: 03. 03.02 Физика

Код контролируемой компетенции или ее части	Контролируемый раздел дисциплины	Контролируемая тема дисциплины	Наименование оценочного средства														Баллы темы	Баллы раздела		
			Текущий контроль											Промежуточная аттестация						
			Опрос	Тест	Коллоквиум	Контрольная работа	Выполнение ЛР	Выполнение КР/КП	Выполнение ДЗ	Реферат	Выполнение РГР	Защита ЛР	Экзамен/Зачет	
ПК-1	Физическая кинетика	Основы физики столкновительных процессов в газовом разряде	3	30											40			18	60	
		Дрейф и диффузия заряженных частиц плазмы	2																	17
		Образование и гибель заряженных частиц	2																	17
		Термодинамические и транспортные свойства равновесной плазмы	2	21																8
		ИТОГО:	9	51										40			60	100		

ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА (Тест №1)

1. Какой временной масштаб характеризует условие квазинейтральности плазмы?
 - а) среднее время между двумя последовательными электрон-ионными столкновениями,
 - б) среднее время между двумя последовательными упругими столкновениями электрона,
 - в) время, за которое концентрация распадающейся плазмы уменьшается в ϵ раз.
 - г) период плазменных колебаний.
2. Как зависит средняя длина свободного пробега частиц от эффективного сечения столкновений (σ) и концентрации частиц (n) ?
 - а) $\sim \frac{n}{\sigma}$,
 - б) $\sim \frac{\sigma}{n}$,
 - в) $\sim \frac{1}{n\sigma}$,
 - г) $\sim n\sigma$
3. От чего зависит потенциал плазмы?
 - а) только от разности концентраций электронов и ионов,
 - б) только от концентрации электронов,
 - в) только от концентрации ионов,
 - г) только от концентрации электронов, ионов и их скоростей.
4. Как зависит плазменная частота электронов от их концентрации (n)?
 - а) $\sim \sqrt{n}$,
 - б) $\sim n$,
 - в) $\sim n^2$,
 - г) $\sim \frac{1}{n}$
5. Для каких ионов при их взаимодействии с молекулами доминирует наведенный дипольный момент над собственным?
 - а) для медленных ионов,
 - б) для быстрых ионов,
 - в) для всех ионов, вне зависимости от их энергии,
 - г) только для ионов с энергией $\ll 1$ эВ.
6. Чему примерно равна вероятность столкновения частицы на длине, равной средней длине ее свободного пробега?
 - а) 100%,
 - б) 63%,
 - в) 50%,
 - г) 37%
7. Какой пространственный масштаб характеризует условие квазинейтральности плазмы?
 - а) радиус экранирования Дебая,
 - б) средняя длина свободного пробега электрона,
 - в) масштаб, на котором концентрация плазмы меняется в ϵ раз,
 - г) среднее расстояние между частицами плазмы.
8. К каким эффектам приводит резонансная перезарядка?
 - а) к изменению концентрации частиц плазмы и понижению температуры электронов,

- б) к понижению температуры электронов,
 - в) к понижению температуры ионной компоненты плазмы,
 - г) к понижению температуры ионной компоненты плазмы и нагреву фонового газа.
9. От чего зависит потенциал изолированного тела, помещенного в плазму (плавающий потенциал)?
- а) только от разности концентраций электронов и ионов вблизи изолированного тела,
 - б) только от разности потоков заряженных частиц (электронов и ионов) на поверхность тела,
 - в) только от температуры электронов и ионов,
 - г) только от потенциала плазмы.
10. Из какого условия находится кулоновский радиус?
- а) потенциальная энергия кулоновского взаимодействия равна кинетической энергии относительного движения частиц,
 - б) потенциальная энергия кулоновского взаимодействия равна кинетической энергии наиболее быстрой из взаимодействующих частиц,
 - в) потенциальная энергия кулоновского взаимодействия равна потенциальной энергии, определяемой потенциалом плазмы,
 - г) кинетическая энергия относительного движения частиц равна потенциальной энергии, определяемой потенциалом плазмы.
11. Что определяет дифференциальное сечение столкновения?
- а) вероятность рассеяния частиц в определенный интервал углов,
 - б) вероятность столкновения частиц,
 - в) вероятность неупругих столкновений частиц,
 - г) вероятность упругих и неупругих столкновений частиц.
12. Когда ступенчатая ионизация может играть существенную роль в процессе ионизации?
- а) при температуре электронов значительно выше потенциала ионизации,
 - б) при температуре электронов значительно выше потенциала ионизации и низкой температуре ионизируемого газа,
 - в) при температуре электронов ниже потенциала ионизации, но сравнимой с ней,
 - г) при температуре электронов не выше 0,1 эВ.
13. Как зависит частота кулоновских столкновений от скорости относительного движения частиц?
- а) $\sim V^{-4}$,
 - б) $\sim V^{-3}$,
 - в) $\sim V^{-2}$,
 - г) $\sim V^{-1}$.
14. Как кулоновский логарифм зависит от кулоновского радиуса (r_0) и дебаевского радиуса экранирования (d)?
- а) $\ln \frac{r_0}{d}$,

- б) $\ln \frac{d}{r_0}$,
- в) $\ln \frac{d - r_0}{r_0}$,
- г) $\ln \left(\frac{d}{r_0}\right)^2$.

15. Как зависит проводимость плазмы (однозарядные ионы) от температуры электронов (T_e) при высокой степени ионизации?

- а) $\sim (T_e)^{\frac{1}{2}}$,
- б) $\sim T_e$,
- в) $\sim (T_e)^{\frac{3}{2}}$,
- г) не зависит.

16. Как зависит характерное время релаксации энергии при электрон-ионных столкновениях от температуры электронов (T_e)?

- а) $\sim (T_e)^{\frac{1}{2}}$,
- б) $\sim T_e$,
- в) $\sim (T_e)^{\frac{3}{2}}$,
- г) $\sim (T_e)^2$.

17. От чего зависит сечение ионизации электронным ударом?

- а) от энергии электрона и типа ионизируемой частицы,
- б) от типа ионизируемой частицы,
- в) от типа ионизируемой частицы и ее энергии,
- г) от энергии электрона, типа ионизируемой частицы и их концентраций.

ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА (Тест №2)

1. Чем определяется электронная теплопроводность?
 - а) градиентом концентрации электронов и их температурой,
 - б) градиентом концентрации электронов и градиентом их температуры,
 - в) только градиентом концентрации электронов,
 - г) только градиентом температуры электронов.
2. Какой процесс сопровождает ассоциативную ионизацию?
 - а) процесс диссоциации с последующей ионизацией электронным ударом,
 - б) процесс диссоциации с последующей ионизацией ионным ударом,
 - в) процесс образования молекулярного иона и электрона при столкновении возбужденного атома с невозбужденным,
 - г) процесс образования молекулярного иона и электрона при столкновении возбужденного атома с электроном.
3. Как зависит коэффициент рекомбинации при тройных столкновениях от концентрации электронов (n_e), концентрации ионов (n_i) и концентрации третьих частиц, участвующих в этом процессе (n_3)?
 - а) $\sim n_e n_i n_3$,
 - б) $\sim n_3$,
 - в) $\sim (n_e + n_i + n_3)$,

$$\text{г)} \sim \left(\frac{n_e n_i n_3}{n_e + n_i + n_3} \right).$$

4. Что характеризует первый коэффициент Таусенда?
 - а) число пар ионов, которое один электрон в среднем создает в единицу времени, дрейфуя вдоль электрического поля,
 - б) число пар ионов, которое в среднем образует электрон, проходя в однородном электрическом поле разность потенциалов в один Вольт,
 - в) число пар ионов, которое один электрон в среднем создает на пути, равном средней длине свободного пробега, дрейфуя вдоль электрического поля,
 - г) число пар ионов, которое один электрон в среднем создает на одном сантиметре пути, дрейфуя вдоль электрического поля.
5. Как зависит скорость рекомбинации при парных столкновениях ионов и электронов от концентрации электронов (n_e) и концентрации ионов (n_i)?
 - а) $\sim n_e n_i$,
 - б) $\sim \frac{n_i}{n_e}$,
 - в) $\sim \frac{n_e}{n_i}$,
 - г) $\sim (n_e + n_i)$.
6. Какая по порядку величины энергия связи избыточного электрона в отрицательном ионе?
 - а) ~ 1 эВ,
 - б) ~ 10 эВ,
 - в) $\ll 1$ эВ,
 - г) $\gg 10$ эВ.
7. Что характеризует ионизационная способность?
 - а) число пар ионов, которое в среднем образует электрон, проходя в однородном электрическом поле разность потенциалов в один Вольт,
 - б) число пар ионов, которое один электрон в среднем создает за время между двумя последовательными столкновениями, дрейфуя вдоль электрического поля,
 - в) число пар ионов, которое один электрон в среднем создает на пути, равном средней длине свободного пробега, дрейфуя вдоль электрического поля,
 - г) число пар ионов, которое один электрон в среднем создает на одном сантиметре пути, дрейфуя вдоль электрического поля.
8. Когда можно пользоваться формулой Саха?
 - а) всегда,
 - б) в условиях термодинамического равновесия в системе,
 - в) в условиях термодинамического равновесия и только для систем содержащих заряженные частицы,
 - г) в отсутствии термодинамического равновесия в системе.
09. С чем связана реактивная теплопроводность в среде, содержащей плазму?
 - а) с переносом кинетической энергии движения частицами среды,
 - б) с переносом кинетической и потенциальной энергии,
 - в) с переносом потенциальной энергии,
 - г) с переносом энергии возбужденными молекулами.
10. Когда реализуется диссоциативное прилипание электрона с образованием отрицательного иона?
 - а) в любом молекулярном газе,
 - б) в молекулярном газе, состоящем из двухатомных молекул,
 - в) в молекулярном электроотрицательном газе, энергия связи атомов в котором превышает энергию сродства электрона к атому,

г) в молекулярном электроотрицательном газе, энергия связи атомов в котором меньше энергии сродства электрона к атому.

**ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ
К РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕМУ КОНТРОЛЬНОМУ ОПРОСУ
по курсу лекций «ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА»**

ТЕМА 1

**УПРУГИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ИОНОВ С АТОМАМИ,
МОЛЕКУЛАМИ И ДРУГ С ДРУГОМ**

Основные понятия физики атомных столкновений и кинетической теории газов. Сечения рассеяния электронов нейтральными атомами и молекулами. Потери импульсов и энергии электронами. Упругое рассеяние.

Столкновения ионов с нейтральными частицами. Резонансная перезарядка. Кулоновские столкновения.

Ионизация. Возбуждение и дезактивация электронных состояний.

Возбуждение молекулярных колебаний. Возбуждение вращательных степеней свободы молекул. Диссоциация молекул.

ТЕМА 2

**ДРЕЙФ, ЭНЕРГИЯ И ДИФФУЗИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В
ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Дрейф электронов в слабоионизованном газе. Проводимость ионизованного газа.

Энергия электронов. Связь между коэффициентом диффузии, подвижностью и средней энергией электронов.

Продольная и поперечная диффузия электронов в присутствии внешних полей. Амбиполярная диффузия.

Электрический ток в плазме в присутствии продольных градиентов плотности зарядов. Движение заряженных частиц в плазме в присутствии магнитного поля.

ТЕМА 3

ОБРАЗОВАНИЕ И ГИБЕЛЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ГАЗЕ

Различные механизмы образования и гибели заряженных частиц и их роль в условиях газового разряда. Ионизация электронным ударом в электрическом поле.

Фотоионизация. Ионизация при столкновении возбужденного атома с атомом или молекулой.

Термодинамически равновесная плотность электронов. Рекомбинация электронов и положительных ионов. Образование молекулярных ионов в атомарных газах.

Прилипание электронов к атомам и молекулам. Освобождение электронов из отрицательных ионов. Рекомбинация положительных и отрицательных ионов. Диффузионные потери зарядов.

ТЕМА 4

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА РАВНОВЕСНОЙ
ПЛАЗМЫ**

Химический и ионизационный состав плазмы. Термодинамические функции. Электропроводность. Теплопроводность. Диффузия и вязкость.

Руководитель направления 03.03.02

Директор института физических исследований и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза