

· Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета

 С. Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.



Рабочая программа дисциплины

Физика плазмы

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2021

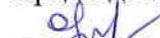
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.03.06

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск – 2021

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-2. Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
- ПК-1. Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

- ИОПК-2.2. Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования
- ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования

2. Задачи освоения дисциплины

- Освоить понятийный и математический аппарат, используемый для описания движения плазмы
- Научиться применять понятийный аппарат для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 7, зачет.
Семестр 8, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины обучающимся студентам необходимы знания следующих курсов: Общая физика, Электродинамика, Обыкновенные дифференциальные уравнения.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:

- лекции: 56 ч.;
- практические занятия: 16 ч.;
- в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Термодинамика плазмы.

Статистика заряженных частиц. Статистическая сумма и свободная энергия плазмы. Химический потенциал заряженных частиц.

Тема 2. Равновесная плазма.

Ионизация в равновесной плазме. Степень ионизации. Многократная ионизация. Дисперсная и атомная плазма. Внутренняя энергия плазмы. Поступательная, колебательная, вращательная и электронная энергия. Теплоемкость равновесной плазмы.

Тема 3. Транспортные свойства плазмы.

Теплопроводность и электропроводность плазмы. Высокочастотные свойства плазмы. Металлическая плазма.

Тема 4. Излучение плазмы.

Линейчатый и сплошной спектр. Тормозное излучение. Рекомбинационное излучение. Когерентное излучение.

Тема 5. Функция распределения и кинетическое уравнение.

Бесстолкновительная плазма. Уравнение Власова. Система уравнений для поля и частиц. Микро- и макрополе. Интеграл столкновений. Слабоионизованный газ и кулоновская плазма. Приближение времени релаксации. Уравнение Фоккера-Планка. Модельный интеграл столкновений БГК. Методы решения кинетического уравнения. Метод последовательных приближений. Процессы переноса в слабоионизованном газе.

Тема 6. Функция распределения электронов в слабоионизованном газе.

Распределение Дривестейна. Влияние неупругих столкновений. Функция распределения электронов в переменном электрическом поле. Расчет коэффициента ионизации и коэффициентов переноса в слабоионизованной плазме. Влияние магнитного поля на функцию распределения электронов. Замагниченная плазма

Тема 7. Кулоновская плазма.

Сечение кулоновских столкновений. Приближение интеграла столкновений Ландау. Обмен энергией между электронной и ионной компонентами плазмы. Сопротивление плазмы. Спитцеровская проводимость. Убегающие электроны.

Тема 8. Гидродинамическое приближение.

Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Уравнение для потока энергии. Применимость гидродинамического приближения. Плазма как жидкость. Двухжидкостная и одножидкостная модели плазмы. Плазменное приближение. Модель идеальной жидкости.

Тема 9. Движение плазмы в магнитном поле.

Поперечный дрейф. Продольное магнитному полю движение. Диамагнитный ток и диамагнетизм плазмы. Тензор магнитных натяжений. Магнитная гидродинамика. Диффузия магнитного поля в плазме. Вмороженность линий магнитной индукции в плазму. Пересоединение магнитных линий. Турбулентное динамо.

Тема 10. Равновесные конфигурации плазмы.

Теорема о невозможности самоудержания плазмы. Уравнение Шафранова. Плазменный шнур и плазменный тор. Устойчивость границы плазмы. Поверхностные волны. Неустойчивости Релея-Тейлора. Методы стабилизации границы плазмы.

Тема 11. Диффузия полностью ионизованной плазме.

Амбиполярная диффузия. Разлет плазменного сгустка. Классическая диффузия поперек магнитного поля и диффузия Бома. Неоклассическая диффузия. Диффузия и

проводимость плазмы поперек магнитного поля. Эффект Холла. Холловский ток и холловское поле. МГД-генератор.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в 7 семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Формула Саха для равновесной плазмы.
2. Как меняется электропроводность равновесной плазмы с ростом температуры?
3. Что такое реактивная теплопроводность?
4. Типы радиационных переходов. Какое излучение называется тормозным?
5. Изобразить качественный спектр континуума плазмы.
6. Когда можно использовать бесстолкновительную модель плазмы?
7. Что означает термин "затухание Ландау"?
8. Каков физический механизм этого явления?
9. Кинетическое уравнение Больцмана.
10. Когда имеет место распределение Дрювестейна?
11. При каких условиях в слабоионизованной плазме может иметь место максвелловское распределение электронов по скоростям?

Результаты зачета определяются оценками «зачет», «не зачет».

«Зачет» выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и, по существу, излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему не критичные неточности в ответе

Экзамен в 8 семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей

Первая часть представляет собой два теоретических вопроса, проверяющих ИОПК-2.2. Ответы на вопросы даются в развернутой форме.

Вторая часть содержит 1 задачу, проверяющую ИПК 1.1.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова.
2. Функция распределения электронов в слабоионизованном газе.
3. Столкновения заряженных частиц в плазме.
4. Кулоновская плазма. Проводимость полностью ионизованной плазмы.
5. Убегающие электроны.
6. Гидродинамическое приближение.
7. Двухжидкостная модель плазмы.
8. Диамагнитный ток в плазме.
9. Одножидкостная модель плазмы.
10. Уравнение индукции и вмороженность силовых линий магнитного поля в плазме.
11. Равновесные конфигурации плазмы.
12. Плазменный шнур (пинч). Условия равновесия пинча.
13. Устойчивость границы плазмы. Желобковая неустойчивость.

14. Классическая диффузия плазмы поперек магнитного поля.
15. Неклассические виды диффузии плазмы.

Примеры задач:

1. Оцените предельную концентрацию плазмы с температурой $T_i \cong T_e$, которую можно удержать в шнуре радиуса R магнитным полем, создаваемым протекающим через шнур током силой I .

2. Заряженный пучок электронов плотностью n , радиусом R и током в I движется вдоль силовых линий однородного магнитного поля с индукцией B . Вычислить скорость и направление $E \times B$ дрейфа внешних электронов пучка, если электрическое поле создается только зарядом пучка.

3. Через плазменный шнур с начальным радиусом R , помещенный в однородное продольное магнитное поле с индукцией B_0 , начинают пропускать ток I . Считая магнитное поле замороженным в однородную по сечению плазму, оценить предельную степень сжатия шнура D (отношение начального радиуса шнура к минимальному), если кинетическое давление вещества примерно равно магнитному давлению в каждой точке внутри пинча.

4. Цилиндрический столб равновесной плазмы с температурой T имеет радиальное распределение концентрации электронов $n(r) = n_0(1 - r^2/R^2)$. Плазменный столб помещен в однородное внешнее магнитное поле B , силовые линии которого параллельны оси шнура. Оцените плотность азимутального диамагнитного тока, текущего на поверхности столба, если n_0, R .

5. В полностью ионизованной водородной плазме с концентрацией n_0 и температурой T имеется электрическое поле напряженностью E . Оцените скорость электронов v_c , начиная с которой они смогут переходить в режим непрерывного ускорения. Найдите в эВ энергию таких электронов.

6. В воздухе при нормальных условиях (1 атм, 300 К) имеется единственный электрон. Оцените верхнюю границу напряженности электрического поля E_m , ниже которого электрон, двигаясь в режиме дрейфа, еще будет находиться в тепловом равновесии с газом тяжелых частиц. Принять в задаче, что сечение электрон-атомных столкновений не зависит от скорости и равно σ_0 .

7. Оценить скорость дрейфа и среднюю энергию электронов в гелии атмосферного давления при наличии электрического поля напряженностью E . Считать, что сечение электрон-атомных столкновений в гелии не зависит от скорости и равно σ_0 .

8. Можно ли считать замороженным магнитное поле при сжатии плазмы Z-пинча, если известно, что средний заряд ионов $\langle Z \rangle$, концентрация ионов плазмы n_i и температура электронов T_e .

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». К экзамену допускаются только студенты, успешно прошедшие текущую аттестацию и выполнившие все практические задания.

Оценка «отлично» выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и, по существу, излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, способному самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и, по существу, излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему некритичные неточности в ответе

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неполно или неточно формулирующему базовые понятия.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21842>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Ю. П. Райзер. / Физика газового разряда // Долгопрудный: Издательский дом Интеллект, 2009.
- И. А. Котельников. / Лекции по физике плазмы // Москва: Бином, 2014.
- В. Е. Голант, А. П. Жилинский, И. Е. Сахаров. Основы физики плазмы. М.: Атомиздат, 1977.
- Ф. Чен. Введение в физику плазмы. М.: Мир, 1987.

б) дополнительная литература:

- Д. А. Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. Любое издание.
- Л. А. Арцимович, Р. З. Сагдеев. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.
- Б. М. Смирнов. Физика слабоионизованного газа. М.: Наука, 1978.
- М. Митчнер, Ч. Кругер. Частично ионизованные газы. М.: Мир, 1976.
- А. Б. Михайловский. Теория плазменных неустойчивостей. Т. 1,2. М.: Атомиздат, 1977.
- В. Л. Грановский. Электрический ток в газе (установившийся ток). М.: Наука, 1971.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Семенюк Наталья Степановна, физический факультет НИ ТГУ, старший преподаватель