

Приложение № 5
к программе
подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре НИЦ «Курчатовский
институт»
по научной специальности
1.3.9. Физика плазмы

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по специальной дисциплине
«Физика плазмы»

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью дисциплины «Физика плазмы» является приобретение знаний и навыков, необходимых для исследовательской и научной деятельности в этой области знаний. В основу положены следующие дисциплины: элементарные механические процессы в плазме, физическая кинетика, статистическая физика, электродинамика сплошных сред.

Это включает следующие задачи:

1) овладение основными понятиями термодинамики плазмы, включая термодинамическое описание ансамблей заряженных частиц и электромагнитных полей на разных масштабах – от микроскопического (кинетического) описания до макроскопического (гидродинамического);

2) особое внимание уделяется причинам, по которым плазма называется четвертым агрегатным состоянием вещества (ведущая роль макроскопических полей – электрического и магнитного), а также широте плазменных классических и квантовых явлений (многоэлектронный атом в модели Томаса-Ферми и вырожденный электронный ферми-газ в металлах; различные типы электрических разрядов в лаборатории, земной атмосфере и космосе; солнечная корона и другие микро- и макроскопические явления);

3) рассмотрение основных элементарных процессов в плазме, пояснение роли далеких парных столкновений заряженных частиц. Изложение основных положений физической кинетики плазмы и газов, включая уравнение Больцмана, систему уравнений Власова-Максвелла, интегралы столкновений Ландау и Балеску-Ленарда;

4) рассмотрение иерархии огрубления кинетического описания и методов получения гидродинамического описания процессов переноса в плазме, включая двухжидкостную гидродинамику Брагинского и идеальную магнитную гидродинамику Альфвена;

5) изучения динамики заряженных частиц в заданных электрическом и магнитном полях, включая основные типы дрейфового движения и адиабатические инварианты. Магнитогидродинамическое (МГД)

описание плазмы излагается в диапазоне от идеальной МГД и явлений замороженности магнитного поля в плазму до двухжидкостной МГД с диссипативными явлениями (диффузией магнитного поля, теплопроводностью, вязкостью и др.);

б) рассмотрение основных равновесных конфигураций плазмы в магнитной гидродинамике, включая равновесие тороидального и прямого пинча при наличии и отсутствии продольного магнитного поля. Изложение основных типов неустойчивости плазмы, включая гидродинамические и кинетические. Колебания и волны в плазме рассматриваются в рамках гидродинамического описания, приводятся основные типы продольных (плазменных, включая ленгмюровские, альфвеновские, магнитозвуковые и др.) и поперечных (электромагнитных) волн, рассматриваются эффекты пространственной и временной дисперсии. Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме рассматривается в рамках квазилинейного приближения, даются примеры для продольных (затухание Ландау) и поперечных волн (черенковское излучение);

7) взаимодействия электромагнитных волн с плазмой: описывается распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме, геометрическая оптика, линейная трансформация и основные нелинейные процессы взаимодействия волн. Излучение плазмы будет рассмотрено на уровне описания основных элементарных радиационных процессов и типов излучаемого спектра (линейчатого, непрерывного) и на уровне кинетического описания, включая радиационно-столкновительную модель для населенностей атомных уровней и перенос излучения в плазме;

8) рассмотрение основных методов диагностики плазмы, включая зондовые методы, оптические методы, СВЧ-методы, корпускулярные методы, лазерное рассеяние, магнитные измерения; гидродинамических и тепловых явлений в плазме включает ударные волны в плазме и нелинейные волны теплопроводности;

9) рассмотрение широкого круга прикладных проблем физики плазмы, включая основные направления в энергетике (управляемый термоядерный синтез в системах магнитного, магнито-инерциального и инерциального удержания плазмы), геофизике и астрофизике, плазменных источниках излучения, преобразовании тепловой энергии в электрическую (МГД и тепловые преобразователи), плазменных технологиях на основе плазмохимии и взаимодействия плазмы с поверхностью твердых тел.

2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров

Дисциплина «Физика плазмы» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров для научной специальности 1.3.9. «Физика плазмы».

В соответствии с учебным планом занятия проводятся на первом, втором году обучения (во втором, третьем, четвертых семестрах). Кандидатский экзамен сдается в четвертом семестре.

Объем дисциплины составляет 396 часов (11 зачетных единиц), из которых 198 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лекции, занятия семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, мероприятия текущего контроля успеваемости и итогового контроля). Самостоятельная работа обучающегося составляет 198 часов. Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых и/или индивидуальных консультаций.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Данная дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

1) способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении

исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

2) способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;

3) владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;

4) владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;

5) способность самостоятельно проводить научные исследования в области физики плазмы и применять полученные результаты для решения научно-исследовательских и научно-инновационных задач.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен знать:

1) основные физические явления в плазме;

2) основные направления использования плазменных систем для решения прикладных задач;

3) физические явления в конденсированных средах;

4) принципы расчетов твердотельных структур, их электронных и фононных свойств;

5) практические возможности методов исследования кристаллов.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен уметь:

1) оперативно найти общедоступные литературные источники для проведения научно-исследовательской работы по теме диссертации;

2) вести научно-исследовательскую работу на передовом уровне и активно участвовать в решении практических задач;

3) проводить необходимые эксперименты;

4) получать результаты, их обрабатывать и анализировать в рамках изучаемого метода;

5) использовать полученные результаты в практических целях для разработки новых материалов, явлений и процессов в них.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен владеть:

- 1) методологией физики плазмы как четвертого агрегатного состояния вещества, встречающегося в очень широком диапазоне физических явлений и требующего широты образования и навыков;
- 2) основными методами расчета параметров кристаллов;
- 3) иметь опыт научной деятельности;
- 4) навыками выполнения простейших квантово-механических расчетов и подготовки научных сообщений.

4. Объем дисциплины, виды учебной работы (в часах), структура и содержание дисциплины

4.1. Объем и виды учебной работы (в часах) по дисциплине в целом

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость базового модуля дисциплины	396
Аудиторные занятия (всего)	198
В том числе:	
Лекции (Л)	144
Семинары/практические занятия (С/ПрЗ)	54
Самостоятельная работа (СР)	198
В том числе*:	
Форма текущего контроля	реферат, контрольная работа, (домашние задания, индивидуальные и групповые консультации)
Форма итогового контроля (промежуточная аттестация)	экзамен (КЭ)

* приводятся все виды самостоятельной работы по данной дисциплине

4.2. Структура и содержание дисциплины

№ темы	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	Термодинамика плазмы	20	12	3	16

2	Элементарные процессы	33	12	5	20
3	Динамика заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	28	12	5	6
4	Физическая кинетика	33	12	5	16
5	Магнитная гидродинамика плазмы	33	12	5	16
6	Колебания и волны в плазме при заданной функции распределения частиц по импульсам	30	12	5	10
7	Совместная динамика частиц и волн в плазме	33	12	3	16
8	Неустойчивость и турбулентность плазмы	28	12	5	16
9	Бездиссипативная динамика электромагнитных волн в плазме	33	12	5	16
10	Радиационные процессы в плазме	33	12	5	20
11	Диагностика плазмы	28	10	2	20
12	Электрический разряд в газах	33	10	2	6
13	Гидродинамические и тепловые явления в плазме	21	2	2	10
14	Прикладные проблемы физики плазмы	10	2	2	10
Всего		396	144	54	198

5. Образовательные технологии

1. При реализации настоящей дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции-визуализации (все лекции сопровождаются презентациями), проблемные лекции с дискуссией (на каждой лекции рассматриваются проблемные вопросы по актуальным направлениям развития предмета).

2. В учебном процессе помимо чтения лекций широко используются активные и интерактивные формы. Совместное и самостоятельное решение аспирантами задач по темам лекций на занятиях семинарского типа,

самостоятельное изучение предложенных тем и выступление с докладами на занятиях.

В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Текущий контроль (промежуточный) проводится на 7 и 14 неделе в форме контрольной работы с оценкой по пятибалльной системе. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Примеры контрольных вопросов:

1. Основные понятия термодинамики плазмы.
2. Интеграл столкновений Ландау.
3. Основные уравнения идеальной магнитной гидродинамики.

Для получения положительной оценки и для выполнения задания по самостоятельной работе аспиранту необходимо подготовить реферат по представленным или подобным темам объемом 15 – 20 страниц. Реферат должен быть написан самостоятельно и построен по типу статьи: краткая аннотация: 4 – 5 строк, введение (цели, задачи обзора, объект рассмотрения), основная часть (описание объекта или способа), заключение, литература. Обязательно предоставляется информация (ссылки на статьи и патенты) об авторах, институтах, лабораториях, которые разрабатывали представленную тематику. Перспективы и прогноз дальнейших исследований. Возможное применение данных разработок. Можно предоставить данные по фирмам и рекламную литературу по их деятельности, которые занимаются данными разработками. В реферате должны быть отражены методы формирования объекта, способы измерения его характеристик и свойств, применения.

Примеры тем предлагаемых докладов, рефератов:

1. Современное состояние проблемы управляемый термоядерный синтез в системах магнитного удержания плазмы.
2. Оптические методы диагностики плазмы в системах инерциального удержания плазмы.
3. Современное состояние методов электродинамического ускорения плазмы.

Итоговый контроль – экзамен (КЭ).

Примеры вопросов к экзамену:

1. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми-Дирака, модель Томаса-Ферми.
2. Уравнения Больцмана и Власова.
3. СВЧ-методы диагностики плазмы.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

I. Основная литература:

1. Ковальчук, М.В. Идеология природоподобных технологий / Михаил Ковальчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва: Физматлит, 2021. – 336 с. – ISBN 978-5-9221-1931-3.
2. Энциклопедия низкотемпературной плазмы, вводный том, чч. I-IV, под ред. Фортова В.Е. – М., Наука, 2000 г. – ISBN 5-02-002596-8.
3. Теоретическая физика [Текст]: учебное пособие для студентов физических специальностей университетов: в 10 т. / Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц; под ред. Л. П. Питаевского. - Москва: Физматлит: МАИК Наука, 2001-. - 22 см.; ISBN 5-9221-0053-X.
4. Румер, Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – Новосибирск, изд. НГУ, 2000 г. – ISBN 5-7615-0383-2.
5. Генин, Л.Г., Свиридов В.Г. Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах. – М., изд. МЭИ, 2001 г. – ISBN 5-7046-0650-4.

II. Дополнительная литература:

1. Серия сб. «Итоги науки и техники. Физика плазмы», под ред. Шаfranова В.Д. – М., ВИНТИ, 2012. – 286 с. – ISBN: 9785458414576.

2. Серия сб. «Химия плазмы», под ред. Смирнова Б.М. М., Энергоатомиздат, 2001.

III. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

2. Электронная библиотека Платонанет: [сайт]. – URL: https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/2 (дата обращения: 28.06.2022).

3. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/> (дата обращения: 28.06.2022).

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.07.2022).

5. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 30.07.2022).

6. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии Physics related free-access Journals: [сайт]. – URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 30.07.2022).

7. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.scilib.net/> (дата обращения: 12.08.2022).

8. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов: [сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 12.08.2022).

9. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> (дата обращения: 12.08.2022).

10. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата обращения: 12.08.2022).

11. Вестник РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 30.08.2022).

12. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 30.08.2022).

IV. Доступ к журналам и базам публикаций различных научных издательств:

1. Электронный доступ к коллекции из 15 журналов базы данных компании Американского физического общества (APS). База данных APS содержит журналы по ядерной физике, физике высоких энергий, астрофизике, математической физике, механике и др.: [сайт]. – URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Электронный доступ к коллекции из 17 журналов базы данных компании AIP Publishing LLC (AIP). Тематические рубрики изданий включают основные разделы физики и смежных областей знания: [сайт]. – URL: <https://www.aip.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Электронный доступ и использование баз данных журналов компании IOP PUBLISHING LIMITED: База данных журнала Nuclear Fusion: [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Электронный доступ к журналам и книгам издательства Elsevier на платформе ScienceDirect: [сайт]. – URL: <http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm> (дата обращения: 12.09.2022).

5. Электронный доступ к журналам, книгам и базам данных издательства Springer_Nature: [сайт]. – URL: <https://www.springernature.com/gp> (дата обращения: 12.09.2022).

6. Электронный доступ к базе данных Cambridge Crystallographic Data Centre. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD-

Enterprise содержит данные о строении кристаллических органических и элементарноорганических соединений (800 000 структур, онлайн и оффлайн версии), комплекс программ для работы с ними для биологов, химиков и кристаллографов: [сайт]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> (дата обращения: 12.09.2022).

V. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).

8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).

9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).
10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).
11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).
12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).
13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).
14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. При освоении дисциплины необходимы стандартная учебная аудитория с доской, ноутбук, мультимедийный проектор, экран. Аспирантам должен быть обеспечен доступ к сети Интернет и свободный доступ к библиотеке периодических изданий по предмету (в том числе и к электронным изданиям).

2. Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин.