

Приложение № 5
к программе
подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре
НИЦ «Курчатовский институт»
по научной специальности
1.3.13. Электрофизика, электрофизические
установки

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по специальной дисциплине
«Электрофизика, электрофизические установки»

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины «Электрофизика, электрофизические установки» – дать основные понятия и закономерности электрофизики, рассмотреть применение этих закономерностей в исследовательских и технологических установках.

Программа дисциплины включает изучение:

1) основ электродинамики. Электростатика: закон Кулона, электрическое поле, суперпозиция полей, теорема Гаусса, потенциал электрического поля, уравнения Пуассона и Лапласа, двойной электрический слой, энергия электрического поля, свойства диэлектриков. Магнитостатика: магнитное поле токов, сила Лоренца, векторный потенциал магнитного поля, взаимная индукция и самоиндукция проводников, энергия магнитного поля. Электромагнитное поле в неподвижной среде: теорема Лармора, электромагнитные волны, уравнения Максвелла, теорема Пойнтинга, решение волнового уравнения, скорость распространения электромагнитных возмущений, скин-эффект, волноводы, фазовая и групповая скорости, дисперсия, излучение заряженных частиц;

2) основ теории электрических цепей. Особое внимание обращено на длинные линии, падающие и отраженные волны, входное сопротивление линии, согласование длинных линий, цепи с ферромагнетиками, феррорезонанс;

3) вопросов строения вещества. Газы: уравнение состояния, распространение звука, ударные волны, эффективное сечение и средняя длина свободного пробега. Плазма: эффективные сечения и частоты столкновений, механизмы ионизации и рекомбинации в плазме, термическая ионизация, уравнение Саха, Дебаевский радиус, плазменная частота, испускание и поглощение фотонов, диффузия и дрейф частиц, системы и методы плазменной энергетики, плазмотроны. Жидкости: макроскопические свойства жидкостей, силы взаимодействия молекул.

Твердые тела: кристаллическая решетка, электронный газ, работа выхода, сверхпроводимость;

4) вещества в сильном электромагнитном поле: эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества: термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия. Газовый разряд: самостоятельный и несамостоятельный разряды, лавинный разряд, закон Пашена, коронный и тлеющий разряды, дуговой разряд, изоляционные свойства газов. Прохождение тока через жидкость: технический электролиз, электрическая прочность и пробой жидких диэлектриков, ударные волны. Проводники, твердые диэлектрики в сильных полях: проводимость, криопроводимость, сверхпроводимость, эффект Холла, электрический взрыв проводников;

5) накопления и коммутации энергии больших мощностей: сравнительные характеристики различных типов накопителей, максимальная плотность энергии. Емкостные накопители: построение генераторов импульсных напряжений и генераторов импульсных токов, схемы Маркса, Фитча и др., разрядники, схемы управления. Индуктивные накопители и прерыватели для вывода энергии в нагрузку: электровзрывные размыкатели тока, плазменные, полупроводниковые. Взрывомагнитные генераторы;

6) физики сильноточечных пучков заряженных частиц: ток Альвена, формирование виртуального катода, нейтрализованный, самосфокусированный пучок, E-слой, магнитная изоляция в диодах и линиях передач, генерация сильноточечных электронных и ионных пучков;

7) физика и техники устройств на основе низкотемпературной плазмы: плазмохимические, металлургические и другие устройства на основе мощных электрических дуговых разрядов и электромагнитных полей, физика приэлектродных процессов в сильноточечных дуговых разрядах;

8) компьютерных технологий: компьютер как инструмент научной работы, математическое моделирование с применением компьютерных технологий.

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

Дисциплина «Электрофизика, электрофизические установки» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров для научной специальности 1.3.13. «Электрофизика, электрофизические установки».

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 электрофизики, электрофизических установок и применять полученные результаты для решения научно-исследовательских и научно-инновационных задач.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен знать:

1) основы электрофизики;

2) принципы расчета мощных импульсных источников электромагнитных импульсов с применением различных типов накопителей и коммутаторов;

3) практические методы работы с накопителями и пучками заряженных частиц.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен уметь:

1) проводить необходимые эксперимент и измерения;

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

3) использовать полученные результаты в практических целях для разработки новых установок для различных применений, включая определение электропрочности, материалов, их стойкости к мощным импульсным воздействиям. явлений и процессов в них.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен владеть:

1) основными методами расчета параметров импульсных генераторов;

2) иметь опыт научной деятельности;

3) навыками выполнения схем импульсных источников, расчета их

параметров 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

№ п/п	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	Электро и магнитостатика, основные законы и теоремы	12	12	5	16
2	Электромагнитное поле, уравнения Максвелла	12	12	5	20
3	Волноводы, фазовая и групповая скорости, дисперсия, излучение заряженных частиц	12	12	5	16
4	Теории электрических цепей, согласование линий	12	12	5	16
5	Плазма, уравнение Саха, Дебаевский радиус, плазменная частота, плазмотроны	12	12	5	16
6	Виды эмиссии электронов, включая	12	12	5	20

	взрывную, ионная эмиссия, газовый разряд, закон Пашена.				
7	Сильные поля, эффект Холла, электрический взрыв проводников	12	12	5	16
8	Характеристики различных типов накопителей, максимальная плотность энергии, коммутаторы	12	12	5	16
9	Емкостные накопители, генераторы Маркса, Фитча, Блюмлайн, разрядники, схемы управления	12	12	5	16
10	Индуктивные накопители и прерыватели для вывода энергии в нагрузку. Взрывомагнитные генераторы	12	12	5	20
11	Электронные и ионные диоды	12	12	2	20
12	Физика сильноточных пучков, ток Альвена, виртуальный катод, E-слой, магнитная изоляция	12	12	2	6
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. Устройство конденсатора, плотность запасаемой энергии и скорость ее вывода в нагрузку.
2. Рассчитать конденсаторную батарею для питания соленоида объемом 10л, в котором магнитное поле достигает 1Т. Как при этом может варьироваться скорость нарастания магнитного поля.
3. Какова должна быть температура и плотность плазмы, чтобы обеспечить эмиссию электронов с плотностью 1А/см^2 .
4. Самостоятельный и несамостоятельный разряды.
5. Электрическая прочность и диэлектрическая проницаемость жидких диэлектриков. Пробой, ударные волны.
6. Колебательный контур с вольфрамовой проволокой в цепи. Сопротивление вольфрама линейно растет в 10 раз при нагревании от 20°C до $\sim 3000^\circ\text{C}$.
7. Схема Блюмлайна на сосредоточенных элементах. Определить длительность фронта.
8. Прерыватели тока в генераторах с индуктивным накопителем энергии.

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.

Расчет и построение силовых линий стационарных электрических и магнитных полей в заданной геометрии потенциальных электродов и проводников с током. Области эмиссии электронов (и ее природы). Определение электронных потоков, их плотности энергии и траектории.

Определение параметров для Чайлд-Лэнгмюровского и парапотенциального описания диодов. Условия самофокусировки электронных пучков.

Воздействие электронного пучка на анод. Генерация тормозного рентгеновского излучения.

Примеры тем предлагаемых докладов, рефератов:

1. Крутильные весы, определение силы взаимодействия двух зарядов. Сформулировать закон Кулона, определить точность.
2. Взаимодействие проводников с током, принципиальная схема двигателя и генератора.
3. Вакуумный разрядник, Закон Пашена. Как получить изменение электропрочности разрядника за счет изменения зазора. Роль закона Пашена.
4. Принцип разработки широкополосных шунтов и делителей напряжения. Влияние скин – слоя.
5. Взрывная эмиссия электронов. Возможности ее подавления или усиления. Возможные величины напряженности, при которой начинается взрывная эмиссия. Скорость расширения взрывной плазмы.
6. Магнитная изоляция и самоизоляция передающих линий.

7. Расчет парapotенциального диода Связь геометрии, величин напряжения и тока. Условия самофокусировки пучка.

8. Электровзрывные и плазменные прерыватели тока.

Итоговый контроль – экзамен (КЭ).

Примеры вопросов к экзамену:

1. Плазма, Дебаевский радиус, плазменная частота.
2. Потенциал и энергия электрического поля.
3. Рассмотреть способы подавления электронных утечек в ионных диодах.
4. Магнитное поле прямого проводника с током и витка с током, причина разницы.
5. Индуктивность длинного и плоского соленоидов.
6. Электротехнические измерители.

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.

6. Зельдович, Я.Б. Теория ударных волн и введение в газодинамику / Я.Б. Зельдович. - М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. - 188 с. – ISBN 5-93972-195-8-- . – URL: <https://rucont.ru/efd/301419> (дата обращения: 09.09.2022).

II. Дополнительная литература:

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика / Л.Д. Ландау. - 8-е изд., стер. - М.: Физматлит. – 2001. - Т. 2: Теория поля – ISBN 5-9221-0053-X.

2. Попов, В.П. Основы теории цепей: учебн. для вузов по направлению «Радиотехника» / В.П. Попов. - 3-е изд., испр. - М.: Высш. школа, 2000. – 575 с. – ISBN 5-06-003949-8.

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.sci-lib.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. Коллекция журналов Complete Freedom Collection: [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.