



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Физический факультет**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Проректор по научной работе  
и инновациям  
Ашурбеков Н.А.



«сентябрь» 2022 г.

**ПРОГРАММА - МИНИМУМ**  
кандидатского экзамена по подготовке кадров высшей квалификации  
по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия»  
(физико-математические науки)

**Направленность (профиль) программы**

**1.3.9 - Физика плазмы**

**Махачкала – 2022**

Программа – минимум кандидатского экзамена по направлению 03.06.01 – Физика и астрономия, направленность (профиль) программы 1.3.9 - «Физика плазмы» составлена в 2022 году на основе паспорта научной специальности и учебного плана ДГУ по образовательной программе подготовки аспирантов.

Разработчики кафедры физической электроники, кафедра общей физики  
Ашурбеков Н.А., д.ф.-м.н., профессор \_\_\_\_\_  
Курбанисмаилов В.С., д.ф.-м.н., профессор В.С. Курбанисмаилов

Программа – минимум кандидатского экзамена одобрена: на заседании ученого совета физического факультета от «30» июня 2022 г., протокол № 10

Председатель совета В.С. Курбанисмаилов Курбанисмаилов В.С.  
«29» июня 2022 г

на заседании Методической комиссии физического факультета от «29» июня 2022 г., протокол № 10

Председатель Ж.Х. Мурлиева Ж.Х. Мурлиева

Программа – минимум кандидатского экзамена по направлению 03.06.01 Физика и астрономия согласована с Управлением аспирантуры и докторантуры «26» 09 2022 г.

Начальник Управления Э.Т. Рамазанова Э.Т. Рамазанова

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**  
кандидатского экзамена по специальности  
**1.3.9 - «Физика плазмы»**  
по физико-математическим наукам

**Введение**

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: статистика, элементарные процессы, физическая кинетика, магнитная гидродинамика, электродинамика сплошных сред, физика волновых процессов.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по физике при участии Российского научного центра «Курчатовский институт», Института общей физики РАН, Московского физико-технического института (государственного университета), Объединенного института высоких температур РАН, физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Московского государственного инженерно-физического института.

**1. Термодинамика плазмы**

Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма. Условие термодинамического равновесия, термическая ионизация, формула Саха, корональное равновесие, снижение потенциала ионизации. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми—Дирака, модель Томаса—Ферми.

**2. Элементарные процессы**

Столкновения заряженных частиц, дальное действие, частоты столкновений, столкновения электронов с атомами (упругие и неупругие), столкновения тяжелых частиц. Ионизация, рекомбинация, перезарядка и прилипание. Возбуждение и диссоциация молекул электронным ударом.

**3. Физическая кинетика**

Уравнения Больцмана и Власова, интеграл столкновений, время максвеллизации и скорость выравнивания температур различных компонент плазмы. Скорость ионообразования и рекомбинации электронов и ионов, образование и разрушение возбужденных атомов (ионов). Явления переноса в плазме, электропроводность, диффузия и теплопроводность частиц при наличии и отсутствии магнитного поля. Кинетика возбужденных молекул в плазме.

**4. Динамика заряженных частиц в электрическом и магнитном полях**

Движение в скрещенных электрическом и магнитном полях. Дрейфовое приближение, разновидности дрейфового движения. Заряженная частица в высокочастотном поле. Понятие адиабатического инварианта.

## **5. Магнитная гидродинамика плазмы**

Уравнения движения плазмы в магнитном поле, проникновение магнитного поля в плазму, замороженность магнитного поля. Законы сохранения в идеальной одножидкостной МГД. Двухжидкостное приближение.

## **6. Неустойчивость плазмы**

Равновесные конфигурации плазмы в магнитной гидродинамике, пинч. Неустойчивость плазмы, виды неустойчивости, перегреваемая и ионизационная неустойчивости. Энергетический принцип МГД-устойчивости.

## **7. Колебания и волны в плазме**

Основные типы колебаний и волн в плазме: лэнгмюровские электронные и ионные, электромагнитные, ионно-звуковые, магнитозвуковые, альфвеновские. Показатель преломления плазмы, пространственная и временная дисперсия, фазовая и групповая скорости плазменных волн.

## **8. Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме**

Возбуждение и затухание волн в плазме, черенковское излучение, затухание Ландау. Раскачка плазменных колебаний пучками. Квазилинейное приближение.

## **9. Взаимодействие электромагнитных волн с плазмой**

Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме, геометрическая оптика, плазменный резонанс, циклотронный резонанс, линейная трансформация. Основные нелинейные процессы взаимодействия волн, неустойчивость плазмы в сильном электромагнитном поле. Рассеяние и трансформация волн.

## **10. Излучение плазмы**

Элементарные радиационные процессы, интенсивность спектральных линий, сплошные спектры, вынужденное испускание. Пробег излучения, перенос излучения в среде, оптически прозрачная и непрозрачная плазма, лучистая теплопроводность.

## **11. Диагностика плазмы**

Зондовые методы, оптические методы, СВЧ-методы, корпускулярные методы, лазерное рассеяние, магнитные измерения.

## **12. Электрический разряд в газах**

Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда, излучающий разряд в плотной плазме, плазменно-пучковый разряд.

## **13. Гидродинамические и тепловые явления в плазме**

Ударные волны в плазме, скачок уплотнения, релаксационный слой, излучение ударных волн, нелинейные волны теплопроводности. Токовые слои.

## 14. Прикладные проблемы физики плазмы

Управляемый термоядерный синтез, магнитное удержание и нагрев плазмы в магнитных ловушках и инерциальных системах.

Геофизические и астрофизические плазменные явления — ионосфера Земли, межпланетная плазма, звезды.

Плазменные источники излучения, плазменная СВЧ-электроника.

Преобразование тепловой энергии в электрическую: МГД-преобразователи, тепловые преобразователи.

Химические реакции в равновесной и неравновесной плазме. Механизмы и кинетика осуществления плазмохимических реакций, роль заряженных и возбужденных частиц. Энергетика химических реакций в электрических разрядах. Закалка продуктов плазмохимических процессов. Методы диагностики химически активной плазмы.

Взаимодействие плазмы с поверхностью твердых тел. Плазменные технологии (травление, имплантация, упрочнение, нанесение покрытий и пр.).

### Литература

#### а) Основная литература

1. Франк-Каменецкий, Давид Альбертович. Лекции по физике плазмы: [учеб. пособие] / Франк-Каменецкий, Давид Альбертович. - 3-е изд. - Долгопрудный: Интеллект, 2008. - 278, [1] с. - (Физтехковский учебник). - ISBN 978-5-91559-002-0: 566-50.
2. Гинзбург, Виталий Лазаревич. Распространение электромагнитных волн в плазме / Гинзбург, Виталий 7 физика плазмы (5- 10 0.70 Лазаревич. - Изд. 2-е, перераб. - М.: Наука, 1967. - 683 с.; 20 см. + черт. - Предм. указ.: с. 681-683. - Библиогр.: с. 630-680. - 3-01.
3. Биттенкорт, Жозе А. Основы физики плазмы: [учебник] / Биттенкорт, Жозе А.; пер. с англ. под общ. ред. Л.М. Зеленого; ред. пер. А.М. Садовский. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 583 с. - Предм. указ.: с. 578-583. - ISBN 978-5-9221-1169-0: 560-00.
4. Арцимович Л.А. и Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.: [Учебное пособие для физ. специальностей ун-тов]. / Арцимович Л.А. и Лукьянов С.Ю. - М.: Наука., 1972. - 224с. с илл.
5. Диагностика плазмы: Сб. статей / Под ред. М.И. Пергамент. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 271 с. - 0-0.
6. Лукьянов С.Ю., Ковальский Н.Г. Горячая плазма и управляемый термоядерный синтез: Учеб. для вузов. М.: МФТИ, 1999.
7. Райзер, Юрий Петрович. Физика газового разряда / Райзер, Юрий Петрович. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1992. - 535, [1] с.: ил.; 22 см. - ISBN 5-02-014615-3.
8. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Искровой разряд: Учебное пособие для вузов.- М.: Изд-во МФТИ, 1997. - 320 с.

9. Дьяков А.Ф., Бобров Ю.К., Сорокин А.В., Юргеленас Ю.В. Физические основы электрического пробоя газов. М.: Издательство МЭИ, 1999. 400 с.
10. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Т. XI - 4: Газовые и плазменные лазеры / отв. ред. С.И. Яковленко. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 820 с.: ил. - (Энциклопедическая серия. Серия Б: Справочные приложения, базы и банки данных/ гл. ред. В.Е. Фортов). - ISBN 5-9221-0571-6: 984-06.
11. Диагностика плазмы / Под ред. Р. Хаддлстоуна, С. Леонарда. М.: Мир, 1967.
12. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. т. III-1: Термодинамические свойства низкотемпературной плазмы / отв. ред. А.Н. Старостин. - М.: Физматлит, 2004. - ISBN 5-9221-0550-7: 984-06.
13. Бельков С.А. Основы физики плазмы [Электронный ресурс] / С.А. Бельков. — Электрон. текстовые данные. — Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2002. — 99 с. — 585165-623-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/60860.html> (20.06.2018).
14. Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений: сборник статей: в 3 кн. / Российская академия наук, Институт общей физики им. А. М. Прохорова; под ред. М.Я. Щелева. - Москва: Физматлит, 2017. - Кн. 3. Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - 195 с.: табл., граф., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1737-1. - ISBN 978-5-9221-1740-1 (кн. 3); То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485559> (20.06.2018).
15. Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений: сборник статей: в 3 кн. / Российская академия наук, Институт общей физики им. А. М. Прохорова; под ред. М.Я. Щелева. - Москва: Физматлит, 2017. - Кн. 2. Сверхскоростная электронно-оптическая аппаратура (принципы построения, динамические испытания, методика применения). - 305 с.: табл., граф., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1737-1. - ISBN 978-5-9221-1739-5 (кн. 2); То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485555> (20.06.2018).
16. Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений: сборник статей: в 3 кн. / Российская академия наук, Институт общей физики им. А. М. Прохорова; под ред. М.Я. Щелева. - Москва: Физматлит, 2017. - Кн. 1. Основы, основоположники и последователи пико-фемтосекундной электронно-оптической хронографии. - 380 с.: табл., граф., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1737-1. - ISBN 978-5-9221-1738-8 (кн. 1); То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485548> (20.06.2018).
17. Жукешов А.М. Исследование импульсного разряда высокой мощности [Электронный ресурс] / А.М. Жукешов. — Электрон.

текстовые данные. — Алматы: Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2014. — 158 с. — 978-601-04-0620-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/58662.html> (дата обращения: 25.06.2018)

**б) Дополнительная литература:**

1. Райзер, Юрий Петрович и др. Высоочастотный ёмкостный разряд: Физика. Техника эксперимента. Приложения: [учеб. пособие для вузов по направлению "Техн. физика"] / Райзер, Юрий Петрович и др.; М.Н. Шнейдер, Н.А. Яценко. - М.: Изд-во Моск. физ.-техн. ин-та: Наука. Изд. фирма "Физ.-мат. лит.", 1995. - 310 с.: ил.; 22 см. - Библиогр.: с. 299-310. - ISBN 5-7417-0006-3 (Изд-во Моск. физ. техн. ин-та): 2500-00.
2. Омаров, Омар Алиевич. Физика газового разряда: учеб. пособие для студентов физ. специальностей / Омаров, Омар Алиевич, Ашурбеков, Назир Ашурбекович, Курбанисмаилов, Вали Сулейманович. - Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2001. - 166 с. - 25-00.
3. Цендин Л.Д., Кудрявцев А.А., Смирнов А.С. Физика тлеющего разряда. Учебное пособие. Изд-во «Лань». Санкт-Петербург. 2010. 512 с.
4. Смирнов А.С. Физика газового разряда. Учебное пособие. Изд-во СПбГТУ, СПб. 1997.
5. Омаров, Омар Алиевич. Импульсные разряды в газах высокого давления: учебное пособие для вузов / Омаров, Омар Алиевич. - Махачкала: Юпитер, 2001. - 335 с. - Библиогр.: с. 332-333. - ISBN 5-7895-0027-7: 87-56.
6. Кудрявцев, Анатолий Анатольевич. Физика тлеющего разряда: учеб. пособие / Кудрявцев, Анатолий Анатольевич, Смирнов, Александр Сергеевич. - СПб-б.; М.; Краснодар: Лань, 2010. - 907-28.
7. Браун С. Элементарные процессы в плазме газового разряда: Пер. с англ. /Под ред. Франк-Каменецкого Д. А. - М.: Атомиздат, 1961.
8. Трубецков, Д.И. Лекции по сверхвысоочастотной электронике для физиков. В 2-х т. [Текст]. Т.1 / Д. И. Трубецков, А. Е. Храмов. - М.: Физматлит, 2005. - ISBN 5-9221-0372-5: 270-27.
9. Смирнов Б. М. Физика слабоионизованного газа (в задачах с решениями). - Изд. 2-е. М.: Наука, 1985.
10. Ховатсон А. М. Введение в теорию газового разряда /Пер. с англ. Иванчика И. И. - М.: Атомиздат, 1980.
11. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Автоэмиссионные и взрывные процессы в газовом разряде – Новосибирск: Наука, 1982. - 255 с.
12. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. - М.: Наука, 1991. - 224 с.
13. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 2002.
14. Карнюшин В.М., Солоухин Р.И. Макроскопические и молекулярные процессы в газовых лазерах. - М.: Атомиздат, 1981.
15. Генерация пучков заряженных частиц в диодах со взрывоэмиссионным катодом: монография / А.И. Пушкарев, Ю.И. Исакова, Р.В. Сазонов,



- Г.Е. Холодная. - Москва: Физматлит, 2013. - 238 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1411-0; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457656> (20.06.2018).
16. Савинов, В.П. Физика высокочастотного емкостного разряда: монография / В.П. Савинов. - Москва: Физматлит, 2013. - 308 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1551-3; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457688> (20.06.2018).

### **в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

Даггосуниверситет имеет доступ к комплектам библиотечного фонда основных отечественных и зарубежных академических и отраслевых журналов по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия»:

1. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/> Лицензионный договор № 2693/17 от 02.10.2017г. об оказании услуг по предоставлению доступа. Доступ открыт с 02.10.2017 г. до 02.10.2018 по подписке (доступ будет продлен.)
2. Методы получения наноразмерных материалов / курс лекций и руководство к лабораторным занятиям. Екатеринбург. 2007.
3. [http://www.chem.spbu.ru/chem/Programs/Bak/ultradisp\\_sost\\_SS.pdf](http://www.chem.spbu.ru/chem/Programs/Bak/ultradisp_sost_SS.pdf)
4. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) договор № 55\_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг (доступ продлен до сентября 2019 года).
5. Доступ к электронной библиотеки на <http://elibrary.ru> основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВПО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение).
6. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 от 1.08.2017г. Договор действует в течении 1 года с момента его подписания (доступ будет продлен).
7. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/> (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
8. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
9. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
10. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
11. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
12. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
13. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.
14. Springer. Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP



подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. <http://link.springer.com>. Доступ предоставлен на неограниченный срок

15. SCOPUS <https://www.scopus.com> Доступ предоставлен согласно лицензионному договору №Scopus/73 от 08 августа 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
16. Web of Science - [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com) Доступ предоставлен согласно лицензионному договору № WoS/280 от 01 апреля 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса Договор действует с момента подписания по 30.03.2017г. (*доступ будет продлен*)
17. «Pro Quest Dissertation Theses Global» (PQDT Global). - база данных зарубежных –диссертации. Доступ продлен согласно лицензионному договору № ProQuest/73 от 01 апреля 2017 года <http://search.proquest.com/>. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
18. Sage - мультидисциплинарная полнотекстовая база данных. Доступ продлен на основании лицензионного договора № Sage/73 от 09.01.2017 <http://online.sagepub.com/> Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
19. American Chemical Society. Доступ продлен на основании лицензионного договора №ACS/73 от 09.01.2017 г. [pubs.acs.org](http://pubs.acs.org) Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
20. Science (академическому журналу The American Association for the Advancement of Science (AAAS) <http://www.sciencemag.org/>. Доступ продлен на основании лицензионного договора № 01.08.2017г. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*).