

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ

протокол от  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Рабочая программа дисциплины**

Геофизическая электродинамика

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
Фундаментальная физика

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2021 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02, Геофизическая электродинамика относится к части ОПОП направления подготовки 03.03.02 Физика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)   | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции |   | Наименование оценочного средства              |
|---|---|---|---|
|   | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)   | Результаты обучения по дисциплине   |   |
| ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин | ПК-2.1: Знания:<br>ПК-2.2: Умения:<br>ПК-2.3: Навыки:   | ПК-2.1: Знать основные направления современных научных исследований в области физики околоземного космического пространства в контексте характеристик современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта<br>ПК-2.2: Уметь самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики околоземного космического пространства и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.<br>ПК-2.3: Владеть навыками проведения научных исследований в области физики околоземного космического пространства с учетом характеристик и возможностей современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего | Собеседование и задачи (практические задания) |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  |   | российского и зарубежного опыта.  |   |
| ПК-4: Способен использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов | ПК-4.1: Знания:<br>ПК-4.2: Умения:<br>ПК-4.3: Навыки: | ПК-4.1: Обладать необходимыми профессиональными знаниями в области геофизической электродинамики для реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов<br>ПК-4.2: Уметь свободно применять полученные знания по физике физики околоземного космического пространства для решения научно-инновационных задач, связанных с влиянием солнечного ветра на структуру магнитосферы, с ускорением частиц в магнитосфере, с неустойчивостями плазмы и их ролью в динамике магнитосферы.<br>ПК-4.3: Владеть методами описания плазмы в околоземном космическом пространстве. | Собеседование и задачи (практические задания) |

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

|  |                |
|--|----------------|
|  | <b>очная</b>   |
| <b>Общая трудоемкость</b>  | <b>4</b>       |
| <b>Часов по учебному плану</b>   | <b>144</b>     |
| в том числе  |                |
| <b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>                           |                |
| - занятия лекционного типа   | <b>36</b>      |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | <b>36</b>      |
| - КСР  | <b>2</b>       |
| <b>самостоятельная работа</b>  | <b>34</b>      |
| <b>Промежуточная аттестация</b>  | <b>36</b>      |
|  | <b>экзамен</b> |

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины   | Всего (часы) | в том числе  |                           |                            |       |   |
|---|--------------|--|---------------------------|----------------------------|-------|---|
|   |              | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них |                           |                            |       | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|   |              | Занятия лекционного типа   | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Всего |   |
|   | очная        | очная  | очная                     | очная                      | очная | очная                                     |
| Тема 1 Структура околоземного космического пространства. Магнитосфера Земли. Методы описания            | 12           | 4  | 4                         | 0                          | 8     | 4   |
| Тема 2 Геомагнитное поле и заряженные частицы в околоземном пространстве                                | 12           | 4  | 4                         | 0                          | 8     | 4   |
| Тема 3. Магнитосферная конвекция  | 12           | 4  | 4                         | 0                          | 8     | 4   |
| Тема 4. Магнитосферные циклотронные мазеры  | 12           | 4  | 4                         | 0                          | 8     | 4   |
| Тема 5. Квазилинейная теория космических циклотронных мазеров   | 12           | 4  | 4                         | 0                          | 8     | 4   |
| Тема 6. Нелинейная теория взаимодействия электронов с электромагнитной волной на циклотронном резонансе | 12           | 4  | 4                         | 0                          | 8     | 4   |
| Тема 7. Применения теории магнитосферных циклотронных мазеров   | 16           | 6  | 6                         | 0                          | 12    | 4   |
| Тема 8. Альфвеновские волны и турбулентный альфвеновский погранслой в ионосфере                         | 18           | 6  | 6                         | 0                          | 12    | 6   |
| Аттестация  | 36           |  |                           |                            |       |   |
| КСР   | 2            |  |                           |                            | 2     |   |
| Итого   | 144          | 36   | 36                        | 0                          | 74    | 34  |

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в

выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 8 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение знаний и умений при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

- компетенций:

ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин;  
ПК-4: Способен использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий семинарского типа, групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | Шкала оценивания сформированности компетенций |                     |                       |                          |                          |                          |                          |
|--|---|---------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|  | плохо   | неудовлетворительно | удовлетворительно     | хорошо                   | очень хорошо             | отлично                  | превосходно              |
|  | не зачтено                                    |                     | зачтено               |                          |                          |                          |                          |
| <u>Знания</u>  | Отсутствие знаний теоретическ                 | Уровень знаний ниже | Минимально допустимый | Уровень знаний в объеме, | Уровень знаний в объеме, | Уровень знаний в объеме, | Уровень знаний в объеме, |

|               |  |  |  |  |   |   |   |
|---------------|--|--|--|--|---|---|---|
|               | ого материала.<br><br>Невозможн<br>ость<br>оценить<br>полноту<br>знаний<br>вследствие<br>отказа<br>обучающег<br>ося от<br>ответа                         | минимальн<br>ых<br>требований.<br>Имели<br>место<br>грубые<br>ошибки.  | уровень<br>знаний.<br>Допущено<br>много<br>негрубых<br>ошибки.   | соответствую<br>щем<br>программе<br>подготовки.<br>Допущено<br>несколько<br>негрубых<br>ошибок   | соответствую<br>щем<br>программе<br>подготовки.<br>Допущено<br>несколько<br>несущественн<br>ых ошибок   | соответству<br>ющем<br>программе<br>подготовки,<br>без<br>ошибок.   | превышаю<br>щем<br>программу<br>подготовки.   |
| <u>Умения</u> | Отсутствие<br>минимальн<br>ых умений .<br>Невозможн<br>ость<br>оценить<br>наличие<br>умений<br>вследствие<br>отказа<br>обучающег<br>ося от<br>ответа     | При<br>решении<br>стандартны<br>х задач не<br>продемонст<br>рированы<br>основные<br>умения.<br><br>Имели<br>место<br>грубые<br>ошибки. | Продемонст<br>рированы<br>основные<br>умения.<br>Решены<br>типовые<br>задачи с<br>негрубыми<br>ошибками.<br>Выполнены<br>все задания<br>но не в<br>полном<br>объеме. | Продемонстр<br>ированы все<br>основные<br>умения.<br>Решены все<br>основные<br>задачи с<br>негрубыми<br>ошибками.<br>Выполнены<br>все задания, в<br>полном<br>объеме, но<br>некоторые с<br>недочетами. | Продемонстр<br>ированы все<br>основные<br>умения.<br>Решены все<br>основные<br>задачи.<br>Выполнены<br>все задания, в<br>полном<br>объеме, но<br>некоторые с<br>недочетами. | Продемонст<br>рированы<br>все<br>основные<br>умения,<br>решены все<br>основные<br>задачи с<br>отдельными<br>несуществе<br>нными<br>недочетами,<br>выполнены<br>все задания<br>в полном<br>объеме. | Продемонст<br>рированы<br>все<br>основные<br>умения.<br>Решены все<br>основные<br>задачи.<br>Выполнены<br>все задания,<br>в полном<br>объеме без<br>недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие<br>владения<br>материалом<br>.<br>Невозможн<br>ость<br>оценить<br>наличие<br>навыков<br>вследствие<br>отказа<br>обучающег<br>ося от<br>ответа | При<br>решении<br>стандартны<br>х задач не<br>продемонст<br>рированы<br>базовые<br>навыки.<br><br>Имели<br>место<br>грубые<br>ошибки.  | Имеется<br>минимальн<br>ый<br><br>набор<br>навыков для<br>решения<br>стандартны<br>х задач с<br>некоторыми<br>недочетами   | Продемонстр<br>ированы<br>базовые<br>навыки<br><br>при решении<br>стандартных<br>задач с<br>некоторыми<br>недочетами   | Продемонстр<br>ированы<br>базовые<br>навыки<br><br>при решении<br>стандартных<br>задач без<br>ошибок и<br>недочетов.  | Продемонст<br>рированы<br>навыки<br><br>при<br>решении<br>нестандартн<br>ых задач<br>без ошибок<br>и<br>недочетов.  | Продемонст<br>рирован<br>творческий<br>подход к<br>решению<br>нестандартн<br>ых задач   |

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

| Оценка |             | Уровень подготовки   |
|--------|-------------|--|
|        | Превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим |

|            |                     |  |
|------------|---------------------|--|
| зачтено    |                     | компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой   |
|            | Отлично             | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»                     |
|            | Очень хорошо        | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»           |
|            | Хорошо              | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»                       |
|            | Удовлетворительно   | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | Неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»  |
|            | Плохо               | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»  |

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

(согласно оценочным средствам табл.2)

### Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Магнитогидродинамическое описание плазмы.
2. Теорема вмороженности плазмы в магнитное поле.
3. Магнитное число Рейнольдса. Уравнение диффузии магнитного поля.
4. Дрейфовое описание движения заряженных частиц в неоднородном магнитном поле. Магнитный и электрический дрейф.
5. Адиабатические инварианты движения заряженных частиц в геомагнитном поле.
6. Геомагнитная ловушка и конус потерь.
7. Магнитосферная конвекция. Ускорение заряженных частиц в процессе конвекции.
8. Плазмосфера.
9. Овал полярных сияний.
10. Альфвеновские волны и альфвеновские вихри.
11. Импедансное граничное условие для МГД волн на ионосферной подложке.
12. Ионосферный альфвеновский резонатор.
13. Механизм возбуждения альфвеновских вихрей в ионосфере.
14. Явление убегающих электронов.
15. Свистовые волны.
16. Циклотронный резонанс электронов со свистовыми волнами.

17. Движение электронов, находящихся в циклотронном резонансе с монохроматической волной (вистлером). Фазовая плоскость и частота осцилляций электрона в потенциале волны.
18. То же, что и в п.17, в неоднородном магнитном поле; эффект ускорения электронов.
19. Критерий и инкремент циклотронной неустойчивости в случае двухтемпературной функции распределения электронов.
20. Квазилинейная теория магнитосферного циклотронного мазера.
21. Эволюция функции распределения электронов при развитии циклотронной неустойчивости в геомагнитной ловушке.
22. Двухуровневое приближение в теории циклотронной неустойчивости. Релаксационные колебания.
23. Магнитосферная лампа обратной волны.

**Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

Задача 1.1

Найти среднее ускорение заряженной частицы при движении в нейтральном токовом слое в присутствии слабого постоянного электрического поля.

Задача 1.2

Преобразовать выражение для инкремента кинетической циклотронной неустойчивости для произвольной функции распределения (ФР) к виду, аналогичному формуле для двухтемпературной максвелловской ФР.

Задача 1.3

Найти порог возбуждения и инкремент нарастания волн в магнитосферном мазере в режиме лампы обратной волны.

Задача 2.1

Исследовать устойчивость стационарной генерации в циклотронном мазере в трехуровневом приближении.

Задача 2.2

Обобщить критерий захвата электрона полем свистовой волны в неоднородном магнитном поле на случай волнового пакета с медленно изменяющейся частотой.

Задача 2.3

Найти и проанализировать вертикальный профиль «волнового сопротивления» (отношения электрического поля к магнитному) в ионосферном альфвеновском резонаторе на частотах максимума и минимума коэффициента отражения.

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

а) основная литература:

- 1) "Введение в физику плазмы [Электронный ресурс] : Учеб. пособие по курсу "Фи-зика плазмы" / Чирков А.Ю. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006." -



<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5703828279.html>

- 2) Общая и экологическая геофизика [Электронный ресурс] / Трухин В. И., Показеев К. В., Куницын В. Е. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922105418.html>
- 3) Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике[Электронный ресурс] / А.Г. Ягола, Ван Янфей, И.Э. Степанова, В.Н. Титаренко - М. : Лаборатория знаний, . - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785001014966.html>

б) дополнительная литература:

- 1) А.Г. Куликовский, Г.А. Любимов. Магнитная гидродинамика, М.:1962.-246 с.-6 экз.
- 2) К. Лонгмайр, Физика плазмы - М.: Атомиздат, 1966. - 341 с -5 экз.
- 3) Плазменная гелиогеофизика (в 2-х т.) / Ред. Л. М. Зеленый. М.: Физматлит, 2008. деканат ВШОПФ - 10 экз.
- 4) В. Ю. Трахтенгерц, М. Дж. Райкрофт, Свистовые и альфвеновские циклотронные мазеры в космосе, М.:Физматлит, 2011.; деканат ВШОПФ - 15экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

- 1) А. Г. Демехов. Страничка курса "Геофизическая электродинамика" (<http://aurora.appl.sci-nnov.ru/home/andrei/teach/ged.html> )
- 2) А. Г. Демехов. Задачи по курсу "Геофизическая электродинамика" (<http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2010/66.pdf> )
- 3) A. Demekhov, Cyclotron resonant interactions in space plasmas: generation of radiation and particle acceleration (<https://astrosoma.wikispaces.com/2014+Lecture+plan+Demikhov>), lectures given at School of Modern Astrophysics 2014
- 4) Иллюстрации: Схема земной магнитосферы (<http://galspace.spb.ru/index19.html> )
- 5) Курсы лекций
  - Основы физики космической плазмы (СПбГУ, [http://geo.phys.spbu.ru/Education\\_rus/EDUCATION\\_BACHELOR/SolarPhysics2.html](http://geo.phys.spbu.ru/Education_rus/EDUCATION_BACHELOR/SolarPhysics2.html) )
  - Основы физики солнца (СПбГУ, [http://geo.phys.spbu.ru/Education\\_rus/EDUCATION\\_BACHELOR/SolarPhysics3.html](http://geo.phys.spbu.ru/Education_rus/EDUCATION_BACHELOR/SolarPhysics3.html) )
  - Физика магнитосферы (СПбГУ, [http://geo.phys.spbu.ru/Education\\_rus/EDUCATION\\_MASTER/MagSpher\\_PhysMagnitSpher\\_Sem.html](http://geo.phys.spbu.ru/Education_rus/EDUCATION_MASTER/MagSpher_PhysMagnitSpher_Sem.html) )
  - Магнитосферные возмущения (СПбГУ, [http://geo.phys.spbu.ru/Education\\_rus/EDUCATION\\_MASTER/MagSpher\\_MagnVozm\\_Serg.html](http://geo.phys.spbu.ru/Education_rus/EDUCATION_MASTER/MagSpher_MagnVozm_Serg.html))
  - Физика высокоширотной ионосферы и полярные сияния (СПбГУ, [http://geo.phys.spbu.ru/Education\\_rus/EDUCATION\\_MASTER/MagSpher\\_Ionosph\\_Kot.html](http://geo.phys.spbu.ru/Education_rus/EDUCATION_MASTER/MagSpher_Ionosph_Kot.html))

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты

имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): А. Г. Демехов

Заведующий кафедрой:

Программа одобрена на заседании методической комиссии  
ВШОПФ от 30.06.2021, протокол № 3.