

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Полярный геофизический институт»  
(ПГИ)**

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ПГИ  
д.ф.-м.н. Б.В. Козелов



« 03 » октября 2016г.

Протокол Ученого совета  
№ 6 от « 30 » сентября 2016 г.

**Рабочая программа по дисциплине**

**«Распространение и генерация низкочастотных электромагнитных волн  
в околоземном космическом пространстве»**

подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по направлению подготовки кадров высшей квалификации

**05.06.01 «Науки о Земле»**

(профиль 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы)

Квалификация (степень)

**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения

**Очная, заочная**

Апатиты

2016

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Распространение и генерация низкочастотных электромагнитных волн в околоземном космическом пространстве» относится к вариативной части ОПОП (дисциплина по выбору аспиранта) и осваивается в течение третьего, четвертого и пятого семестров второго и третьего года аспирантуры по направлению подготовки 05.06.01 «Науки о Земле». Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные знания и позволяет аспиранту получить углубленные знания и навыки для успешной профессиональной деятельности.

### Целями освоения дисциплины являются:

формирование у аспирантов современного представления об основных физических явлениях в околоземном космическом пространстве и методах их описания, ознакомление аспирантов с практическими применениями физических наук в этой области, а также формирование у аспирантов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 05.06.01 «Науки о Земле».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1	<p><i>З1 (ПК-1)</i> Знать основные направления современных научных исследований в области физики волновых явлений в магнитосфере и ионосфере в контексте характеристик современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</p> <p><i>У1 (ПК-1)</i> Уметь самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики волновых явлений в магнитосфере и ионосфере и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.</p> <p><i>В1 (ПК-1)</i> Владеть навыками проведения научных исследований в области физики волновых явлений в магнитосфере и ионосфере с учетом характеристик и возможностей современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.</p>
ПК-2	<p><i>У2 (ПК-2)</i> Уметь свободно применять полученные знания по физике волновых явлений в магнитосфере и ионосфере для решения научно-инновационных задач, связанных с происхождением и диагностикой различных видов электромагнитных сигналов в околоземном космическом пространстве, с неустойчивостями плазмы и их ролью в динамике заряженных частиц в магнитосфере и ионосфере.</p> <p><i>В2 (ПК-2)</i> Владеть методами описания волновых явлений в магнитосфере и ионосфере.</p>

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 47 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (22 часа занятия лекционного типа, 6 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 2 часа групповые консультации, 17 часов мероприятия промежуточной аттестации (зачет)), 25 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	Консультации	Всего	
<u>Тема 1</u> Методы описания волн в плазме	6	3				3	3
<u>Тема 2.</u> Основные типы волн в околоземном пространстве	6	3				3	3
<u>Тема 3.</u> Магнитосферные циклотронные мазеры	6	3				3	3
<u>Тема 4.</u> Квазилинейная теория космических циклотронных мазеров	9	3	2			5	4
<u>Тема 5.</u> Нелинейная теория взаимодействия электронов с электромагнитной волной на циклотронном резонансе	9	3	2			5	4
<u>Тема 6.</u> Применения теории магнитосферных циклотронных мазеров	6	3				3	3
<u>Тема 7.</u> Распространение волн в ионосфере	6	2	1			3	3
<u>Тема 8.</u> Альфвеновские волны и турбулентный альфвеновский погранслой в ионосфере	5	2	1			3	2
<b>Консультация</b>	2				2	2	
<b>Промежуточная аттестация зачет</b>	17					17	
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>22</b>	<b>6</b>		<b>2</b>	<b>47</b>	<b>25</b>

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на зачете.

#### **4. Образовательные технологии**

Занятия по дисциплине проходят в форме лекций и практических занятий, на которых разбирается решение задач, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы.

При изучении курса используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерное моделирование, разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Предусматривается участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций.

#### **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная проработка лекционного и дополнительного материала, решение домашних заданий с последующей выборочной проверкой навыков решения задач.

Вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

- 1) Дисперсионное соотношение для холодной плазмы.
- 2) Свойства основных волновых мод в магнитосферной плазме.
- 3) Методы описания распространения волн в плазме.
- 4) Свистовые волны.
- 5) Циклотронный резонанс электронов со свистовыми волнами.
- 6) Движение электронов, находящихся в циклотронном резонансе с монохроматической волной (вистлером). Фазовая плоскость и частота осцилляций электрона в потенциале волны.
- 7) То же, что и в п.12, в неоднородном магнитном поле; эффект ускорения электронов.
- 8) Критерий и инкремент циклотронной неустойчивости в случае двухтемпературной функции распределения электронов.
- 9) Квазилинейная теория магнитосферного циклотронного мазера.
- 10) Эволюция функции распределения электронов при развитии циклотронной неустойчивости в геомагнитной ловушке.
- 11) Двухуровневое приближение в теории циклотронной неустойчивости. Релаксационные колебания.
- 12) Магнитосферная лампа обратной волны.
- 13) Альфвеновские волны и альфвеновские вихри.
- 14) Импедансное граничное условие для МГД волн на ионосферной подложке.

- 15) Ионосферный альфвеновский резонатор.
- 16) Механизм возбуждения альфвеновских вихрей в ионосфере.

## **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

ПК-1: способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта

ПК-2 – способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

### **6.2. Описание шкал оценивания**

Итоговый контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения аспирантами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания аспирантами изученного материала;
- способности аспирантов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме. Устная часть зачета заключается в ответе аспирантом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые аспирант должен дать краткий ответ. Практическая часть зачета предусматривает решение одной задачи по разделу курса, отличному от освещенных при ответе на теоретические вопросы.

### **Критерии оценки**

Отметка «зачтено» ставится аспирантам, успешно выполнившим в полном объеме задание научного исследования, если продемонстрированы хотя бы:

- в целом успешное применение навыков поиска и критического анализа информации по тематике проводимых исследований;
- в целом успешное использование умений: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования;
- в целом успешные знания современных способов использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности;
- в целом успешное применение навыков: ориентации в источниках и научной литературе; логики и терминологии научного исследования
- в целом успешное применение умений: по обоснованию актуальности, новизны, теоретической и практической значимости исследования, определения методологии исследований, анализа данных и делать достоверные выводы, оппонирования и

рецензирования научных работ.

- в целом успешные знания: принципов построения научного исследования, требований к оформлению библиографического списка и ссылок в исследовании либо более высокий уровень знаний, умений и владений.

Отметка «не зачтено» ставится аспиранту, не выполнившему в полном объеме задание научного исследования, если он продемонстрировал:

- фрагментарное применение навыков поиска и критического анализа информации по тематике проводимых исследований;
- фрагментарное использование умений выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования;
- фрагментарное знание современных способов использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности,
- фрагментарное применение навыков: ориентации в источниках и научной литературе; логики и терминологии научного исследования;
- фрагментарное использование умений: по обоснованию актуальности, новизны, теоретической и практической значимости исследования, определения методологии исследований, анализа данных и делать достоверные выводы, оппонирования и рецензирования научных работ;
- фрагментарное знание: принципов построения научного исследования, требований к оформлению библиографического списка и ссылок в исследовании; либо вовсе не продемонстрировал соответствующие знания и умения.

6.3. Процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:**

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оценки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

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

1. Дисперсионное соотношение для холодной плазмы.
2. Свойства основных волновых мод в магнитосферной плазме.

3. Методы описания распространения волн в плазме.
4. Свистовые волны.
5. Циклотронный резонанс электронов со свистовыми волнами.
6. Движение электронов, находящихся в циклотронном резонансе с монохроматической волной (вистлером). Фазовая плоскость и частота осцилляций электрона в потенциале волны.
7. То же, что и в п.11, в неоднородном магнитном поле; эффект ускорения электронов.
8. Критерий и инкремент циклотронной неустойчивости в случае двухтемпературной функции распределения электронов.
9. Квазилинейная теория магнитосферного циклотронного мазера.
10. Эволюция функции распределения электронов при развитии циклотронной неустойчивости в геомагнитной ловушке.
11. Двухуровневое приближение в теории циклотронной неустойчивости. Релаксационные колебания.
12. Магнитосферная лампа обратной волны.
13. Альфвеновские волны и альфвеновские вихри.
14. Импедансное граничное условие для МГД волн на ионосферной подложке.
15. Ионосферный альфвеновский резонатор.
16. Механизм возбуждения альфвеновских вихрей в ионосфере.

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

Для оценки сформированности компетенции ПК-1: способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта

Задача 1.1

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.

Для оценки сформированности компетенции ПК-2 – способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

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.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

- 1) С.-И. Акасофу, С. Чепмен. Солнечно–земная физика, ч. 2, М.: Мир, 1975.
- 2) Кадомцев Б.Б. Коллективные колебания в плазме. - М.: Наука, 1988.
- 3) Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. - М.: Наука, 1967.
- 4) Л. Лайонс, Д. Уильямс. Физика магнитосферы, М: Мир, 1987.
- 5) П.А. Беспалов, В.Ю. Трахтенгерц. Альфвеновские мазеры, Изд. ИПФ АН, Горький, 1986. (<http://ipfran.ru/biblio/img/am.pdf>)
- 6) В. Ю. Трахтенгерц, М. Дж. Райкрофт, Свистовые и альфвеновские циклотронные мазеры в космосе, М.:Физматлит, 2011.

### **б) дополнительная литература:**

- 1) А. Нишида, Геомагнитный диагноз магнитосферы, М.: Мир, 1980.
- 2) Михайловский А.Б. Теория плазменных неустойчивостей. В 2-х т. - М.: Атомиздат, 1975.
- 3) Железняков В.В. Электромагнитные волны в космической плазме. Генерация и распространение. – М.: Наука, 1977.
- 4) Альперт Я.Л. Распространение низкочастотных электромагнитных волн в волноводе земля – ионосфера. – М,1967.
- 5) Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. Наука, 1972.
- 6) Плазменная гелиогеофизика (в 2-х т.) / Ред. Л. М. Зеленый. М.: Физматлит, 2008.
- 7) Яковлев О.З. Распространение радиоволн в солнечной системе. – М.: Сов. радио. 1974.
- 8) Гульельми А.В. МГД-волны в околоземной плазме. М.: Наука, 1979.
- 9) Гульельми А.В., Троицкая ВА Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука, 1973.
- 10) В.Ю.Трахтенгерц, А.Г.Демехов. Космические циклотронные мазеры // Природа. 2002. Вып.4. С.25-31.

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

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

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

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 05.06.01 «Науки о Земле».

Автор \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н., доц. А. Г. Демехов

Программа одобрена на заседании Ученого совета ПГИ  
от « 30 » сентября 2016 года, протокол № 6.

Ученый секретарь \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н. К.Г. Орлов