

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Трудового Красного Знамени  
Институт солнечно-земной физики  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:

Врио директора ИСЗФ СО РАН

чл.–корр. РАН \_\_\_\_\_ А.В. Медведев

«12» марта 2024 г.

## **Рабочая программа дисциплины**

### **2.1.6 Физика ионосферы**

**Научная специальность 1.6.18. Науки об атмосфере и климате**

Иркутск 2024

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал  
доктор физико-математических наук

Тащилин А.В.

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

Дисциплина «Физика ионосферы» входит в образовательный компонент основной профессиональной образовательной программы по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Дисциплина является обязательной для обучающихся в аспирантуре по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Знания и умения, приобретаемые аспирантами после изучения дисциплины, будут использоваться для решения научных задач, и направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена и к дальнейшей научной работе.

## **2. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины «Физика ионосферы» является получение фундаментальных знаний о верхней атмосфере Земли и ее основной части – ионосфере – и о возможности их использования в процессе дальнейшего обучения, при прохождении практик, написания научных работ, в своей научной и педагогической деятельности.

Задачами дисциплины «Физика ионосферы» является:

- Получение и освоение современных знаний о структуре околоземного космического пространства, о физических процессах, контролирующих состояние ионосферы и атмосферы Земли и их изменчивость.
- Ознакомление с методами математического моделирования процессов в верхней атмосфере и ионосфере Земли.
- Привитие навыков выполнения инженерных расчетов на компьютере основных характеристик нейтральной атмосферы, ионосферы и плазмосферы.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)**

### **Знать:**

- общие сведения о строении верхней атмосферы Земли, методах наблюдений за ее состоянием и о значении геофизических исследований в проблеме солнечно-земных связей;
- основные характеристики физических процессов, контролирующих состояние нейтральной атмосферы, ионосферы и плазмосферы;
- общие сведения об ионосферных слоях, механизмах их образования и пространственно-временных вариациях;
- основные теоретические подходы к описанию ионосферных процессов и основы математического моделирования ионосферы, плазмосферы и верхней атмосферы.

### **Уметь:**

- количественно оценивать основные характеристики верхней атмосферы и ионосферной плазмы;
- выполнять простейшую обработку данных наблюдений;
- использовать математические знания для решения задач физики верхней атмосферы, ионосферы, плазмосферы.

**Владеть:**

- основными математическими методами решения физических задач;
- методами обработки экспериментальных данных;
- навыками работы с основными измерительными приборами и пакетами численной обработки экспериментальных данных.

**4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы/ 108 часов.

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Всего часов / зачетных единиц</b>
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>36/1</b>
В том числе:	
Лекции	<b>36/1</b>
Семинары	
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>72/2</b>
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	зачет
<b>Контактная работа (всего)</b>	<b>36/1</b>
<b>Общая трудоёмкость (часы/зачетные единицы)</b>	<b>108/3</b>

**5. Содержание дисциплины (модуля)**

**5.1. Содержание разделов и темы дисциплины (модуля)**

**Раздел 1. Структура верхней атмосферы**

Тема 1. Общее строение верхней атмосферы. Термосфера и ионосфера. Энергетический баланс в термосфере. Турбопауза. Гидростатическое равновесие. Убегание частиц из атмосферы.

Тема 2. Слоистая структура ионосферы. Региональные и временные (суточные, сезонные, гелиоциклические) вариации основных параметров ионосферных слоев. Ионосферные аномалии.

**Раздел 2. Основные физические процессы в ионосфере**

Тема 1. Ионизирующее излучение Солнца. Ионизация нейтральной атмосферы. Ионизационная функция и теория простого слоя Чепмена. Фотоэлектроны.

Тема 2. Уравнение баланса ионизации. Фотохимическое равновесие. Типы химических реакций в ионосфере.

Тема 3. Диффузия в ионосфере. Амбиполярное приближение.

### Раздел 3. Образование ионосферных слоев

Тема 1. Нижняя ионосфера. Формирование слоев D, E, F1. Образование слоя F2 в среднеширотной ионосфере.

Тема 2. Тепловая структура среднеширотной ионосферы.

### Раздел 4. Взаимодействие ионосферы с плазмосферой

Тема 1. Внешняя ионосфера. Роль конфигурации геомагнитного поля в физике ионосферы. Концепция замкнутых и разомкнутых геомагнитных силовых линий.

Тема 2. Перенос плазмы между геомагнитно сопряженными ионосферами. Плазмосферный резервуар. Заполнение плазмосферного резервуара ионосферной плазмой. Полярный ветер.

### Раздел 5. Электродинамика ионосферы

Тема 1. Проводимость ионосферной плазмы. Электродинамические дрейфы в ионосфере. Принципы динамо теории и генерация токов в ионосфере.

Тема 2. Особенности ионосферных процессов в высоких и экваториальных широтах. Геофизическое районирование

### Раздел 6. Нерегулярные явления в ионосфере

Тема 1. Ионосферные возмущения: классификация, морфология, механизмы.

Тема 2. Реакция ионосферы на солнечные вспышки и магнитные бури.

#### 5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия		СРС	Форма контроля
			Лекции	Практические занятия		
1	Структура верхней атмосферы	16	4		12	зачет
2	Основные физические процессы в ионосфере	18	8		10	зачет
3	Образование ионосферных слоев	24	8		16	зачет
4	Взаимодействие ионосферы с плазмосферой	16	4		12	зачет
5	Электродинамика ионосферы	16	4		12	зачет
6	Нерегулярные явления в ионосфере	18	8		10	зачет
<b>Итого (часы)</b>		<b>108</b>	<b>36</b>		<b>72</b>	
<b>Итого (з.е.)</b>		<b>3</b>	<b>1</b>		<b>2</b>	

#### 5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и практик	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1	Исследовательская практика	Разделы 1-6

#### 5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	Структура верхней атмосферы	лекция	4	устный опрос

2.	Основные физические процессы в ионосфере	лекция	8	устный опрос
3.	Образование ионосферных слоев	лекция	8	устный опрос
4.	Взаимодействие ионосферы с плазмосферой	лекция	4	устный опрос
5.	Электродинамика ионосферы	лекция	4	устный опрос
6.	Нерегулярные явления в ионосфере	лекция	8	устный опрос

### 5.5. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

Данный вид занятий не предусмотрен

### 5.6. Перечень и содержание самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Рекомендуемая литература	Всего часов
1	Структура верхней атмосферы	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме.	основная литература: 1,2,3,8,10 дополнительная литература: 2,6	12
2	Основные физические процессы в ионосфере	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме.	основная литература: 1,2,3,6,7,8,10 дополнительная литература: 1,2,5,6,7	10
3	Образование ионосферных слоев	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме.	основная литература: 1,2,3,6,7,8,10 дополнительная литература: 1,2,3,5,6,7	16
4	Взаимодействие ионосферы с плазмосферой	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме.	основная литература: 3,6,10 дополнительная литература: 2,3,5	12
5	Электродинамика ионосферы	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме.	основная литература: 1,3,8,10 дополнительная литература: 2,4,5	12
6	Нерегулярные явления в ионосфере	Конспектирование и выделение главных тезисов по теме, формулирование проблемных вопросов по теме.	основная литература: 1,3,5,8,10 дополнительная литература: 1,2,4,6	10

### Методические указания по организации самостоятельной работы

Каждый вид самостоятельной работы направлен на закрепление и углубление знаний, полученных во время аудиторных занятий.

#### 1) Работа с конспектами лекций

Аспирант повторяет содержание лекции, используя материалы конспекта, в случае необходимости дополняет их информацией из рекомендуемой и дополнительной литературы.

#### 2) Работа с литературой

Аспирант осваивает материал, предназначенный для самостоятельного изучения, используя рекомендуемую и дополнительную литературу, составляет подробный конспект темы, анализирует, формулирует проблемные вопросы по теме

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 6.1. Основная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Солнечно-земная физика : ч.1 / С. И. Акасофу, С. Чепмен ; Пер. с англ. под ред. Г.М. Никольского . - М. : Мир, 1974. - 384 с	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
2	Бауэр З. Физика планетных ионосфер. М.: Мир, 1976.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
3	Брюнелли В.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
4	4. Брасье Г., Соломон С. Аэрномия средней атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1987.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
5	Жеребцов Г.А., Мизун Ю.Г., Мингалев В.С. Физические процессы в полярной ионосфере. М.: Наука, 1988.	3
6	Кринберг И.А., Тащилин А.В. Ионосфера и плазмосфера. М.: Наука, 1984.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
7	Ратклифф Д. Введение в физику ионосферы и магнитосферы. М.: Мир, 1975.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
8	Ришбет Г., Гарриот О. Введение в физику ионосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
9	Уиттен Р., Поппов И. Основы аэрномии. Л.: Гидрометеиздат, 1977.	2
10	Харгривс Дж.К. Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи. Л.: Гидрометеиздат, 1982.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ

### 6.2. Дополнительная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Маров М.Я., Колесниченко А.С. Введение в планетную аэрномию. М., Наука, 1987.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
2	Brekke A. Physics of the Upper Polar Atmosphere. 2th ed. Chichester: Springer Praxis, 2013.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
3	Hunsucker R.D., Hargreaves J.K. The high-latitudes	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ):

	ionosphere. Cambridge University Press, 2003.	неограниченный доступ
4	Kelley M.C. The Earth's ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics. 2th ed. New York: Academic Press, 2009.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
5	Schunk R.W., Nagy A.F. Ionospheres: Physics, Plasma physics, and Chemistry. 2th ed. Cambridge University Press, 2009.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
6	Prolls G. Physics of the earth's space environment. Springer-Verlag Berlin, 2004.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
7	Популярная аэрномия / А.Д. Данилов. Л. Гидрометеоиздат, 1978.	5

### **6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:**

- База данных наблюдений отдела физики околоземного космического пространства ИСЗФ СО РАН (<http://dep1.iszf.irk.ru/>)
- Архив наблюдений геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (<http://atmos.iszf.irk.ru/>)
- Научная база данных Scopus (<https://www.scopus.com>)
- Научные данные (материалы) издательства Cambridge University Press (<http://www.cambridge.org>)

### **6.4. Информационные, информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:**

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН <http://irbis.iszf.irk.ru>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru/>
- Журналы Американского физического общества <http://publish.aps.org/>
- научная электронная библиотека + Российский Индекс Научного Цитирования <https://elibrary.ru>
- Международный каталог и поисковая система по публикациям в области астрофизики [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)
- Международная система индексирования публикаций Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Научные ресурсы зарубежного издательства Elsevier B.V. – Freedom Collection



(<https://www.elsevier.com>)

## **6.5. Программное обеспечение**

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- VideoMost Proton

## **7. Образовательные технологии**

В учебном процессе используются как активные, так интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование аспирантами выступлений друг друга.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- конспектирование;

При необходимости, в процессе работы над заданием, аспирант может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

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

Для обучения имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

### **9. Контроль качества освоения программы аспирантуры**

**Цель контроля** – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

#### **Планируемые результаты освоения дисциплины**

##### **Знать:**

- современные представления о структуре верхней атмосферы в целом, об основных ее областях, включая термосферу, ионосферу и плазмосферу
- современные методы исследования ионосферы и её поведения в различных геофизических условиях
- основные теоретические представления о строении атмосферы, ионосферы и плазмосферы.

##### **Уметь**

- применить современные знания о строении и свойствах верхней атмосферы для понимания геофизических явлений в околоземном космическом пространстве
- проводить качественный анализ ионосферных данных на основе теоретических и эмпирических моделей
- количественно оценить влияние того или иного процесса на общую картину поведения ионосферы.

##### **Владеть**

- базовой терминологией для описания характеристик атмосферы, ионосферы и плазмосферы
- методами обработки экспериментальных данных
- навыками работы с научной информацией в области ионосферных исследований
- основными математическими методами решения задач физики верхней атмосферы, ионосферы и плазмосферы

#### **Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости аспиранта, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как устный групповой опрос для повторения и закрепления главных тезисов тем, формулирования и обсуждения проблемных вопросов. После освоения материала раздела учащиеся готовят коллективное сообщение по освещению основных и проблемных вопросов.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

Объектами оценивания выступают:

- Учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- Степень усвоения теоретических знаний.

### Оценочные средства для оценки текущей успеваемости аспирантов

#### Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине

Раздел/Тема	ОС	Содержание задания
Раздел 1. Структура верхней атмосферы	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу
Раздел 2. Основные физические процессы в ионосфере	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу
Раздел 3. Образование ионосферных слоев	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.
Раздел 4. Взаимодействие ионосферы с плазмосферой	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.
Раздел 5. Электродинамика ионосферы	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.
Раздел 6. Нерегулярные явления в ионосфере	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.

#### Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине осуществляется по окончании дисциплины в виде **зачета** в соответствии с графиком учебного процесса. Проверка наличия конспектов по дисциплине является допуском к зачету. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

#### Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

##### Вопросы для зачета

#### Раздел 1. Структура верхней атмосферы

1. Общее строение верхней атмосферы. Атмосферные слои, терминология.
2. Гидростатическое равновесие.
3. Атмосферные ветры. Геоострофический ветер. Термический ветер.
4. Энергетический баланс в атмосферных слоях.
5. Вертикальное строение ионосферы.
6. Пространственно-временная структура ионосферы.
7. Высокоширотная ионосфера.

## 8. Экваториальная ионосфера.

### Раздел 2. Основные физические процессы в ионосфере

1. Химические реакции в ионосферной плазме.
2. Фотохимическое равновесие и формирование нижней ионосферы (слои D, E, F1).
3. Амбиполярная диффузия.
3. Диффузия ионосферной плазмы и образование среднеширотного F2-слоя.
4. Скорость фотоионизации в однородной атмосфере. Теория простого слоя.
5. Корпускулярная ионизация и авроральный овал.

### Раздел 3. Образование ионосферных слоев.

1. Образование D – области ионосферы.
2. Образование E и F1-слоев ионосферы.
3. Образование F2-области ионосферы.
4. Эффективные коэффициенты рекомбинации в ионосферных слоях.

### Раздел 4. Взаимодействие ионосферы с плазмосферой

1. Внешняя ионосфера и взаимодействие с плазмосферой.
2. Перенос плазмы между геомагнитно сопряженными ионосферами. Плазмосферный резервуар.
3. Заполнение плазмосферного резервуара ионосферной плазмой.
4. Полярный ветер.

### Раздел 5. Электродинамика ионосферы

1. Проводимость ионосферной плазмы.
2. Ионосферное динамо. Генерация электрических полей в ионосфере.
3. Роль дрейфов ионосферной плазмы в ионосфере высоких и экваториальных широт.

### Раздел 6. Нерегулярные явления в ионосфере

1. Типы ионосферных возмущений.
2. Спорадический E слой. Морфология и механизмы образования.
3. Реакция ионосферы на солнечные вспышки.
4. Ионосферные бури.

## Задания к зачету

### Раздел 1. Структура верхней атмосферы

1. Оцените полную массу атмосферы Земли и сравните ее с массой Земли. Средняя плотность Земли  $5 \text{ г/см}^3$ , средний радиус Земли 6300 км.
2. Покажите, что если шкала высот атмосферы линейно зависит от высоты  $h$

$$H(z) = H_0 + \beta h,$$

то высотный профиль давления будет иметь вид

$$P(h) = P_0 \left( \frac{H(h)}{H_0} \right)^{-1/\beta}.$$

3. Укажите направление геострофического ветра над Иркутском, если центр антициклона расположен в Якутии.

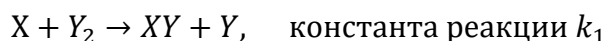
### Раздел 2. Основные физические процессы в ионосфере

1. Получите уравнение для определения уровня перехода от области фотохимического равновесия к диффузионному равновесию.
2. Характерное время жизни атома X в бинарной реакции равно 15 минутам. Вычислите долю атомов X, которая останется после 45 мин.
3. Найдите максимальное значение скорости фотоионизации, высотный профиль которой имеет вид:

$$q(z) = q_0 \exp(1 - z - \sec \chi \cdot \exp(-z)).$$

### Раздел 3. Образование ионосферных слоев

1. Концентрация ХУ в атмосфере определяется следующими реакциями



Выведите уравнение, которое связывает равновесные концентрации  $XY$  и  $Y_2$ .

2. Может ли в дневных условиях F2 слой образоваться ниже 200 км?

3. Вычислите величину электронной концентрации, если значения альфа и бета слоев Чепмена равны соответственно  $3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$  и  $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ .

#### Раздел 4. Взаимодействие ионосферы с плазмосферой

1. Во сколько раз объем дипольной силовой трубки с  $L = 5$  больше объема трубки с  $L = 2$  ?

2. Во сколько раз время заполнения силовой трубки с  $L = 5$  больше времени заполнения трубки с  $L = 2$  ?

#### Раздел 5. Электродинамика ионосферы

1. Плотность тока в ионосфере определяется выражением

$$\vec{j} = \sigma_0 (\vec{E} \cdot \vec{b}) \vec{b} + \sigma_P \vec{b} \times (\vec{E} \times \vec{b}) + \sigma_H (\vec{b} \times \vec{E}),$$

где  $\sigma_0$ ,  $\sigma_P$ ,  $\sigma_H$  - продольная, педерсеновская и холловская проводимости;  $\vec{E}$  - вектор электрического поля;  $\vec{b}$  - единичный вектор магнитного поля. Выведите выражение для тензора проводимости в дипольной системе координат  $(\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3)$ , полагая

$$\vec{E} = E_1 \vec{e}_1 + E_2 \vec{e}_2 + E_3 \vec{e}_3; \quad \vec{b} = -\vec{e}_2.$$

#### Раздел 6. Нерегулярные явления в ионосфере

1. Объясните поведение F2-слоя ионосферы при усилении меридионального нейтрального ветра направленного к полюсу и к экватору.

#### Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если основной материал усвоен, аспирант приобрел необходимые знания и умения;
- оценка «не зачтено» - если основной материал усвоен недостаточно, аспирант не приобрел необходимых знаний и умений