

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

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ИСЗФ СО РАН  
*А.П. Потехин*  
« 26 » *май* 2014 г.



**Программа  
вступительного экзамена в аспирантуру**

Направление подготовки  
**03.06.01 «Физика и астрономия»**

Направленность (профиль)  
**Физика атмосферы и гидросферы**

Квалификация (степень)  
**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения  
**Очная, заочная**

Иркутск 2014

## **I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Программа составлена в соответствии с приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19.11.2013 г. № 1250 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)» и на основании письма Министерства образования и науки Российской Федерации от 22.06.2011 г. «О формировании основных образовательных программ послевузовского профессионального образования» на основе программы, разработанной экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации по физике.

В основу программы кандидатского экзамена по профилю «Физика атмосферы и гидросферы» направления подготовки 05.06.01 «Науки о земле» положены теория колебаний, теория волн, статистическая радиофизика, принципы усиления, генерации и управления сигналами, антенны и распространение радиоволн, выделение сигналов на фоне помех. Настоящая программа охватывает следующие базовые разделы: геофизика, строение атмосферы, динамика атмосферы и океана, физика Солнца, климатология, распространение электромагнитных и звуковых волн, физика тропосферы, средней и верхней атмосферы, основы теории вероятности и математической статистики, физические основы экологии.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по наукам о Земле.

## **II. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ**

### **Физика атмосферы и гидросферы**

Общие представления о научной специальности «Физика атмосферы и гидросферы».

Планета Земля в солнечной системе. Основные оболочки Земли. Гравитационное поле Земли.

### **Солнечно-земная физика**

Солнечно-земная физика: предмет и содержание. Место солнечно-земной физики в ряду естественных наук, характер решаемых общетеоретических и философских задач.

Геофизическая служба; роль солнечно-земной физики в народном хозяйстве. История. Международные геофизические проекты.

### **Физика Солнца и межпланетной среды**

Солнце как переменная звезда. Место Солнца на главной последовательности Герцшпрунга-Рессела.

Строение Солнца.

Атмосфера Солнца.

Происхождение хромосферы и короны. Солнечное электромагнитное излучение, распределение энергии в потоке солнечного излучения, солнечная постоянная.

Солнечный ветер и межпланетное магнитное поле. Происхождение, основные характеристики и их вариации. Солнечная активность: пятна, факелы, радиоизлучение, корональные дыры, транзиенты, солнечные вспышки, вариации спектра электромагнитного излучения.

Индексы солнечной активности. Космические лучи в межпланетном пространстве. Происхождение космических лучей, взаимодействие

космических лучей с атмосферой Земли. Классификация вариаций космических лучей. Методы регистрации интенсивности космических лучей.

### **Постоянное магнитное поле**

Происхождение главного геомагнитного поля. Структура геомагнитного поля. Описание геомагнитного поля, его графическое представление, магнитная съемка, магнитные карты. Аналитическое представление магнитного поля, теория Гаусса, основы потенциального анализа. Геомагнитные измерения.

Вековые геомагнитные вариации. Палеомагнетизм.

### **Физика магнитосферы**

Формирование магнитосферы; перенос энергии, вещества и импульса от солнечного ветра в магнитосферу. Структура магнитосферы. Магнитосферная конвекция. Электрические поля. Токи во внешней магнитосфере. Электрические поля и токи. Теория атмосферного динамо.

Геомагнитные вариации. Связь геомагнитного поля и состояния магнитосферы с параметрами солнечного ветра. Частицы и волны в магнитосфере. Геомагнитные пульсации. Очень низкочастотное излучение. Движение частиц в электромагнитных полях.

Плоские волны в холодной плазме. Гидромагнитные волны. Неустойчивость плазмы. Собственные колебания магнитосферы. Наблюдения волн в плазме, солнечного ветра и магнитосферы. Естественные электромагнитные излучения.

Геомагнитные пульсации. Классификация. Механизмы генерации и распространения пульсаций. Гидромагнитная диагностика. Спутниковые и наземные наблюдения пульсаций, связь их с другими геофизическими явлениями. Генерация и распространение ОНЧ-излучений в магнитосфере Земли. Классификация ОНЧ-излучений. Связь с физическими процессами в

магнитосфере. Взаимодействие магнитосферы с верхней атмосферой. Высокширотная ионосфера.

Радиоаврора. Морфология, классификация и механизмы образования.

Полярные сияния. Морфология полярных сияний. Дискретные формы, фоновое свечение. Географическое распределение. Суббури в полярных сияниях. Спектры свечения ночного неба и полярных сияний. Механизмы возбуждения основных эмиссий.

Магнитосферные возмущения. Бури, суббури и микросуббури. Морфология. Повторяемость пространственно-временной структуры суббурь и их фазы. Индексы геомагнитной активности.

### **Физика средней и верхней атмосферы**

Нейтральная атмосфера. Состав и строение атмосферы Земли. Высотное распределение состава, плотности, давления, влажности. Классификация различных областей атмосферы. Вертикальная структура атмосферы, механизмы ее формирования. Энергетика и тепловой баланс. Источники и стоки энергии. Динамика атмосферы. Общая циркуляция атмосферы на ионосферных уровнях, уравнения движения нейтральной атмосферы. Теория планетарных волн, приливов и внутренних гравитационных волн. Модели нейтральной атмосферы. Особенности и характеристики средней атмосферы. Атмосферное электричество (общие представления).

Ионосфера. Образование ионосферных слоев. Фотохимические процессы в ионосфере. Фотоионизация. Ионизирующее излучение Солнца. Поглощающие свойства атмосферы. Ионизационная функция. Фотоэлектроны и их роль в нагреве ионосферной плазмы. Рекомбинационные процессы. Классификация реакций. Эффективный коэффициент рекомбинации. Уравнение непрерывности. Образование ионосферных слоев. Уравнение простого слоя. Особенности фотохимии в областях D, E, F ионосферы.

Морфология ионосферных слоев. Область D. Область E. Регулярный слой E. Слой E - спорадический. Область F. Слой F1: морфология и механизмы образования. Особенности поведения слоя F2 («аномалия» слоя F2, главный ионосферный провал). Механизмы формирования слоя F2 и крупномасштабной структуры ионосферы. Ионосферные неоднородности, их классификация, радиофизические и геофизические аспекты проявления (замирания радиосигналов, явление F-рассеяния и т.п.). Основы теории генерации и движения неоднородностей. Динамический режим ионосферы и взаимодействие различных слоев (сводка экспериментальных данных). Внешняя ионосфера и экзосфера. Плазмосфера и ее роль в формировании ионосферы.

Процессы переноса в ионосферной плазме. Уравнения движения электронов и ионов. Взаимодействие с нейтралами. Проводимость ионосферной плазмы.

Электродинамические дрейфы в ионосфере. Принципы динамо-теории. Диффузия в ионосфере. Амбиполярное приближение. Роль диффузии в формировании основного максимума ионосферы. Нерегулярные явления в ионосфере. Эффекты солнечных вспышек. Эффекты магнитных бурь. Ионосферные возмущения: классификация, морфология, механизмы.

Особенности ионосферных процессов в высокоширотной ионосфере. Ионосферно-магнитосферное взаимодействие.

Высокоширотная ионосфера. Формирование высокоширотной ионосферы. Корпускулярная ионизация, механизмы образования регулярной ионосферы. Структура высокоширотной ионосферы. Геофизическое районирование (субавроральный провал, главный ионосферный провал, ионосфера авроральной зоны, ионосфера полярной шапки).

Сведения об ионосферах других планет солнечной системы.

Глобальные изменения окружающей среды и климата (общее представление). Проблема глобального потепления. Парниковый эффект. Проблема озона. Связь вариаций озона с внутриатмосферными, гелио-,

геофизическими и антропогенными факторами. Солнечно-атмосферные связи. Долговременные вариации параметров верхней атмосферы.

Экспериментальные исследования верхней и средней атмосферы

Радиофизические методы исследования. Основы теории распространения электромагнитных волн в ионосферной плазме. Метод вертикального радиозондирования (наземный и спутниковый варианты). Наклонное зондирование. Возвратно-наклонное зондирование. Метод частичных отражений.

Кросс-модуляция и нелинейные эффекты при распространении радиоволн в ионосферной плазме. Измерение поглощения радиоволн в ионосфере. Метод некогерентного рассеяния. Эксперименты по распространению радиоволн с использованием ракет и ИСЗ (метод дисперсионного интерферометра, фарадеевское вращение плоскости поляризации и т.п.). Метод разнесенного приема и его модификации. Радиолокация метеорных следов и искусственных образований.

Оптические методы исследований. Свечение ночного неба (эмиссии 557,7 нм и 630,0 нм). Серебристые облака. Полярные сияния. Исследования в оптическом диапазоне со спутников (космический мониторинг).

Другие методы наблюдений за состоянием верхней атмосферы. Прямые измерения параметров ионосферной плазмы с помощью ИСЗ и ракет (зондовые, масс-спектрометрические, инжекционные). Акустический метод. Инфразвуковые измерения.

Особенности экспериментальных исследований высокоширотной ионосферы (радиофизические, оптические, магнитные, ракетно-спутниковые).

### **Избранные разделы математической статистики и численного анализа**

Элементы теории вероятностей. Основные определения. Согласование экспериментальных данных. Определение числовых характеристик и законов распределения. Построение доверительных интервалов и проверка гипотез.

Обработка экспериментальной информации. Корреляционный анализ. Спектральный анализ. Регрессионный анализ. Фильтрация и выделение скрытых периодичностей. Метод наименьших квадратов. Аппроксимация. Сплайны. Фрактальный анализ. Построение эмпирических формул. Разложение в ряд по заданной системе функций (тригонометрических, сферических) и по естественным ортогональным функциям (главным компонентам). Методы пространственной интерполяции физических полей.

Применение численных методов для моделирования физических процессов в околоземном и межпланетном пространстве.

### **III. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

Акасофу С.И. Полярные и магнитосферные суббури. М.: Мир, 1971.

Акасофу С.И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. М.: Мир, 1973—1974. Т. 1 и 2.

Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.А., Хргиан А.Х. Озонный щит Земли и его применение. Л.: Гидрометеиздат, 1992.

Альперт Я.Л. Волны и искусственные тела в приземной плазме. М.: Наука, 1974.

Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 1972.

Альвен Г., Фельтхаммар К.-Г. Космическая электродинамика. М.: Мир, 1967.

Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976.

Афраймович Э.Л. Интерференционные-методы радиозондирования ионосферы. М.: Наука, 1982.

Бауэр З. Физика планетных ионосфер. М.: Мир, 1976.

Базаржапов А.Д., Матвеев М.И., Мишин В.М. Геомагнитные вариации и бури. Новосибирск: Наука, 1979.

Бакунин П.И. Курс общей астрономии. М.: Наука, 1966.

Бахвалов Н.С. Численные методы. М.: Наука, 1973.

- Бендат Дж.С., Пирсол А.Г. Измерения и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1971.
- Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. М.: Наука, 1966.
- Библиографические указатели. // Международный геофизический год. М.: Изд. АН СССР, 1954-63.
- Де Бор К. Практическое руководство по сплайнам. М.: Радиосвязь, 1985.
- Брюнелли В.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988.
- Брасье Г., Соломон С. Аэрномия средней атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1987.
- Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980.
- Витинский Ю.И. Солнечная активность. М.: Наука, 1983.
- Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.А. Солнце и атмосфера Земли. М.: Гидрометиздат, 1976.
- Ионосферные измерения / А.И. Галкин, Н.М. Ерофеев, Э.С. Казимировский, В.Д. Кокоуров. М.: Наука, 1971.
- Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей. Л.: Гидрометеиздат, 1963.
- Геофизический бюллетень. М.: Наука, 1958-74. № 1-27.
- Явление F-рассеяния в ионосфере / Б.Н. Гершман, Э.С. Казимировский, В.Д. Кокоуров, Н.А. Чернобровкина. М.: Наука, 1984.
- Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Физматгиз, 1947.
- Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли. М.: Наука, 1976.
- Гусев А.М. Свободная конвекция в атмосфере и океане. М.: Изд-во МГУ, 1978.
- Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука, 1973.
- Данилов А.Д., Казимировский Э.С., Вергасова Г.В., Хачикян Г.Я. Метеорологические эффекты в ионосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1987.

- Дженкинс Г.М., Ваттс Д.Г. Спектральный анализ и его приложение. М.: Мир, 1971-72.
- Дорман Л.И. Вариации космических лучей. М.: Наука, 1981.
- Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. М.: Мир, 1973.
- Зирин. Г. Солнечная атмосфера. М.: Мир, 1969.
- Жарков В.Н., Трубицын В.П., Самсоненко Л.В. Физика Земли и планет. М.: Наука, 1971.
- Жеребцов Г.А., Мизун Ю.Г., Мингалев В.С. Физические процессы в полярной ионосфере. М.: Наука, 1988.
- Жеребцов Г.А. От магнитно-метеорологических наблюдений до проблем солнечно-земной физики. // Исследования по геомагнетизму, аэрномии и физике Солнца. Наука, 1986. Вып. 76.
- Иванов-Холодный Г.С., Никольский Г.М. Солнце и ионосфера. М.: Физматгиз, 1969.
- Ионосферно-магнитная служба. / Под ред. С.И. Авдюшина и А.Д. Данилова. Л.: Гидрометеиздат, 1987.
- Исаев С.И., Пудовкин М.И. Полярные сияния и процессы в магнитосфере Земли. Л.: Наука, 1972.
- Казимировский Э.С., Кокоуров В.Д. Движения в ионосфере. Новосибирск: Наука, 1979.
- Калиткин Н. Н. Численные методы. М.: Наука, 1978.
- Кендалл М. Временные ряды. М.: Финансы и статистика, 1981.
- Коваленко В.А. Солнечный ветер. М.: Наука, 1983.
- Кошелев В.В., Климов Н.Н., Сутырин Н.А. Аэрномия мезосферы и нижней термосферы. М.: Наука, 1983.
- Кринберг И.А. Кинетика электронов в ионосфере и плазмосфере Земли. М.: Наука, 1978.
- Кринберг И.А., Тащилин А.В. Ионосфера и плазмосфера. М.: Наука, 1984.
- Магницкий В. А. Внутреннее строение и форма Земли. М.: Наука, 1965.

- Мейндоналд Дж. Вычислительные алгоритмы в прикладной статистике. М.: Финансы и статистика, 1988.
- Мишин В.М. Спокойные геомагнитные вариации и токи в магнитосфере. Новосибирск: Наука, 1976.
- Национальная программа по космической погоде, FCM-P31-1997, США, Вашингтон, 1997.
- Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. М.: Мир, 1982.
- Паркер Е. Динамические процессы в межпланетной среде. М.: Мир, 1965.
- Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986.
- Перов С.П., Хргиан АХ. Современные проблемы атмосферного озона. Л.: Гидрометеиздат, 1980.
- Повзнер А.Д. К истории организации Международного геофизического года // История и методология естественных наук. МГУ. 1961—1967.
- Поляков В.М., Щепкин Л.А., Казимировский Э.С., Кокоуров В.Д. Ионосферные процессы. Новосибирск: Наука, 1968.
- Пономарев Е.А. Механизмы магнитосферных суббурь. М.: Наука, 1985.
- Ратклифф Д. Введение в физику ионосферы и магнитосферы. М.: Мир, 1975.
- Рикитаки Т. Электромагнетизм и внутреннее строение Земли. М.: Недра, 1968.
- Ришбет Г., Гарриот О. Введение в физику ионосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975.
- Смирнов Н.В., Дудин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математическая статистика для технических приложений. М.: Наука, 1965.
- Тихонов АН., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972.
- Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. М.: Мир, 1981.

Уиттен Р., Поппов И. Основы аэрономии. Л.: Гидрометеиздат, 1977.

Поток энергии Солнца и его изменения. / Под ред. О. Уайта. М.: Мир, 1980.

Харгривс Дж.К. Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи. Л.: Гидрометеиздат, 1982.

Хргиан АХ. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970.

Хргиан АХ. Физика атмосферного озона. Л.: Гидрометеиздат, 1973.

Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. Введение в их физику и химию. М.: Мир, 1981.

Чемберлен Дж. Физика полярных сияний и излучения атмосферы. М.: ИЛ. 1963.

Щепкин Л.А, Климов Н.Н. Термосфера Земли. М.: Наука, 1980.

Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978.

Akasofu S.-I. Physics of Magnetospheric Substorms. Boston, 1977.

Heikkila W.J. Earth's Magnetosphere. Elsevier, 2011.

Kelley M.C. The Earth's ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics. 2th ed. New York: Academic Press, 2009.

Schunk R.W., Nagy A.F. Ionospheres: Physics, Plasma physics, and Chemistry. 2th ed. Cambridge University Press, 2009.

Составители:

Зав. аспирантурой, к. ф.-м. н.

Ученый секретарь, к.ф.-м.н.

Зав. лабораторией, д.ф.-м.н.

В.И. Поляков

И.И. Салахутдинова

А.В. Тащилин

Согласовано:

Зам. директора по научной работе, д.ф.-м.н.

В.И. Куркин

Одобрено Ученым советом ИСЗФ СО РАН (Протокол № 6 от 21 мая 2014 г.).