

Утверждена Ученым советом ИФА  
на заседании 01 ноября 2012 г.  
протокол № 3 \_\_\_\_\_

## **Программа**

### **кандидатского экзамена по специальной части программы «Физики атмосферы» для аспирантов и соискателей ЛТРВ «Распространение волн в неоднородных средах»**

#### **Математическое описание случайных полей**

Случайные функции. Стационарные случайные функции. Случайные функции со стационарными приращениями. Корреляционная и структурная функции. Спектральное разложение и теорема Хинчина. Примеры стационарных случайных процессов: («белый шум», марковский процесс). Взаимные корреляционные функции и взаимные спектры. Однородные и изотропные случайные поля. Локально однородные и изотропные случайные поля. Пространственно-временные случайные поля. Локально однородные случайные поля с плавно меняющимися средними характеристиками. Векторные случайные поля.

#### **Турбулентность**

Возникновение и развитие турбулентности. Структурные и спектральные функции поля скоростей в турбулентном потоке. Диссипация энергии в турбулентном потоке. Уравнение Колмогорова. Структура мелкомасштабной турбулентности при больших числах Рейнольдса. Микроструктура консервативной пассивной примеси и температурного поля в турбулентном потоке. Связь микроструктуры со средними характеристиками полей. Микроструктура коэффициента преломления в турбулентном потоке. Турбулентность в приземном слое атмосферы. Влияние сил плавучести. Связь временной и пространственной структур турбулентности (замороженная турбулентность). Экспериментальные данные и методы исследования турбулентности атмосферы.

#### **Распространение электромагнитных волн**

Уравнение Максвелла. Волновое уравнение. Граничные условия. Принцип Гюйгенса. Принцип взаимности. Интегральная форма волнового уравнения.

Рассеяние на пространственной периодической структуре вариаций диэлектрической проницаемости. Условие Брегга. Радиоакустическое зондирование атмосферы.

Приближение геометрической оптики. Рефракция в сферически-слоистой атмосфере. Решение обратной задачи рефракции. Радиопросвечивание атмосферы с ИСЗ.

#### **Акустика**

Полная система уравнений гидродинамики. Полная система акустических уравнений в поле силы тяжести и ее линеаризация.

Плотность энергии и потока мощности в звуковой волне.

Отражение и преломление звука на границе двух сред. Распространение звука в среде с плавно меняющимися свойствами.

Затухание звука. Поглощение звука, различные механизмы.

## **Распространение электромагнитных волн в случайно-неоднородных средах**

Уравнения распространения электромагнитных волн. Рассеяние электромагнитных волн неоднородностями диэлектрической проницаемости.

Приближение. Приближение однократного рассеяния. Статистические характеристики рассеянного поля: средняя интенсивность, частотный спектр рассеянного поля, корреляционные функции рассеянного поля, законы распределения вероятностей рассеянного поля.

Уравнение геометрической оптики. Их решение в первом приближении методом возмущений. Флуктуация фазы, углы прихода и амплитуды плоской волны. Границы применимости первого приближения геометрической оптики.

Метод плавных возмущений. Вывод основных уравнений. Флуктуации амплитуды и фазы плоской волны. Границы применимости метода плавных возмущений.

Параболическое уравнение. Распространение света в приближении диффузионного случайного процесса. Уравнение Эйнштейна–Фоккера–Планка в теории распространения электромагнитных волн. Диффузия лучей. Вывод уравнения для среднего значения поля и функции когерентности второго порядка. Функция когерентности второго порядка для плоской волны и для пучка. Функция когерентности четвертого порядка и флуктуации интенсивности плоской монохроматической волны. Приложения теории распространения волн в турбулентной среде. Частотные спектры флуктуации амплитуды и фазы. Мерцание и дрожание изображений, влияние усредняющего действия апертуры приемного устройства и угловых размеров источника.

## **Самовоздействие лазерного излучения в атмосфере**

Механизмы изменения показателя преломления воздуха при воздействии излучения (электрострикция, эффект Керра, ионизация, тепловой механизм). Явления самофокусировки и самодефокусировки пучков.

## **Литература**

1. С.М.Рытов, Ю.А.Кравцов, В.И.Татарский. Введение в статистическую радиофизику. Ч. II, Наука, 1978 г.
2. В.И.Татарский. Распространение волн в турбулентной атмосфере. Наука, 1967 г.
3. С.А.Ахманов, А.П.Сухоруков, Р.В.Хохлов. Самофокусировка и дифракция света в нелинейной среде. УФН, т.93, № 1, с.19-70, 1967.
4. М.А.Каллистратова, А.И.Кон. Радиоакустическое зондирование атмосферы. М., Наука, 1986 г.
5. Ю.А.Кравцов, Ю.И.Орлов. Геометрическая оптика неоднородных сред. Москва, Наука, 1980.
6. О.И.Яковлев. Космическая радиофизика. Москва, Научная книга, 1998.
7. А.С.Гурвич, А.И.Кон, В.Л.Миронов, С.С.Хмелевцов. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере. Москва, Наука, 1976.

# Дополнительная программа

## Применение методов теории вероятностей и математической статистики в задачах физики атмосферы

Оценивание статистических характеристик случайных величин (функции распределения, среднего, дисперсии) по конечной выборке. Несмещённые оценки, среднеквадратическая ошибка оценивания. Доверительные интервалы для оценок среднего и дисперсии.

Методы корреляционного и регрессионного анализа. Линейная корреляция; линейная регрессия. Определение надёжности оценок коэффициентов корреляции и регрессии.

Проверка статистических гипотез. Критерий  $\chi^2$ .

Закон больших чисел для случайных функций и понятие об эквивалентном числе независимых наблюдений.

Методы статистического анализа случайных процессов и полей на основе конечных выборок. Исключение тренда. Оценивание корреляционных функций и спектров. Быстрое преобразование Фурье (БШ); корреляционные и спектральные окна.

Спектры турбулентных пульсаций и методы их определение.

Крупномасштабные пространственные корреляционные функции полей геопотенциала и температуры.

Метод эмпирических ортогональных функций.

## Литература

1. Монин А.С, Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. М., Наука 1965, т. I Введение; Гл. II §§3.2; 4.5; 4.6; 4.7; т. II, Гл. VI, §§ 11.1; 12.1.
2. Обухов А.М. О статистически ортогональных разложениях эмпирических функций. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1960, № 3.
3. Яглом А.М. Корреляционная теория стационарных случайных функций Л., Гидрометеиздат, 1981 г.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М., Мир, 1974,
5. Гандин Л.С, Каган Р.Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Гидрометеиздат. 1976, гл. II, §2.
6. Коваленко И.Н., Филиппова А.А. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1973 г.

Зав. ЛТРВ  
д.ф.-м.н.

М.Е.Горбунов