

Учебная программа

Дисциплины «Радиометрия в экологии и медицине»

Автор программы Кисляков А.Г.

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Введение. Физические принципы радиометрии, ее задачи и их актуальность.

Построение курса. Методы изучения дисциплины как в теоретических, так и в экспериментальных аспектах (в том числе на базе спецлабораторий кафедры) Рекомендации слушателям по изучению курса. Требования, предъявляемые студентам в процессе зачета. Литература.

Раздел 2. Характеристики теплового электромагнитного излучения.

Излучение "черного тела". Объемная плотность равновесного теплового излучения. Закон Планка. Поверхностная яркость теплового излучения "черного тела". Закон Ламберта. Поток теплового излучения. Формула Эйнштейна. Спектр и интегральная интенсивность теплового излучения "черного тела". Диэлектрические параметры поглощающей радиоволны среды. Уравнение переноса электромагнитного теплового излучения в неоднородной изотропной среде. Ограничения применимости уравнения переноса в приближении геометрической оптики. Формулы Френеля. Коэффициенты отражения и пропускания радиоволн на плоской границе в приближении сильнопоглощающей среды. Излучательная способность нечерного тела. Приближение Кирхгофа для описания явлений на неплоской границе. Коэффициенты пропускания и отражения полупрозрачного слоя диэлектрика с учетом многократных отражений на его границах. Явления интерференции в излучении слоя. Интенсивность теплового радиоизлучения полубесконечного слоя..

Раздел 3. Антенные эффекты и методика измерений интенсивности излучения.

Температура антенны. Понятие эффективной температуры электромагнитного излучения. Температура антенны с учетом ее КПД. Диаграмма направленности антенны. Понятия "главного лепестка" и угловой разрешающей способности антенны. Коэффициент рассеяния энергии вне "главного лепестка". Калибровка антенной температуры. Достаточность рассмотренных параметров антенны для измерений средней по "главному лепестку" эффективной температуры объекта. Калибровка антенной температуры методом замещения объекта эталонами теплового излучения.

Раздел 4. Микроволновые радиометры.

Чувствительность радиометра. Минимальное обнаружимое приращение эффективной температуры излучения. Ограничения чувствительности радиометра по шумовой температуре, полосе пропускания частот и времени интегрирования, а также обусловленные особенностями объекта исследований. Схемы радиометров: компенсационный, модуляционный и корреляционный радиометры. Соотношение их пороговых сигналов. Детекторный радиометр и распределение усиления в радиометре. Применение цифровых устройств в радиометрах. Принципы дискретизации и квантования сигнала при измерении его среднего значения или вариаций. Оценка ошибок. Знаковый коррелятор в спектрометрических радиометрах. Входные устройства радиометров. Обзор современного состояния техники приема радиоволн. Шумовые температуры и рабочие диапазоны частот транзисторных и параметрических усилителей, преобразователей частоты и детекторов.

Раздел 5. Дистанционное зондирование атмосферы.

Атмосферное поглощение радиоволн. Принципы описания молекулярного поглощения радиоволн. Спектры поглощения радиоволн в атмосферном кислороде и водяном паре. Понятие "окон прозрачности" атмосферы. Тепловое радиоизлучение атмосферы. Решение уравнения переноса для экспоненциальной и биекспоненциальной моделей атмосферы. Понятие "средней температуры" атмосферы. Методы измерений оптической толщины атмосферы. Относительные (метод Бугера-Бэра, метод "разрезов") и абсолютные (метод внеземного источника, метод

замещения) методы измерений. Обратные задачи. Определение вертикального профиля водяного пара в атмосфере по ее радиоизлучению в линии H_2O . Восстановление высотного распределения температуры по спектру излучения атмосферы в линиях O_2 . Определение высотного распределения плотности озона путем наблюдений его радиолиний.

Раздел 6. Дистанционное зондирование земных покровов.

Исследования состояния акваторий. Поляризационные характеристики радиоизлучения системы море–атмосфера. Определение степени волнения по радиоизлучению моря. Применения радиотермометрии акваторий в задачах экологии. Радиометрия континентов. Суточная и сезонная температурные волны, их влияние на радиоизлучение грунтов. Применения радиометрии в исследованиях природных ресурсов Земли, а также в интересах охраны окружающей среды.

Раздел 7. Медицинская радиотермометрия.

Контактная радиотермометрия. Принципы контактных измерений глубинных температур человеческого тела методами радиометрии. Методика калибровки эффективных температур. Применения контактной радиометрии в медицинской диагностике и терапии. Дистанционная радиотермометрия. Принципы получения радиоизображений тела человека. Геометрические и дифракционные эффекты. Методы калибровки. Применения радиокартирования тела человека на миллиметровых радиоволнах в медицинской диагностике.

Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. М.Л. Левин, С.М. Рытов. Теория равновесных тепловых флуктуаций в электродинамике. М.: Наука, 1967.
2. А.Г. Кисляков, В.А. Разин, Н.М. Цейтлин. Введение в радиоастрономию. Учебник для студентов ВУЗов, обучающихся по специальности "Радиофизика и электроника". Часть I. Основы радиоастрономии. Изд. ННГУ и фирмы "Физматлит" (Москва). 1995. 212 с.
3. А.Г. Кисляков, В.А. Разин, Н.М. Цейтлин. Введение в радиоастрономию. Учебник для студентов ВУЗов, обучающихся по специальности "Радиофизика и электроника". Часть II. Техника радиоастрономии. Изд. ННГУ и фирмы "Физматлит" (Москва). 1996. 195 с.
4. А.Е. Башаринов и др. Измерение радиотепловых и плазменных излучений. М.: Советское Радио. 1968.
5. А.М. Шутко. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. – М.: Наука, 1986. 190 с.
6. А.Е. Башаринов, А.С. Гурвич, С.Т. Егоров. Радиоизлучение Земли как планеты. – М.: Наука, 1974.

б) дополнительная литература:

1. А.П. Наумов. В трудах 1 Всес. школы-семинара по распростр. мм и субмм волн в атмосфере. Под ред. М.А. Колосова и А.В. Соколова. Изд. АН СССР. М., 1982. С.21--46.
2. Методические указания к лабораторной работе «Многоканальный спектрометрический радиометр 3-х миллиметрового диапазона». Изд. ННГУ, 1999 (составители Е.И. Шкелев и др.).
3. А.Г. Кисляков. Методы описания и измерений шумов в радиотехнических устройствах. Учебное пособие. Изд. ННГУ, 1992.
4. М. Макс. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М.: Мир, 1983.
5. Н.М. Цейтлин. Применение методов радиоастрономии в антенной технике. М.: Сов. Радио, 1966, 213 с.
6. Ч. Таунс, А. Шавлов. Радиоспектроскопия. М., ИЛ, 1959.
7. А.Х. Хргиан. Физика атмосферы. Л.: Гидрометиздат. 1969.
8. А.Г. Кисляков, Д.В. Савельев, Е.И. Шкелев. Переменность атмосферной линии N_2O ($\text{J}=3\rightarrow 4$). // Известия ВУЗ --- Радиофизика. 1999, Т.42, С.933-939.
9. А.Г. Кисляков, Д.В. Савельев, Е.И. Шкелев, В.Л. Вакс. Наблюдения оптически тонких теллурических линий озона в 3^х-мм диапазоне длин волн. // Радиотехника и Электроника. 1998, Т.43, С.668-673.
10. А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1974.

11. В.С.Троицкий. К теории контактного радиометра. Препринт No 186. Горький. НИРФИ. 1984. 39 с.
12. А.Г.Кисляков. Предельная чувствительность радиометров и вопросы ее реализации. Учебное пособие. Изд. ГГУ. Горький, 1988.
13. А.Г.Кисляков. Дистанционная термометрия тела человека на миллиметровых радиоволнах. // Биофизика. 1996, Т.41, С.755--761.
14. А.Г.Кисляков, И.Н.Мордвинкин. Диэлектрические параметры кератина в миллиметровом диапазоне длин волн. // Биофизика. 2001, Т.46, С.93-97.
15. А.Г.Кисляков, А.С.Пелюшенко. Влияние ветрового волнения на точность поляризационных измерений толщины пленки нефти на водной поверхности. // Успехи современной электроники.- 2003, № 1, С.44-51.

Вопросы для контроля

Тепловое электромагнитное излучение

1. Описать спектральные характеристики теплового излучения.
2. Сформулировать закон Стефана-Больцмана.
3. Привести формулу для теплового излучения нечерного тела (закон Кирхгофа).
4. Описать угловую зависимость энергетического коэффициента отражения волны от плоской границы раздела диэлектрик--воздух при коллинеарной (перпендикулярной) поляризации волны.
5. Условия справедливости уравнения переноса теплового излучения в геометро-оптическом приближении.
6. Дать формулу для теплового излучения полубесконечного слоя диэлектрика с плоской границей раздела.
7. Сформулировать условие применимости "фасеточного" метода в расчете излучения диэлектрика с неплоской границей раздела (приближение Кирхгофа).
8. Описать следствия многократных отражений волн на границах полупрозрачного слоя диэлектрика.

Антенные эффекты и методика измерений интенсивности излучения

1. Что такое КПД антенны (η)? Чем определяются собственные шумы антенны?
2. Понятие температуры антенны.
3. Чем определяется угловая разрешающая способность антенны?
4. Пояснить смысл коэффициента рассеяния антенны (β).
5. Формула для температуры антенны.
6. Сущность метода замещения как способа калибровки.
7. Как измерить произведение $\eta(1-\beta)$?

Микроволновые радиометры

1. Чувствительность компенсационного радиометра.
2. Чувствительность модуляционного радиометра.
3. Чувствительность корреляционного радиометра.
4. Чувствительность детекторного радиометра.
5. Привести блок-схему радиометра (любого из перечисленных выше).
6. Влияние флуктуаций параметров радиометра на его чувствительность.
7. К каким ошибкам в измерении среднего (мгновенного) значения амплитуды сигнала на выходе радиометра приводят операции дискретизации и квантования сигнала?
8. Влияние интерференции собственных шумов во входной цепи радиометра на точность измерений.
9. Привести характерные шумовые параметры и диапазоны рабочих частот транзисторных (параметрических) усилителей, преобразователей частоты.

Дистанционное зондирование атмосферы

1. Чем определяется молекулярный коэффициент поглощения радиоволн?
2. Какова высотная зависимость молекулярного коэффициента поглощения радиоволн в атмосфере?
3. Понятие средней температуры атмосферы.
4. Формула для эффективной температуры теплового излучения атмосферы.

5. Методы измерений оптической толщины атмосферы.
6. Принципы определения высотного профиля водяного пара в атмосфере.
7. Идея восстановления высотного профиля температуры воздуха.
8. Определение плотности O_3 в озоносфере.

Зондирование земных покровов

1. Пояснить физику образования тепловых контрастов на поверхности грунтов.
2. Принципы определения влажности грунта.
3. Поляризационные характеристики теплового излучения водной поверхности.
4. Радиометрическое определение состояния водной поверхности.
5. Применения радиометрии в задачах ИПРЗ и охраны окружающей среды.

Медицинская радиотермометрия

1. Чем определяется глубина проникновения радиоволн в тело человека?
2. Описать влияние слоистости тканей на измерения глубинных температур.
3. Сущность геометрических и дифракционных эффектов при дистанционных измерениях температуры тела.
4. Методики калибровки при контактных и дистанционных измерениях.
5. Применения радиотермометрии в медицинской диагностике.