

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

Направленность (специальность) 05.11.07 Оптические и оптико- электронные приборы и комплексы

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины по выбору

«Математические методы и моделирование в фотонике»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.1

Всего: 72 часов,

Семестр 5, в том числе 6 часов – контроль,
48 часов – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 877, и паспорта специальности 05.09.07 Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение математических методов моделирования световых полей на компьютере.

Задачами дисциплины являются:

- овладение основными алгоритмами расчета световых полей;
- понимание сущности лучевых методов описания световых полей;
- овладение основами моделирования световых приборов и осветительных установок.

В процессе освоения дисциплины формируются следующие **компетенции:**

- способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки;
- готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач;

- владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;
- владением культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий;
- способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности;
- готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития светотехники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач;
- способность делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения;
- способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию;
- готовность осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- алгоритмы расчета световых полей при наличии многократных отражений и рассеяний в среде;
- современные программы моделирования световых полей;
- современные программы компьютерной алгебры;
- стохастические методы трассировки лучей в сложных оптических системах;

уметь:

- рассчитывать световые приборы и осветительные установки на компьютере;

владеть:

- навыками моделирования светотехнических и качественных показателей светового поля в трехмерной сцене освещения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Интегральные характеристики светового поля (15 час). Чисто поглощающие среды - законы Бугера. Световое поле в вакууме – постоянство яркости вдоль луча. Яркость поверхности. Облученность. Основная задача фотометрии – расчет облученности на плоскости. Точечные источники излучения, сила излучения (света). Примеры расчетов. Реакция приемника оптического излучения. Два основных типа приемников оптического излучения. Световой вектор. Пространственная облученность. Средние сферическая, цилиндрическая, полусферическая, полуцилиндрическая освещённости. Общее выражение для интегральных характеристик поля. Простейшие следствия УПИ: Гершуна-Гуревича-Кубелки-Мунка, Бугера-Аллара.

Взаимодействие излучения с веществом в лучевом приближении (15 час). Коэффициент яркости по отражению и пропусканию. Коэффициент яркости при диффузном и направленном освещении. Индикатриса отражения. Фотометрическая модель отражения слоем вещества. Матрица рассеивателей. Матрично-операторный метод. Инвариантность Амбарцумяна В.А. Явления на границе раздела двух сред, формулы Френеля. Поляризация света.

Поляриметрическое обобщение – параметры Стокса. Полное внутреннее отражение, угол Брюстера.

Уравнение глобального освещения (10 час). Краевая задача УПИ в случае многократных переотражений. Глобальное и локальное освещение. Форм-фактор, функция видности. Уравнение глобального освещения, методы его решения. Трассировка лучей, прямой и обратный ход луча. Рекурсивная трассировка. Основные вычислительные проблемы алгоритмов трассировки лучей. Уравнение излучательности. Точные решения: фотометрическая сфера, задача Соболева. Итерационные методы решения, алгоритм Саусвелла, форм-фактор, адаптивное разбиение расчетной сетки.

Освещённость от диффузных поверхностей произвольной формы (10 час). Выражение для потока с поверхности на поверхность. Теорема Стокса. Векторный потенциал. Контурные интегралы. Формула Фока для многоугольников. Пара параллельных плоскостей. Пара перпендикулярных плоскостей. Полукуб и полусфера для вычисления форм-фактора. Алгебра форм-фактора. Адаптивные сети.

Энергетический расчёты оптических систем (10 час). Гомоцентрические пучки. Оптический прибор. Стигматическое изображение. Сопряженные точки, кривые. Совершенное изображение. Осесимметричные системы. Идеальная оптическая система (ИОС). Коллиминация. Увеличение системы. Кардинальные точки ИОС. Формулы Гаусса и Ньютона. Построение хода лучей в ИОС. Ограничение пучков в оптической системе, диафрагмы. Распределение облученности в плоскости изображения. Ограничение не осевых пучков, виньетирование, коэффициент виньетирования.

Методы трассировки лучей (15 час). Прямая и обратная трассировки лучей. Уравнение луча, поверхности, точка пересечения. Пересечение с плоскостью, сферой, конусом. Пересечение с гранью. Векторные формулы отражения и преломления. Многократные отражения, рекурсивная трассировка. Стоха-

стическая трассировка лучей. Метод Монте-Карло. Прямое моделирование и локальные оценки. Мгновенное радиосигнали.

Перенос излучения в рассеивающих средах (15 час). Дискретизация уравнения переноса излучения. Метод сферических гармоник. Метод дискретных ординат. Проблема анизотропной части решения, угловые особенности. Малоугловое приближение. Двухточечная краевая задач линейного матричного дифференциального неоднородного уравнения. Рассеиватели. Матрично-операторный метод. Инвариантность. Синтетические итерации. Моделирование световых полей в мутных средах методом Монте-Карло. Локальные оценки и прямое моделирование. Двойная локальная оценка.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

Вопросы для самоконтроля:

1. Чисто поглощающие среды - законы Бугера.
2. Яркость поверхности.
3. Облученность.
4. Реакция приемника оптического излучения.
5. Средние сферическая, цилиндрическая, полусферическая, полуцилиндрическая освещённости.
6. Простейшие следствия УПИ: Гершуна-Гуревича-Кубелки-Мунка, Бугера-Аллара.
7. Коэффициент яркости по отражению и пропусканию.
8. Фотометрическая модель отражения слоем вещества.
9. Матрица рассеивателей.
10. Матрично-операторный метод.
11. Явления на границе раздела двух сред, формулы Френеля.
12. Поляриметрическое обобщение – параметры Стокса.
13. Полное внутреннее отражение, угол Брюстера.
14. Глобальное и локальное освещение.
15. Уравнение глобального освещения, методы его решения.
16. Трассировка лучей, прямой и обратный ход луча.

17. Уравнение излучательности.
18. Точные решения уравнения излучательности.
19. Итерационные методы решения.
20. Формула Фока для многоугольников.
21. Пара параллельных плоскостей.
22. Пара перпендикулярных плоскостей.
23. Полукуб и полусфера для вычисления форм-фактора.
24. Алгебра форм-фактора.
25. Адаптивные сети.
26. Гомоцентрические пучки.
27. Сопряженные точки, кривые.
28. Идеальная оптическая система (ИОС).
29. Увеличение системы. Кардинальные точки ИОС.
30. Формулы Гаусса и Ньютона.
31. Построение хода лучей в ИОС.
32. Ограничение пучков в оптической системе, диафрагмы.
33. Уравнение луча, поверхности, точка пересечения.
34. Векторные формулы отражения и преломления.
35. Стохастическая трассировка лучей.
36. Метод Монте-Карло.
37. Прямое моделирование и локальные оценки. Мгновенное радиосигн.
38. Метод сферических гармоник.
39. Метод дискретных ординат.
40. Малоугловая модификация метода сферических гармоник.
41. Локальные оценки метода Монте-Карло.

Вопросы, включенные в билеты для проведения зачетов:

1. Взаимодействие излучения с веществом в лучевом приближении.
2. Уравнение глобального освещения.
3. Уравнение излучательности.
4. Прогрессивное радиосигн, адаптивные сети, форм-фактор.
5. Освещённость от диффузных поверхностей произвольной формы.

6. Энергетический расчёты оптических систем.
7. Методы трассировки лучей.
8. Стохастическая трассировка.
9. Математические основы метода Монте-Карло.
10. Генераторы случайных чисел.
11. Расчет интегралов методом Монте-Карло.
12. Дискретизация уравнения переноса излучения.
13. Метод сферических гармоник и метод дискретных ординат.
14. Малоугловая модификация метода сферических гармоник.
15. Инвариантность решения уравнения переноса излучения.
16. Синтетические итерации.
17. Локальные оценки метода Монте-Карло.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) Основная литература:

1. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.
2. Оптимизация весовых алгоритмов статистического моделирования / Г.А. Михайлов, И.Н. Медведев, СО РАН, Ин-т вычислительной математики и математической геофизики. – Новосибирск: Омега Принт, 2011.

б) Дополнительная литература:

3. Якушенков Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения. – М.: Логос, 2013.
4. Трофимов, Д. М. Современные методы и алгоритмы обработки и анализа комплекса космической, геолого-геофизической и геохимической информации для прогноза углеводородного потенциала неизученных участков недр. – М.: Физматлит, 2012.