



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Атомных и Тепловых ЭлектроСтанций

УТВЕРЖДАЮ

Декан ТЭФ

Кузнецов Г.В.

_____ " " _____ 2009 г.

ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ

Рабочая программа для направления 140400 - "Техническая физика"
специальности 140404 - "Атомные электростанции и установки"

Факультет - Теплоэнергетический (ТЭФ)

Обеспечивающая кафедра - Атомных и Тепловых Электростанций (АТЭС)

Курс - 3

Семестр - 6

Учебный план набора 2005 года с изменениями _____ года

Распределение учебного времени

Лекции	40 часов (ауд.)
Лабораторные занятия	16 часов (ауд.)
Практические (семинарские) занятия	16 часов (ауд.)
Всего аудиторных занятий	72 часов
Самостоятельная (внеаудиторная) работа	80 часов
Общая трудоемкость	152 часов

Экзамен в 6 семестре



2009

Предисловие

1. Рабочая программа составлена на основе ГОС по направлению 140400 (651100) «Техническая физика» специальности 140404 (101000) "Атомные электрические станции и установки" №344 тех/дс, утвержденного Министерством образования РФ 14.04.2000, РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании обеспечивающей кафедры АТЭС
" ____ " _____ 2009 г. протокол № ____
2. Разработчик: доцент кафедры. _____ А.В. Кузьмин
АТЭС
3. Зав. обеспечивающей кафедрой _____ Л.А. Беляев
4. Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом, выпускающими кафедрами специальности; СООТВЕТСТВУЕТ действующему плану.

Зав. выпускающей кафедрой _____ Л.А. Беляев



АННОТАЦИЯ

Представлена рабочая программа по дисциплине "Теория переноса нейтронов" направления 140400 - "Техническая физика" специальности 140404 - "Атомные электростанции и установки"

Сформулированы цели и задачи дисциплины, указано, что должен знать и уметь студент в результате изучения дисциплины. Содержание лекций, лабораторных и практических занятий, самостоятельной познавательной деятельности включает:

свойства ядер и ядерные реакции; взаимодействие нейтронов различных энергий с ядрами; процесс деления и спектры нейтронов в ядерном реакторе; понятие о диффузии нейтронов; параметры, определяющие диффузию нейтронов в пространстве; закон Фика для нейтронов; уравнение диффузии; замедление нейтронов в бесконечных средах; рассеяние нейтронов на неподвижном ядре; энергетическое распределение замедляющихся нейтронов в гомогенных бесконечных средах; вероятность избежать поглощения при замедлении; эффективный резонансный интеграл; термализация нейтронов; температура нейтронного газа; пространственное распределение замедляющихся нейтронов; модель непрерывного замедления; уравнение возраста; уравнение замедления в возрастном приближении.

Указана литература. Банк контрольных материалов с методическими указаниями, включающий в себя список вопросов по теоретическим разделам, таблицы заданий по лабораторным работам прилагается отдельно.

Разработчик – Кузьмин А.В., кафедра Атомных и тепловых электростанций, ТЭФ, адрес электронной почты: kuzminav@tpu.ru

ANNOTATION

The program of the course "Neutron Transport Theory" for a direction 140400 - "Technical Physics" is introduced.

The purposes and problems of discipline are formulated. There is indicated what the students should know and can do as a result of study of discipline. The contents of the lectures, laboratory and practical study, independent cognitive activity include:

properties of nuclei and nuclear reactions; interaction of neutrons of different energies with nuclei; process of division and spectra of neutrons in a nuclear reactor; concept about diffusion of neutrons; parameters determining diffusion of neutrons in space; a Fick's law for neutrons; a diffusion equation; moderation of neutrons in infinite medium; scattering of neutrons by stationary nuclei; power distribution of slowed-down neutrons in infinite homogeneous medium; probability to avoid absorption at moderation, an effective resonant integral; neutron thermalization, neutron gas temperature; spatial distribution of slowed-down neutrons, model of continuous moderation; an equation of age; an equation of moderation in age approximation.

There is the list of the literature. The bank of audit materials with the methodical instructions is attached separately. It includes the list of theoretical questions, the task tables of the laboratory works.

The developer – Kuzmin A.V., The Chair of nuclear and thermal power plants. Thermal Engineering Faculty of Tomsk Polytechnic University. E-mail: kuzminav@tpu.ru



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина "Теория переноса нейтронов" имеет немаловажное значение в подготовке специалистов для ядерного энергетического комплекса и в том числе по специальности "Атомные электрические станции и установки".

Курс даёт представление об основах нейтронной физики, принципах расчета нейтронных полей и процессах, протекающих при взаимодействии этих полей с теми или иными материалами, что является основой в последующем понимании физики ядерных реакторов, особенностей конструкций реакторов разных типов, принципов их работы, организации расчетов и обеспечения безопасности.

Успешное освоение дисциплины позволит студентам более чётко представлять цели и задачи изучаемых позднее специальных курсов, видеть их роль и место в подготовке инженеров-физиков-теплоэнергетиков.

После изучения данного курса студент должен:

знать и уметь использовать:

- основные типы ядерных реакций и принципы расчета их выхода и энергетического эффекта;
- спектры нейтронов в реакторе и определение их основных характеристик;
- основы процессов диффузии и замедления нейтронов в различных средах;

получить навыки:

- составления математических моделей процессов изменения нуклидного состава, протекающих в активной зоне реактора;
- физически обоснованных упрощений основных уравнений, в том числе и переноса нейтронов;
- работы со справочной литературой по нахождению ядерно-физических констант;

овладеть:

- методикой эксперимента и обработки опытных данных по определению миграционных характеристик нейтрона.

1. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА

1.1. ОСНОВЫ ЯДЕРНОЙ И НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1.1.1. Свойства ядер и ядерные реакции

Основные вехи развития атомной теории. Строение атома и развитие его модели с открытием электрона, протона и нейтрона. Атомные номера. Массовые числа. Изотопы. Изотопические составы водорода и урана.

Масса атомов и нуклонов. Атомные единицы массы. Ядерная плотность. Связь между массой и энергией. Единица энергии в ядерной физике. Геометрические соотношения в атомах. Дефект массы и энергия связи. Особенности зависимости удельной энергии связи от массового числа. Оценка энергетических эффектов реакций деления и синтеза. Капельная модель ядра. Полуэмпирическая формула Вайцеккера для энергии связи.



Радиоактивность. Характерные закономерности диаграммы протон-нейтронной структуры ядра. Виды радиоактивного распада и их особенности. Скорость радиоактивного распада. Постоянная распада. Средняя продолжительность жизни радиоактивных ядер. Период полураспада. Полезные графические интерпретации закона радиоактивного распада. Явление наведённой активности. Радиоактивный распад нейтрона. Активность нуклида. Единицы активности и удельной активности.

Ядерные реакции. Характерные стадии ядерной реакции. Время жизни возбуждённого ядра. Ядро-мишень, ядро-отдачи. Взаимодействие нейтрона с ядром. Реакции упругого и неупругого рассеяния. Радиационный захват. Захват нейтронов с испусканием гамма - частиц, бета-частиц, протонов и альфа - частиц. Реакция с испусканием нейтронов под действием альфа-излучения. Фотонейтронные реакции. Реакция деления. Плотность нейтронов. Плотность потока нейтронов. Закон ослабления потока. Эффективные микроскопические сечения реакции. Макросечения. Единицы измерения сечений взаимодействия. Характерные длины и выход i -реакции. Флюенс нейтронов.

1.1.2. Взаимодействие нейтронов различных энергий с ядрами

Сечения наиболее важные в физике ЯР. Графики сечений поглощения изотопов урана, бора, кадмия и их особенности. Стандартные тепловые, промежуточные или замедляющиеся, надтепловые и резонансные, быстрые нейтроны. Общий характер зависимости сечения рассеяния от энергии нейтронов. Сечение рассеяния водорода в составе воды. Зависимость сечения деления от энергии. Пороговое и беспороговое деление. Примеры стандартных сечений.

1.1.3. Процесс деления и спектры нейтронов в ядерном реакторе

Деление тяжёлых ядер. История открытия. Примеры наиболее вероятных схем реакции деления урана-235. Кривая выхода осколков деления. Энергетический эффект реакции деления. Оценка теплотворной способности ядерного топлива. Нейтроны, получающиеся в процессе деления. Спектр мгновенных нейтронов деления урана-235. Определение характеристик спектра.

Запаздывающие нейтроны. Среднее время жизни, суммарная доля или выход запаздывающих нейтронов.

Понятие о диффузии и замедлении нейтронов. Спектр нейтронов в большом ЯР с водяным замедлителем и его составляющие: спектр Максвелла, спектр Ферми и спектр нейтронов деления.

1.1.4. Нейтронный цикл в реакторе на тепловых нейтронах

Среднее время жизни нейтронов одного поколения, оценки и определение ее составляющих. Условия самоподдерживающейся цепной реакции. Элементарное кинетическое уравнение. Классификация ЯР. Классификация ЯР по спектру нейтронов, вызывающих деление, по структуре активной зоны. Гетерогенные и гомогенные ЯР. Нейтронный цикл в реакторе на тепловых нейтронах. Формула 4-х сомножителей. Зависимость коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде от обогащения топлива. Эффективный коэффициент размножения.

1.2. ДИФФУЗИЯ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НЕЙТРОНОВ

Типичные траектории диффундирующего нейтрона. Средние длины свободного пробега до поглощения, до рассеяния. Средний косинус угла рассеяния. Поток нейтронов, ско-



рость взаимодействия. Анизотропное и изотропное рассеяние. Связь длины свободного пробега и макроскопического сечения. Транспортная длина при отсутствии и наличии поглощения.

Плотность тока нейтронов. Односторонний и результирующий токи. Закон Фика для полного тока нейтронов. Коэффициент диффузии. Принципиальное отличие потока и плотности тока нейтронов.

Уравнение диффузии. Условия применимости уравнения диффузии. Интегральное уравнение Пайерлса для потока моноэнергетических нейтронов. Оптическая толщина.

Граничные условия в центре, на границе раздела двух сред, на границе с вакуумом. Асимптотические и эффективные граничные условия. Длина линейной экстраполяции.

Решение уравнения диффузии в однородной бесконечной среде с точечным источником. Решение уравнения диффузии в сфере с точечным источником.

Сведение интегрального уравнения к системе алгебраических уравнений метода вероятности первых столкновений. Средняя хорда i -й зоны. Условие независимости потоков и распределения источников. P_{ij} – вероятность для нейтрона, родившегося в зоне i от однородных и изотропных источников, испытать первое столкновение в зоне j .

Общее определение длины диффузии. Длины диффузии тепловых нейтронов для различных тел. Зависимость квадрата длины диффузии от температуры.

Альbedo тепловых нейтронов.

1.3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЗАМЕДЛЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В БЕСКОНЕЧНЫХ СРЕДАХ

Законы упругого рассеяния нейтронов. Механика упругого рассеяния. Изменение энергии за один акт соударения. Функция распределения упруго-рассеянных нейтронов. Среднелогарифмический декремент. Средний косинус угла рассеяния.

Стационарное уравнение упругого замедления. δ - функция Дирака для описания источника нейтронов. Плотность потока замедления. Вероятность избежать захвата на интервале замедления.

Решение уравнения замедления в непоглощающей среде. Спектр замедления Ферми на водороде. Спектр Ферми в тяжелом однокомпонентном замедлителе. Функция Плачека. Осцилляции функции Плачека. Спектр потока для бесконечно большого P с водным замедлителем.

Решение уравнения замедления в среде с захватом. Приближение Вигнера. Приближение Грюлинга-Герцеля.

Резонансное поглощение в многокомпонентной среде. Общие положения о резонансном уровне. Замедление в непоглощающей многокомпонентной среде. Приближение Вигнера для расчета вероятности избежать захвата в многокомпонентной среде. Резонансный интеграл и его вычисление на одном изолированном уровне. Зона резонансного поглощения. Эффект самоэкранировки ядер резонансного поглотителя или гомогенный блок-эффект. Сильные и слабые резонансы. Формула Митчелла. Узкие и широкие резонансы. Приближение узкого и широкого резонансов. Резонансный Доплер-эффект.

1.4. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАМЕДЛЯЮЩИХСЯ НЕЙТРОНОВ

Модель непрерывного замедления. Возрастное приближение задачи замедления. Уравнение замедления в возрастном приближении. Замедление без поглощения, с поглощением.

Суперпозиции источников. Поля замедления от плоского, нитевидного источников, в решетке из плоских источников. Условия выравнивания поля. Физический смысл и вычисление возраста в



простейших случаях. Интегральный поток замедления. Экспериментальное определение возраста в активной зоне. параметры замедления в различных замедлителях.

Пределы применимости уравнения замедления. Возраст нейтронов. Площадь миграции. Значения возраста и площади миграции нейтронов деления для различных замедлителей, время замедления.

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА

2.1. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Расчёт изменения нуклидного состава.

Спектры нейтронов ядерных реакторов.

Теория экспоненциального опыта.

Вычисление возраста и времени замедления нейтронов в различных средах.

2.2. ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Определение характеристик ядра и атома. Оценка энергетических эффектов реакций синтеза и деления.
2. Радиоактивность. Метод решения задачи Коши.
3. Определение характеристик спектров нейтронов.
4. Расчёт нейтронно-физических параметров среды активной зоны.
5. Расчёт миграционных характеристик.

3. ПРОГРАММА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Распределение общего объема часов самостоятельной работы по различным формам учебной деятельности представлено в таблице

Вид учебной деятельности	Самостоятель- ная работа (час)
Лекции	32
T1. Свойства ядер и ядерные реакции.	4
T2. Взаимодействие нейтронов различных энергий с ядрами	2
T3. Процесс деления и спектры нейтронов в ядерном реакторе	4
T4. Диффузия моноэнергетических нейтронов	8
T5. Основы теории замедления нейтронов в бесконечных средах	8
T6. Пространственное распределение замедляющихся нейтронов	8
Лабораторные	32
Практические	16
Итого	80

Конкретизация самостоятельной работы определяется календарным планом.

4. ТЕКУЩИЙ И ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В качестве основной формы контроля по рассматриваемой дисциплине предусмотрен текущий рейтинг-контроль и зачёт в 6 семестре.

Рейтинговая форма контроля учитывает эффективность и ритмичность работы студента на лекциях и практических занятиях, в процессе выполнения лабораторных работ и др.



Контроль усвоения отдельных разделов теоретического курса производится посредством традиционных письменных контрольных. Результаты лабораторных занятий и индивидуальных заданий оформляются в форме отчёта и защищаются преподавателю. Максимальная сумма баллов, "стоимость" отдельных видов работ и параметры (дата, контрольная сумма баллов) рубежных проверок приводятся в рейтинг листе.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Компьютерные программы:

5.1.1. Программа **NUC-SPR**. Компьютерный справочник (КС) ядерно-физических констант для подготовки специалистов по ядерной энергетике и другим приложениям ядерной физики. Пляскин В.И., Шмелев А.Н., Косилов В.А. Версия 3.0.1994 г.

5.2. Видеофильмы.

5.2.1. "Могущественный атом".

5.2.2. "Десять вопросов по радиоактивности"

5.2.3. "Атом при ближайшем рассмотрении".

5.2.4. "Великий поиск".

5.3. Методические указания.

5.3.1. Расчеты изменения нуклидного состава: Метод. указ. к лаб. раб. для студ. / сост. А.В. Кузьмин. - Томск: Изд. ТПУ, 2004. - 28 с.

5.3.2. Спектры нейтронов ядерных реакторов: Метод. указ. к лаб. раб. для студ. / сост. А.В. Кузьмин. - Томск: Изд. ТПУ, 2001. - 52 с.

5.3.3. Вычисление возраста и времени замедления нейтронов: Метод. указ. к лаб. раб. для студ. / сост. А.В. Кузьмин. - Томск: Изд. ТПУ, 2000. - 16 с. (электронный вариант).

5.3.4. Кузьмин А.В. Основы теории переноса нейтронов (лабораторный практикум): учебное пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. – 192 с.

5.3.5. Кузьмин А.В. Экспериментальное и расчетное определение возраста нейтронов деления в различных средах: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. – 240 с.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Основы теории и методы расчёта ядерных энергетических реакторов: Учеб. пособие для вузов/Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д. Байбаков, М.С. Алхутов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 512 с., ил.
2. Гуревич И.И., Протасов В.П. Нейтронная физика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 416 с.
3. Бекурц К., Виртц К. Нейтронная физика. – М.: Атомиздат, 1968. – 456 с.
4. **Кузьмин А.В. Основы теории переноса нейтронов (лабораторный практикум): учебное пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. – 192 с.**
5. **Кузьмин А.В. Экспериментальное и расчетное определение возраста нейтронов деления в различных средах: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. – 240 с.**
6. **Владимиров В.И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по их эксплуатации. Изд. 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. - 480 с.**



Дополнительная

7. Нигматулин И.Я., Нигматулин Б.В. Ядерные энергетические установки: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 168 с.
8. Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы. Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 352 с., ил.
9. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учеб. для вузов. В 2 кн. Кн. 1. Физика атомного ядра. Ч. 1. Свойства нуклонов ядер и радиоактивных излучений. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 376 с.
10. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учеб. для вузов. В 2 кн. Кн. 1. Физика атомного ядра. Ч. 11. Ядерные взаимодействия. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 376 с.
11. Меррей Р. Физика ядерных реакторов. - М.: АИ, 1961. - с. 292.
12. Камерон И. Ядерные реакторы: Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 320 с.
13. Смелов В.В. Лекции по теории переноса. - М.: Атомиздат, 1972. - 176 с.
14. Абрамов А.И. Основы ядерной физики. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 256 с.
15. Гордеев И.В., Кардашев Д.А., Малышев А.В. Ядерно-физические константы. Справочник. - М.: Госатомиздат, 1963. - 507 с.

Вспомогательная

16. Иродов И.Е. Сборник задач по атомной и ядерной физике. Изд.5-е, перераб. Учеб. пособие для вузов. - М.: Атомиздат, 1971. - 232 с., ил.
17. Антонова И.А., Гончарова Н.Г., Живописцев Ф.А. Задачи по ядерной физике. Изд. Московского университета, 1979. - 95 с.
18. Андреев О.В. Активационная радиометрия нейтронных полей. Учебное пособие. Томск, изд. ТПИ, 1991. - 56 с.
19. Практическое руководство по экспериментальной физике реакторов. Пер. с англ. - М.: Атомиздат, 1965. - 327 с.
20. Глесстон С. Атом. Атомное ядро. Атомная энергия. Пер. с англ. - М.: Изд-во ин. лит., 1961. - 648 с.
21. Практикум по ядерной физике. Под ред. Сергеева В.О. - М.: Высшая школа, 1975. - 197 с.
22. Меррей Р. Атомная энергетика: Пер. с англ./ Под общ. ред. Э.Э. Шпильрайна.- М.: Энергия, 1979.- 280 с., ил.
23. Рудик А.П. Физические основы ядерных реакторов. - М.: Атомиздат, 1979. - 120 с.
24. Усынин Г.Б., Кусмарцев Е.В. Реакторы на быстрых нейтронах: Учеб. пособие для вузов/Под ред. Ф.М. Митенкова. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 288 с., ил.
25. Галанин А.Д. Теория ядерных реакторов на тепловых нейтронах. - М.: Атомиздат, 1959.
26. Галанин А.Д. Введение в теорию ядерных реакторов на тепловых нейтронах. -2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 536 с., ил.

Программу составил доцент

_____ А.В. Кузьмин