

**Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования Московской области «Международный  
университет природы, общества и человека «Дубна»  
(университет «Дубна»)**

**Факультет естественных и инженерных наук  
Кафедра Биофизики**

**УТВЕРЖДАЮ**

проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.В. Моржухина

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Введение в теорию переноса излучений**

(наименование дисциплины)

**по направлению (специальности)**

**140307.65 Радиационная безопасность человека и окружающей среды**

(№, наименование направления, специальности)

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: специалист

Курс (семестр): 3 курс (6 семестр)

г. Дубна, 2010 г.

Автор программы: Чижов Алексей Владимирович, д.ф.-м.н., профессор каф. биофизики  
ФИО, ученое звание, кафедра \_\_\_\_\_  
(подпись)

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом  
высшего профессионального образования и учебным планом по направлению подготовки  
(специальности) 140307.65 Радиационная безопасность человека и окружающей среды  
(код и наименование направления подготовки (специальности))

Программа рассмотрена на заседании кафедры \_\_\_\_\_  
(название кафедры)

Протокол заседания № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / проф. Красавин Е.А. /  
(ученое звание) (подпись) (фамилия, имя, отчество)

**СОГЛАСОВАНО**

заведующий выпускающей кафедрой<sup>1</sup> \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
(ученое звание) (подпись) (фамилия, имя, отчество)  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рецензент: \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание, Ф.И.О., место работы, должность)

Руководитель библиотечной системы \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
(подпись) (ФИО)

<sup>1</sup> Для программ общеуниверситетских кафедр

## 1. Аннотация

Курс «Введение в теорию переноса излучений» входит в учебный план подготовки специалистов в области радиационной безопасности в качестве инженеров, инженеров-исследователей и научных сотрудников по направлению 140307 – «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Он изучается студентами на третьем курсе в шестом семестре после получения ими элементарных знаний по дифференциальному и интегральному исчислению в курсе математического анализа, основных свойств функций распределения в курсе теории вероятности и математической статистики, а также основ теории ядра и элементарных частиц в курсе физики.

Курс состоит из теоретических лекций, на которых предусмотрены и практические задания, а также самостоятельной работы студентов с выполнением домашних работ. Текущий контроль знаний студентов проводится в виде контрольной работы на 8-ой неделе семестра. Проверка полученных знаний и навыков осуществляется в конце семестра в виде зачета по теоретической части курса и практическим заданиям.

### **ТРЕБОВАНИЯ К ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ МИНИМУМУ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМИРОВАННОГО СПЕЦИАЛИСТА «ЯДЕРНЫЕ ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИИ»**

**СП.07** “Радиационная безопасность человека и окружающей среды”

**СД.06** Введение в теорию переноса ионизирующих излучений **93**

**Характеристики поля излучений и единицы их измерения; взаимодействие фотонов, нейтронов и электронов с веществом; дважды дифференциальные сечения рассеяния; интегро-дифференциальная и интегральная форма уравнения переноса; аналитические методы решения уравнения переноса: элементарная теория диффузии, теория замедления, теория возраста, метод последовательных столкновений.**

## 2. Цель и задачи дисциплины

### **Цель дисциплины**

Цель преподавания данной дисциплины состоит в изложении особенностей взаимодействия ионизирующих излучений с веществом с точки зрения переноса излучений в веществе, получении кинетических уравнений, описывающих процесс переноса, и раскрытии основных аналитических методов решения этих уравнений.

### **Задачи дисциплины**

Основными задачами освоения дисциплины являются ознакомление студентов с принципами построения кинетических уравнений переноса излучений и методами приближенного аналитического решения этих уравнений, а также получение теоретических знаний и практических навыков в применении различных методов теории переноса к решению конкретных задач по расчету характеристик поля излучения в средах.

### 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В ходе изучения дисциплины студенты получают:

- знания об основных положениях теории переноса, принципах составления уравнений, пределах их применимости и основных методах решения;
- умение оценивать возможность использования различных подходов для решения задач о прохождении излучений;
- навыки элементарных расчетов основных характеристик полей излучений.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы (85 час):

Вид занятий	Всего часов	Семестры	
		V	VI
Общая трудоемкость	93		93
Аудиторные занятия:	34		34
Лекции	34		34
Практические занятия (ПЗ)			
Семинары (С)			
Лабораторные работы (ЛР)			
Самостоятельная работа:	59		59
Курсовой проект (работа)			
Расчетно-графические работы			
Реферат			
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Зачет		Зачет

### 5. Разделы (темы) дисциплины, содержание и виды занятий

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины, содержание	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР	самостоятельная работа студентов
1.	Дифференциальные и интегральные характеристики поля	6			11
2.	Взаимодействие излучений с веществом	10			17
3.	Уравнение переноса	6			12
4.	Аналитические методы решения уравнения переноса	12			19

## Содержание разделов дисциплин

1. Дифференциальные и интегральные характеристики поля. Активность радионуклида. Постоянная распада и период полураспада. Поточковые и токовые **характеристики поля излучений и единицы их измерения.** Понятие элементарной сферы. Флюенс частиц. Плотность тока частиц вдоль заданного направления.

2. Взаимодействие излучений с веществом. **Дважды дифференциальные** по углам и энергии **сечения рассеяния.** Макроскопическое сечение взаимодействия (линейный коэффициент ослабления), длина свободного пробега, слой половинного ослабления. **Взаимодействие электронов** и других заряженных частиц **с веществом.** Ионизационные и радиационные потери, формула Бете-Гайтлера. **Взаимодействие фотонов с веществом.** Фотоэффект, комптоновское рассеяние, образование электронно-позитронных пар. **Взаимодействие нейтронов с веществом.** Классификация нейтронов по энергиям. Стадии протекания ядерных реакций с участием нейтронов. Кинематика упругого рассеяния нейтронов. Макроскопические сечения поглощения и деления.

3. Уравнение переноса. **Интегро-дифференциальная форма уравнения переноса** (кинетическое уравнение Больцмана). Граничные условия. Уравнение переноса для плоской, цилиндрической и сферической геометрии. Свойства уравнения переноса. **Интегральная форма уравнения переноса** (уравнение Пайерлса).

4. Аналитические методы решения уравнения переноса. **Элементарная теория диффузии.**  $P_N$  - разложение. Транспортное сечение и сечение поглощения. Коэффициент и длина диффузии. Закон Фика. Функция влияния точечного источника. Сферический и цилиндрический поверхностные источники. Пределы применимости диффузной теории. **Теория замедления.** Уравнение для плотности столкновения и его решение. Приближение непрерывного замедления. Летаргия, плотность замедления и возраст. **Теория возраста.** Уравнение возраста. Условие применимости возрастной теории. **Метод последовательных столкновений.** Представление плотности полного потока частиц в методе последовательных столкновений. Плотности потоков одно- и двухкратно рассеянных частиц в односкоростном приближении.

## **6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### Основная литература

1. Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения): учебник. Изд.: ФИЗМАЛИТ, 2004, 443 стр.
2. А.П. Черняев. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. М.: Физматлит, 2004.
3. Юрасова Т.И. Основы радиационной безопасности: Учебное пособие. Изд.: АТиСО, 2008 г., 156 стр.

### Дополнительная литература

1. Кирсанова З.В. Радиоактивность: открытие, виды радиоактивности, основные закономерности и количественные характеристики: Учебное пособие. Изд.: Издательство МГОУ, 2006 г., С.42
2. Петров Ю.Ф., Рубин А.Б., Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения: Учебник для вузов. Изд.: ФИЗМАЛИТ, 2008 г., 184 стр.

## 7. Технические и электронные средства обучения

В ходе изучения курса предусмотрено использование компьютера для выполнения расчетов с применением программных пакетов MathCAD.

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

*(указываются специализированные лаборатории и классы, основные приборы, установки)*

Специализированный класс, оборудованный компьютерами с программным обеспечением MathCAD и мультимедийным оснащением.

## 9. Формы контроля

**Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:**

1. Что называется источником ионизирующих излучений?
2. Сколько  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  с периодом полураспада 138,4 суток распадется через 20 суток от исходного количества  $m_0 = 2$  мг?
3. Активность  ${}_{27}^{60}\text{Co}$  с периодом полураспада 5,27 года составляет  $10^9$  Бк. Рассчитать число радиоактивных атомов этого препарата через 5 лет.
4. Определить активность 1 мг  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ , период полураспада которого 1600 лет.
5. В чем отличие потоковых и токовых характеристик полей излучения?
6. Написать формулу для флюенса от точечного изотропного источника.
7. Пусть за 1 с в 1 Ср движется  $J_{\varphi_k}(\vec{r}, \vec{\Omega}) = \frac{3}{2\pi} J_0 \cos \theta$  при  $0 \leq \theta \leq \pi/2$  и 0 при  $\pi/2 < \theta \leq \pi$ . Определить отношение плотности тока  $J_{\varphi_k}(\vec{r})$  к плотности потока  $\varphi(\vec{r})$ .
8. Определить флюенс фотонного излучения за время облучения  $t_0 = 5$ ч, если фотонов в начальный момент в точке детектирования плотности потока фотонов радионуклеидного источника  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  с периодом полураспада  $T_{1/2} = 15$ ч составляла  $2 \cdot 10^6 \frac{\text{фотон}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$ .
9. Дать определение микроскопического и макроскопического сечений взаимодействия.
10. Микроскопическое сечение взаимодействия фотонов с энергией  $E_0 = 1$ МэВ для свинца ( $A = 207$ ) равно  $2,34 \cdot 10^{-23} \text{см}^2$ . Определить линейный коэффициент ослабления фотонов, если плотность свинца  $\rho = 11,34 \text{г/см}^3$ .
11. Рассчитать линейный коэффициент ослабления для узкого пучка фотонов в железе, если известно, что железная пластина толщиной 4 см ослабляет плотность потока нерассеянных фотонов в 10 раз.
12. Назвать основные процессы взаимодействия заряженных излучений с веществом.
13. Оценить энергии электронов, при которых наблюдается равенство ионизационных и радиационных потерь в железе ( $Z = 26$ ).
14. Определите, во сколько раз ионизационные потери электронов с энергией  $E_0 = 2,5$  МэВ в алюминии ( $Z = 13$ ) превышают радиационные потери.
15. Назвать основные процессы взаимодействия фотонов с веществом.

16. На какой угол отклонится фотон с начальной энергией  $E_0 = 2,75$  МэВ в результате комптоновского рассеяния, если его энергия после рассеяния составит 24% начальной? Энергия массы покоя электрона  $m_0c^2 \approx 0,51$  МэВ.
17. Определить кинетическую энергию электрона и позитрона, образующихся в элементарном акте эффекта образования пар, если энергия фотона равна 8 МэВ. Энергия массы покоя электрона (позитрона)  $m_0c^2 \approx 0,51$  МэВ.
18. Дать классификацию нейтронов по энергиям.
19. Назвать стадии протекания ядерных реакций с участием нейтронов.
20. Нейтрон с энергией  $E' = 0,5$  Мэв испытал упругое рассеяние на ядрах водорода ( $A = 1$ ). Определить угол рассеяния в системе центра масса, если энергия рассеянного нейтрона равна  $E_s = 0,3$  Мэв.

### Перечень вопросов, выносимых на зачет

1. Закон радиоактивного распада. Единицы активности радиоактивных нуклидов.
2. Дифференциальные и интегральные потоковые характеристики поля излучения.
3. Дифференциальные и интегральные токовые характеристики поля излучения.
4. Законы ослабления пучков излучения. Определение микро- и макроскопических полных сечений взаимодействия.
5. Упругое рассеяние заряженных частиц. Формула Резерфорда.
6. Радиационные и ионизационные потери заряженных частиц. Формула Бете-Гайтлера.
7. Фотоэлектрический эффект.
8. Комптоновское рассеяние.
9. Образование электронно-позитронных пар.
10. Классификация нейтронов по энергиям. Стадии протекания ядерных реакций с участием нейтронов.
11. Кинематика упругого рассеяния нейтронов на ядрах вещества.
12. Неупругое рассеяние нейтронов в веществе.
13. Интегрально-дифференциальная форма уравнения переноса.
14. Свойства уравнения переноса.
15. Интегральная форма уравнения переноса (уравнение Пайерлса).
16. Элементарная теория диффузии. Пределы применимости диффузной теории.
17. Транспортное сечение и сечение поглощения. Коэффициент и длина диффузии. Закон Фика.
18. Уравнение диффузии для плоской геометрии и его решение.
19. Функция влияния точечного источника.
20. Сферический и цилиндрический поверхностные источники.
21. Теория замедления. Уравнение для плотности столкновения и его решение.
22. Приближение непрерывного замедления. Летаргия, плотность замедления и возраст.
23. Теория возраста. Уравнение возраста. Условие применимости возрастной теории.
24. Метод последовательных столкновений. Представление плотности полного потока частиц в методе последовательных столкновений.
25. Плотности потоков одно- и двукратно рассеянных частиц в односкоростном приближении.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

Рабочей программой дисциплины «Введение в теорию переноса излучений» предусмотрена самостоятельная работа студентов в объеме 51 часов.

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение отдельных разделов тем дисциплины;
- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- выполнение домашних заданий;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля.

Последовательность всех контрольных мероприятий изложена в календарном плане, который доводится до сведения каждого студента в начале семестра, а также размещен на сайте кафедры.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе.

По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе дисциплины «Введение в теорию переноса излучений», следует сначала прочитать рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

## **МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ КОНТРОЛЕ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ**

1. Устный опрос на аудиторных занятиях.
2. Проверка выполнения домашних заданий.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

К УМК приложены распечатанные слайды лекций.