

**ВЫСШЕЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

В. И. Беспалов

**НАДЗОР И КОНТРОЛЬ
В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ
РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА**

6-е издание

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	10
Основные обозначения и константы	11
ЛЕКЦИЯ 1. Ионизирующие излучения: практическая польза, потенциальная угроза здоровью	12
1.1. Области применения источников ионизирующих излучений	12
1.2. Особенности взаимодействия ионизирующих излучений с биологической средой	19
1.2.1. Радиолиз. Прямое и косвенное действие излучения	22
1.2.2. ЛПЭ. Радиобиологический парадокс	26
1.2.3. Строение животной клетки	29
1.2.4. ДНК, хромосомы, гены	32
1.2.5. Повреждение и восстановление ДНК	34
1.2.6. Теоретические представления о механизме биологического действия ионизирующего излучения	37
1.2.7. Радиочувствительность	40
1.2.8. Модификации лучевого поражения	41
Задание 1	45
Список литературы	46
<u>ЧАСТЬ 1. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ</u>	
ЛЕКЦИЯ 2. Основные понятия	48
2.1. Активность радионуклида	48
2.2. Поточковые и токовые характеристики поля излучения	50
2.3. Дозиметрические характеристики поля излучения	53
2.4. Поле излучения точечного радионуклида	59
2.5. Базисные и фантомные дозиметрические величины	61
Задание 2	63
Список литературы	65
ЛЕКЦИЯ 3. Классификация источников излучения и защит	67
3.1. Классификация источников излучения	67
3.2. Классификация защит	69
3.3. Особенности ослабления пучков излучения	71
Задание 3	75
Список литературы	76
ЛЕКЦИЯ 4. Фоновое облучение. Нормы радиационной безопасности. Нормируемые и операционные дозиметрические величины 77	
4.1. Уровни фонового облучения человека	77
4.1.1. Доза от внешнего космического излучения	78
4.1.2. Доза от внешнего фотонного излучения почвы	78
4.1.3. Доза от внешнего фотонного излучения воздуха	79
4.1.4. Доза внутреннего облучения от космогенных радионуклидов	80
4.1.5. Доза внутреннего облучения от радионуклидов земного происхождения	90
4.1.6. Техногенный радиационный фон	80

4.1.7. Радиационный фон от искусственных источников	81
4.2. Нормы радиационной безопасности	82
4.2.1. Основные определения	82
4.2.2. Основные категории облучаемых лиц. Основные пределы доз. Допустимые уровни	86
4.2.3. Ограничение природного и медицинского облучения	90
4.2.4. Планируемое повышенное облучение	91
4.2.5. Современные принципы нормирования облучения человека	92
4.3. Нормируемые и операционные дозиметрические величины	94
Задание 4	102
Список литературы	103
ЛЕКЦИЯ 5. Гамма-излучение радионуклидов	105
5.1. Гамма-постоянная и керма-постоянная радионуклидного источника ...	105
5.2. Радиевый гамма-эквивалент	108
5.3. Керма-эквивалент	109
Задание 5	110
Список литературы	112

ЧАСТЬ 2. ЗАЩИТА ОТ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ЛЕКЦИЯ 6. Взаимодействие фотонов с веществом	114
6.1. Фотоэффект	115
6.2. Эффект Комптона	119
6.3. Эффект образования электрон-позитронных пар	125
6.4. Фотоядерные реакции	127
6.5. Полное сечение взаимодействия фотонов	129
Задание 6	133
Список литературы	135
ЛЕКЦИЯ 7. Факторы накопления фотонного излучения	137
7.1. Факторы накопления однородных сред	137
7.2. Факторы накопления гетерогенных сред	146
Задание 7	148
Список литературы	150
ЛЕКЦИЯ 8. Инженерные методы расчета защиты от первичного гамма-излучения радионуклидов	152
8.1. Характеристики некоторых радионуклидов как гамма-источников	155
8.2. Защита временем, количеством, расстоянием	159
8.3. Расчет защиты с помощью универсальных таблиц	160
8.4. Расчет защиты с помощью номограмм	162
8.5. Расчет защиты от плоских и точечных изотропных источников по слоям ослабления	167
8.6. Метод конкурирующих линий	172
Задание 8	174
Список литературы	177

ЛЕКЦИЯ 9. Поле излучения радионуклидных источников различных геометрических форм	178
9.1. Точечный источник	179
9.2. Линейный источник	181
9.3. Дискковый источник	189
9.4. Цилиндрический объемный источник	193
9.4.1. Цилиндрический источник без самопоглощения и рассеяния излучения в источнике	194
9.4.2. Цилиндрический источник с самопоглощением	195
9.4.3. Учет рассеянного в источнике излучения	195
9.5. Графический метод расчета защиты от гамма-излучения объемных источников	196
Задание 9	200
Список литературы	204
ЛЕКЦИЯ 10. Альbedo	205
10.1. Основные понятия и определения	205
10.2. Альbedo фотонов	208
10.2.1. Энергетическое распределение отраженных фотонов	209
10.2.2. Зависимость альbedo от угла падения фотонов	210
10.2.3. Зависимость альbedo от угла отражения	210
10.2.4. Зависимость альbedo от энергии фотонов источника и атомного номера отражающего вещества	211
10.2.5. Зависимость альbedo от толщины отражающего вещества	212
10.2.6. Формы представления данных по альbedo	212
10.3. Скайшайн излучений	216
Задание 10	218
Список литературы	220
ЛЕКЦИЯ 11. Расчет защиты от первичного и рассеянного гамма-излучения радионуклидов	221
11.1. Расчет защиты от первичного гамма-излучения	221
11.1.1. Расчет защиты с помощью универсальных таблиц и номограмм	222
11.1.2. Метод слоев ослабления	222
11.1.3. Метод ослабления широкого пучка (МОШП)	223
11.2. Расчет защиты от рассеянного гамма-излучения	226
11.2.1. Расчет защиты от рассеянного гамма-излучения с помощью универсальных таблиц	227
Задание 11	230
Список литературы	232
ЛЕКЦИЯ 12. Защита от рентгеновского излучения	233
12.1. Характеристики рентгеновского излучения	233
12.2. Защита от первичного рентгеновского излучения	235
12.2.1. Расчет защиты по эффективной энергии спектра	235
12.2.2. Метод номограмм	236
12.3. Защита от рассеянного рентгеновского излучения	243
Задание 12	249

Список литературы	250
ЛЕКЦИЯ 13. Защита от тормозного излучения.....	251
13.1. Защита от тормозного излучения бета-частиц	251
13.1.1. Формула Виарда.....	252
13.1.2. Гамма-постоянная	253
13.1.3. Метод конкурирующих линий.....	253
13.2. Расчет защиты от тормозного излучения электронных ускорителей.....	253
13.2.1. Защита от тормозного излучения электронов с энергиями 0,2–3,0 МэВ	253
13.2.2. Метод слоев ослабления	254
13.2.3. Номограммы Машковича.....	258
13.2.4. Новые номограммы для расчета защиты от первичного тормозного излучения	260
13.3. Защита от рассеянного тормозного излучения	272
13.3.1. Расчет защиты с помощью универсальных таблиц	272
13.3.2. Номограммы для расчета защиты от рассеянного тормозного излучения	274
Задание 13	278
Список литературы	280
ЛЕКЦИЯ 14. Расчет лабиринтов	281
14.1. Прохождение излучения через неоднородности в защите	281
14.2. Общая схема расчета лабиринта.....	283
14.3. Приближенный расчет прямоугольного лабиринта	287
Задание 14	288
Список литературы	290
ЛЕКЦИЯ 15. Защита от радиоактивных веществ, образующихся в воздухе под действием тормозного излучения	292
15.1. Наведенная активность воздуха	292
15.2. Активация воздуха тормозным излучением.....	295
Задание 15	300
Список литературы	301
ЛЕКЦИЯ 16. Защита от вредных веществ, образующихся в воздухе под действием ионизирующего излучения	302
16.1. Радиолиз	302
16.2. Радиолиз воздуха.....	304
Задание 16	313
Список литературы	315
ЛЕКЦИЯ 17. Защитные материалы от фотонного излучения.....	317
Задание 17	321
Список литературы	322

ЧАСТЬ 3. ЗАЩИТА ОТ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

ЛЕКЦИЯ 18. Защита от электронного излучения.....	323
18.1. Процессы взаимодействия электронов и позитронов с веществом	323
18.1.1. Упругое рассеяние.....	323

18.1.2. Многократное рассеяние	325
18.1.3. Неупругое рассеяние электронов и позитронов на атомах	328
18.1.4. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов	329
18.1.5. Тормозное излучение	334
18.1.6. Потери энергии на тормозное излучение. Полные потери энергии электронов и позитронов	337
18.1.7. Аннигиляционное излучение	338
18.2. Коэффициенты пропускания, пробеги электронов и позитронов	340
18.3. Альbedo электронов	343
18.4. Защита от электронов и бета-частиц	345
Задание 18	350
Список литературы	353
ЛЕКЦИЯ 19. Защита от альфа-частиц и протонов небольших энергий 355	
19.1. Процессы взаимодействия альфа-частиц и протонов с веществом	355
19.1.1. Упругое кулоновское рассеяние	357
19.1.2. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов	357
19.1.3. Ядерные взаимодействия протонов и альфа-частиц	360
19.2. Пробеги протонов и альфа-частиц	365
19.3. Защита от протонов и альфа-частиц	367
Задание 19	368
Список литературы	370
ЛЕКЦИЯ 20. Основы защиты ускорителей заряженных частиц 372	
20.1. Применение ускорителей заряженных частиц	372
20.2. Ионизирующее излучение ускорителей	376
20.3. Особенности защиты протонных ускорителей на большие энергии ...379	
20.3.1. Пространственные размеры источника. Основные требования, предъявляемые к защите	379
20.3.2. Ослабление адронов	382
20.3.3. Электрон-фотонные ливни	386
20.3.4. Некоторые характеристики ядерно-электромагнитных каскадов	388
20.3.5. Особенности защиты от мюонов	393
20.3.6. Основные задачи, решаемые радиационной защитой на ускорителях высокой энергии	401
20.4. Основные факторы вредного воздействия ускорителей	401
20.4.1. Импульсное мгновенное излучение. Скайшайн	402
20.4.2. Наведенная радиоактивность материалов	403
20.4.3. Наведенная радиоактивность воздуха	410
20.5. Особенности защиты ускорителей электронов	414
20.6. Примеры расчетов радиационных условий на ускорителях заряженных частиц	420
Задание 20	430
Список литературы	434
ЛЕКЦИЯ 21. Основы радиационной безопасности при космических полетах 438	
21.1. Радиационные условия в космическом пространстве	438
21.1.1. Галактические космические лучи	438

21.1.2. Солнечные космические лучи	440
21.1.3. Радиационные пояса Земли	441
21.2. Особенности радиационной защиты в космосе	447
21.3. Стандарты радиационной безопасности космических полетов	450
21.3.1. Нормы радиационной безопасности космических полетов на основе концепции радиационного риска	450
21.4. Обеспечение радиационной безопасности космических полетов	453
Задание 21	457
Список литературы	459

ЧАСТЬ 4. ЗАЩИТА ОТ НЕЙТРОНОВ

ЛЕКЦИЯ 22. Взаимодействие нейтронов с веществом	461
22.1. Упругое рассеяние нейтронов	464
22.1.1. Кинематика упругого рассеяния нейтронов	464
22.1.2. Упругое потенциальное рассеяние нейтронов	467
22.1.3. Упругое резонансное рассеяние нейтронов	467
22.2. Неупругое рассеяние нейтронов	471
22.3. Радиационный захват нейтронов	476
22.4. Неупругие реакции поглощения нейтронов с вылетом заряженных частиц и нейтронов	482
22.5. Деление ядер	462
22.6. Полное сечение взаимодействия нейтронов. Использование нейтронных сечений	492
Задание 22	498
Список литературы	499
ЛЕКЦИЯ 23. Источники нейтронов	501
23.1. Основные характеристики нейтронных источников	501
23.2. Радионуклидные источники нейтронов	506
23.3. Источники нейтронов на основе ускорителей заряженных частиц	511
23.4. Ядерный реактор как источник нейтронов	514
23.5. Ядерный взрыв как источник нейтронов	516
Задание 23	517
Список литературы	518
ЛЕКЦИЯ 24. Инженерные методы расчета защиты от нейтронов	520
24.1. Доза от нейтронов в биологической ткани	520
24.2. Ослабление моноэнергетических нейтронов	526
24.3. Метод длин релаксации	528
24.4. Метод сечения выведения	530
24.4.1. Сечение выведения гетерогенных сред	532
24.4.2. Сечение выведения гомогенных сред	534
24.5. Коэффициенты накопления подпороговых нейтронов	536
24.6. Защита из воды от нейтронов (α, n) источников	539
24.7. Защита от смешанного нейтронного и гамма-излучения	543
24.8. Активация материалов в поле нейтронов	551
24.9. Альбеда нейтронов	553

Задание 24	554
Список литературы	557
ЛЕКЦИЯ 25. Защита от фотонейтронов тормозного излучения	559
25.1. Расчет первичной и вторичной защиты	561
25.2. Расчет лабиринта от фотонейтронов	573
25.3. Наведенная активность	579
Задание 25	580
Список литературы	581
ЛЕКЦИЯ 26. Источники излучения и выбросы АЭС. Защитные материалы от нейтронного излучения	583
26.1. Источники излучения в активной зоне реактора	583
26.2. Источники излучения в технологическом контуре	588
26.3. Защита корпуса реактора	590
26.4. Выбросы АЭС в окружающую среду	591
26.5. Защитные материалы от нейтронного излучения	594
26.5.1. Защитные материалы для стационарных источников нейтронов	595
26.5.2. Защитные материалы для транспортных источников нейтронов	598
Задание 26	601
Список литературы	602

ЧАСТЬ 5. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ЛЕКЦИЯ 27. Основы радиационной безопасности	603
27.1. Классификация лучевых поражений организма человека	603
27.2. Организация работ с источниками ионизирующих излучений	605
27.2.1. Общие положения	605
27.2.2. Работа с закрытыми источниками излучения и устройствами, генерирующими ионизирующее излучение	608
27.2.3. Работа с открытыми источниками излучения (радиоактивными веществами)	610
27.2.4. Радиационная безопасность населения при воздействии природных источников излучения	617
27.2.5. Облучение работников	618
27.2.6. Основные правила обращения с радиоактивными отходами	619
27.2.7. Методы и средства индивидуальной защиты и личной гигиены персонала	621
27.2.8. Радиационный контроль при работе с техногенными источниками излучения	623
27.2.9. Задачи службы радиационной безопасности	625
27.3. Требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии. Уровни вмешательства	626
27.4. Основы безопасной перевозки радиоактивных веществ	630
Задание 27	638
Список литературы	639
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПРОГРАММА «Компьютерная лаборатория»	640
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТАБЛИЦЫ, ГРАФИКИ	658
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ЗАДАНИЕ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	715
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	720