УНИВЕРСИТЕТЫ РОССИИ

В. И. Беспалов

НАДЗОР И КОНТРОЛЬ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА

4-е издание

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЮРАЙТ издательство

biblio-online.ru

ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

В. И. Беспалов

НАДЗОР И КОНТРОЛЬ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ. РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА И МАГИСТРАТУРЫ

4-е издание

Допущено Учебно-методическим объединением вузов направления подготовки 140300 «Ядерные физика и технологии» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Ядерные физика и технологии»

Книга доступна в электронной библиотечной системе biblio-online.ru

Москва ▪ Юрайт ▪ 2016

УДК 614.876(075.8)
ББК 51.26я73
Б53

***Автор*:**

Беспалов Валерий Иванович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной физики Физико-технического института Томского политехнического университета.

***Рецензенты*:**

Сычев Б. С. — доктор технических наук, начальник отдела Московского радиотехнического института РАН;

Лисин В. А. — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ онкологии Сибирского отделения РАМН.

Беспалов, В. И.

Б53 Надзор и контроль в сфере безопасности. Радиационная защита : учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / В. И. Беспалов. — 4-е изд. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 507 с. — Серия : Университеты России.

ISBN 978-5-9916-7028-9

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

В пособии рассмотрены физические величины в области защиты от излучений, нормы радиационной безопасности, методы расчета защиты от гамма-излучения радионуклидных источников, рентгеновского и тормозного излучения, защита ускорителей заряженных частиц, радиационные условия при космических полетах, основные правила безопасной работы с ионизирующими излучениями. Пособие содержит большое количество таблиц и номограмм, необходимых для проведения расчетов защиты, в конце каждой лекции имеются задания с контрольными вопросами и задачами.

Для бакалавров и магистрантов, обучающихся по направлениям, связанным с защитой от ионизирующих излучений и их применением.

УДК 614.876(075.8)
ББК 51.26я73

Delphi Law Company

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-9916-7028-9

© Беспалов В. И., 2014
© ООО «Издательство Юрайт», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие **9**
Основные обозначения и константы **10**
ЛЕКЦИЯ 1. Введение **11**
Задание 1 20
Список литературы 20

ЧАСТЬ 1. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

ЛЕКЦИЯ 2. Основные понятия **21**
2.1. Активность радионуклида 21
2.2. Потоковые и токовые характеристики поля излучения 23
2.3. Дозиметрические характеристики поля излучения 26
Задание 2 31
Список литературы 32

ЛЕКЦИЯ 3. Классификация источников излучения и защит **34**
3.1. Классификация источников излучения 34
3.2. Классификация защит 36
3.3. Особенности ослабления пучков излучения 38
Задание 3 42
Список литературы 43

ЛЕКЦИЯ 4. Гамма-излучение радионуклидов **44**
4.1. Гамма-постоянная и керма-постоянная радионуклидного источника 44
4.2. Радиевый гамма-эквивалент 46
4.3. Керма-эквивалент 47
Задание 4 48
Список литературы 50

ЛЕКЦИЯ 5. Фоновое облучение. Нормы радиационной безопасности **51**
5.1. Уровни фонового облучения человека 51
5.1.1. Доза от внешнего космического излучения 52
5.1.2. Доза от внешнего фотонного излучения почвы 52
5.1.3. Доза от внешнего фотонного излучения воздуха 53
5.1.4. Доза внутреннего облучения от космогенных радионуклидов 53
5.1.5. Доза внутреннего облучения от радионуклидов земного происхождения 54
5.1.6. Техногенный радиационный фон 54
5.1.7. Радиационный фон от искусственных источников 54
5.2. Нормы радиационной безопасности 55
5.2.1. Основные определения 55
5.2.2. Основные категории облучаемых лиц. Основные пределы доз. Допустимые уровни 58
5.2.3. Современные принципы нормирования облучения человека 61
5.3. Поле излучения точечного радионуклида 63
5.4. Базисные и фантомные дозиметрические величины 64
Задание 5 68
Список литературы 70

ЛЕКЦИЯ 6. Взаимодействие фотонов с веществом 72

6.1. Фотоэффект 73
6.2. Эффект Комптона 77
6.3. Эффект образования электрон-позитронных пар 82
6.4. Фотоядерные реакции 85
6.5. Полное сечение взаимодействия фотонов 87
Задание 6 91
Список литературы 92

ЛЕКЦИЯ 7. Факторы накопления фотонного излучения 94

7.1. Факторы накопления гомогенных сред 94
7.2. Факторы накопления гетерогенных сред 102
Задание 7 104
Список литературы 106

ЛЕКЦИЯ 8. Инженерные методы расчета защиты от первичного гамма-излучения радионуклидов 107

8.1. Характеристики некоторых радионуклидов как гамма-излучателей 109
8.2. Защита временем, количеством, расстоянием 112
8.3. Расчет защиты с помощью универсальных таблиц 113
8.4. Расчет защиты с помощью номограмм 115
8.5. Расчет защиты от плоских и точечных изотропных источников по слоям ослабления 121
8.6. Метод конкурирующих линий 126
Задание 8 128
Список литературы 131

ЛЕКЦИЯ 9. Поле излучения радионуклидных источников различных геометрических форм 132

9.1. Точечный источник 133
9.2. Линейный источник 135
9.3. Дисковый источник 143
9.4. Цилиндрический объемный источник 147
9.4.1. Цилиндрический источник без самопоглощения и рассеяния излучения в источнике 148
9.4.2. Цилиндрический источник с самопоглощением 149
9.4.3. Учет рассеянного в источнике излучения 149
9.5. Графический метод расчета защиты от гамма-излучения объемных источников 150
Задание 9 153
Список литературы 158

ЛЕКЦИЯ 10. Альбедо 159

10.1. Основные понятия и определения 159
10.2. Альбедо фотонов 162
10.2.1. Энергетическое распределение отраженных фотонов 163
10.2.2. Зависимость альбедо от угла падения фотонов 164

10.2.3. Зависимость альбедо от угла отражения ... 164
10.2.4. Зависимость альбедо от энергии фотонов источника и атомного номера материала рассеивателя ... 164
10.2.5. Зависимость альбедо от толщины рассеивателя ... 165
10.2.6. Формы представления данных по альбедо ... 166
10.3. Скайшайн и квазискайшайн излучений ... 169
Задание 10 ... 171
Список литературы ... 173

ЛЕКЦИЯ 11. Расчет защиты от первичного и рассеянного гамма-излучения радионуклидов ... 174

11.1. Расчет защиты от первичного гамма-излучения ... 174
11.1.1. Расчет защиты с помощью универсальных таблиц и номограмм ... 175
11.1.2. Метод слоев ослабления ... 175
11.1.3. Метод ослабления широкого пучка (МОШП) ... 176
11.2. Расчет защиты от рассеянного гамма-излучения ... 179
11.2.1. Расчет защиты от рассеянного гамма-излучения с помощью универсальных таблиц ... 180
Задание 11 ... 183
Список литературы ... 185

ЛЕКЦИЯ 12. Защита от рентгеновского излучения ... 186

12.1. Характеристики рентгеновского излучения ... 186
12.2. Защита от первичного рентгеновского излучения ... 188
12.2.1. Расчет защиты по эффективной энергии спектра ... 188
12.2.2. Метод номограмм ... 189
12.3. Защита от рассеянного рентгеновского излучения ... 196
Задание 12 ... 202
Список литературы ... 203

ЛЕКЦИЯ 13. Защита от тормозного излучения ... 204

13.1. Защита от тормозного излучения β-частиц ... 204
13.1.1. Формула Виарда ... 204
13.1.2. Гамма-постоянная ... 206
12.1.3. Метод конкурирующих линий ... 206
13.2. Расчет защиты от тормозного излучения электронных ускорителей ... 206
13.2.1. Защита от тормозного излучения электронов с энергиями 0,2…3,0 МэВ ... 206
13.2.2. Метод слоев ослабления ... 207
13.2.3. Номограммы Машковича ... 211
13.2.4. Новые номограммы для расчета защиты от первичного тормозного излучения ... 213
13.3. Защита от рассеянного тормозного излучения ... 224
13.3.1. Расчет защиты с помощью универсальных таблиц ... 224
13.3.2. Номограммы для расчета защиты от рассеянного тормозного излучения ... 226
Задание 13 ... 230
Список литературы ... 231

ЛЕКЦИЯ 14. Расчет лабиринтов **232**
14.1. Прохождение излучения через неоднородности в защите 232
14.2. Общая схема расчета лабиринта 234
14.3. Приближенный расчет прямоугольного лабиринта 238
Задание 14 239
Список литературы 241

ЛЕКЦИЯ 15. Защита от радиоактивных веществ, образующихся в воздухе под действием тормозного излучения **242**
15.1. Наведенная активность воздуха 242
15.2. Активация воздуха тормозным излучением 245
Задание 15 250
Список литературы 251

ЛЕКЦИЯ 16. Защита от вредных веществ, образующихся в воздухе под действием ионизирующего излучения **252**
16.1. Радиолиз 252
16.2. Радиолиз воздуха 254
Задание 16 263
Список литературы 265

ЛЕКЦИЯ 17. Защитные материалы от фотонного излучения **266**
Задание 17 270
Список литературы 271

ЧАСТЬ 3. ЗАЩИТА ОТ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

ЛЕКЦИЯ 18. Защита от электронного излучения **272**
18.1. Процессы взаимодействия электронов и позитронов с веществом 272
18.1.1. Упругое рассеяние 272
18.1.2. Многократное рассеяние 274
18.1.3. Неупругое рассеяние электронов и позитронов на атомах 277
18.1.4. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов 278
18.1.5. Тормозное излучение 283
18.1.6. Потери энергии на тормозное излучение. Полные потери энергии электронов и позитронов 286
18.1.7. Аннигиляционное излучение 287
18.2. Коэффициенты пропускания, пробеги электронов и позитронов 288
18.3. Альбедо электронов 292
18.4. Защита от электронов и бета-частиц 293
Задание 18 298
Список литературы 300

ЛЕКЦИЯ 19. Защита от альфа-частиц и протонов небольших энергий **302**
19.1. Процессы взаимодействия альфа-частиц и протонов с веществом 302
19.1.1. Упругое кулоновское рассеяние 303
19.1.2. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов 304
19.1.3. Ядерные взаимодействия протонов и альфа-частиц 307
19.2. Пробеги протонов и альфа-частиц. Защита от протонов и альфа-частиц 311
Задание 19 314
Список литературы 315

ЛЕКЦИЯ 20. Основы защиты ускорителей заряженных частиц 317
20.1. Применение ускорителей заряженных частиц 317
20.2. Ионизирующее излучение ускорителей 322
20.3. Особенности защиты протонных ускорителей на большие энергии 324
20.3.1. Пространственные размеры источника. Основные требования, предъявляемые к защите 324
20.3.2. Ослабление адронов 326
20.3.3. Электрон-фотонные ливни 331
20.3.4. Некоторые характеристики ядерно-электромагнитных каскадов 333
20.3.5. Особенности защиты от мюонов 337
20.3.6. Основные задачи, решаемые радиационной защитой на ускорителях высокой энергии 346
20.4. Основные факторы вредного воздействия ускорителей 346
20.4.1. Импульсное мгновенное излучение. Скайшайн 347
20.4.2. Наведенная радиоактивность материалов 348
20.4.3. Наведенная радиоактивность воздуха 355
20.5. Особенности защиты ускорителей электронов 359
20.6. Примеры расчетов радиационных условий на ускорителях заряженных частиц 364
Задание 20 375
Список литературы 379

ЛЕКЦИЯ 21. Основы радиационной безопасности при космических полетах . 382
21.1. Радиационные условия в космическом пространстве 382
21.1.1. Галактические космические лучи 382
21.1.2. Солнечные космические лучи 384
21.1.3. Радиационные пояса Земли 385
21.2. Особенности радиационной защиты в космосе 390
21.3. Стандарты радиационной безопасности космических полетов 394
21.3.1. Нормы радиационной безопасности космических полетов на основе концепции радиационного риска 394
21.4. Обеспечение радиационной безопасности космических полетов 397
Задание 21 401
Список литературы 403

ЧАСТЬ 4. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ЛЕКЦИЯ 22. Основы радиационной безопасности 404
22.1. Классификация лучевых поражений организма человека 404
22.2. Организация работ с источниками ионизирующих излучений 406
22.2.1. Общие положения 406
22.2.2. Работа с закрытыми источниками излучения и устройствами, генерирующими ионизирующее излучение 409
22.2.3. Работа с открытыми источниками излучения (радиоактивными веществами) 411
22.2.4. Основные правила обращения с радиоактивными отходами 416
22.2.5. Методы и средства индивидуальной защиты и личной гигиены 419
22.2.6. Радиационный контроль при работе с техногенными источниками излучения 420

22.2.7. Задачи службы радиационной безопасности 422
22.3. Требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии. Уровни вмешательства. 423
22.4. Основы безопасной перевозки радиоактивных веществ 427
Задание 22 434
Список литературы 435
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Программа «Компьютерная лаборатория» 437
Введение 437
1. Основные характеристики пакета программ ЕРНСА 437
2. Режимы работы программы КЛ 439
2.1. Режим «Демонстрация» (DEMO) 439
2.2. Режим «Альбедо» (ALBEDO) 442
2.3. Режим «Факторы накопления» (BF) 443
2.4. Режим «Расчет констант» (CONST) 444
2.5. Режим «Расчет защиты» (PROTECT) 444
2.6. Режим «Барьер» (BARRIER) 445
2.7. Режим «Фантом» (PHANTOM) 446
2.8. Режим «Тормозное излучение» (BREMSSTRAHLUNG) 446
Список литературы 447
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТАБЛИЦЫ, ГРАФИКИ 449
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 505