

# Оглавление

Предисловие . . . . .	8
Введение . . . . .	10

## **Р а з д е л 1. Источники ионизирующего излучения, используемые в медицине**

<b>Глава 1. Источники и механизмы взаимодействия ионизирующего излучения с веществом . . . . .</b>	<b>45</b>
1.1. Линейный высоковольтный ускоритель . . . . .	46
1.2. Линейный индукционный ускоритель . . . . .	52
1.3. Линейный резонансный ускоритель . . . . .	53
1.4. Классический циклотрон . . . . .	56
1.5. Фазотрон . . . . .	59
1.6. Изохронный циклотрон . . . . .	61
1.7. Микротрон . . . . .	64
1.8. Бетатрон . . . . .	67
1.9. Синхротрон . . . . .	68
<b>Глава 2. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом . . . . .</b>	<b>72</b>
2.1. Основные понятия . . . . .	72
2.1.1. Виды ионизирующих излучений, основные характеристики (72).	
2.1.2. Основные понятия в дозиметрии ионизирующих излучений (76).	
2.2. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом . . . . .	80
2.2.1. Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц (83).	
2.2.2. Потери энергии при упругом рассеянии тяжелых заряженных частиц (85). 2.2.3. Ядерные реакции (86). 2.2.4. Пробег тяжелых заряженных частиц (88).	
2.3. Взаимодействие электронов с веществом . . . . .	89
2.3.1. Ионизационные потери энергии электронами (92). 2.3.2. Радиационные потери энергии электронами (94).	
2.4. Взаимодействие фотонов с веществом . . . . .	102
2.4.1. Механизмы взаимодействия фотонов с атомами (105). 2.4.2. Взаимодействие рентгеновского излучения с атомами (112). 2.4.3. Взаимодействие фотонов с атомными ядрами (116).	
2.5. Взаимодействие нейтронов с веществом . . . . .	118
<b>Глава 3. Взаимодействие ионизирующего излучения с биологическими объектами . . . . .</b>	<b>124</b>
3.1. Начало радиобиологии . . . . .	127
3.2. Временной масштаб процессов в радиобиологии. Многостадийность действия ионизирующего излучения . . . . .	134
3.3. Качество ионизирующего излучения. Основные понятия . . . . .	139
3.4. Взаимодействие с биологическими тканями ионизирующих излучений разного типа . . . . .	144

3.5. Лучевые реакции молекул и атомов . . . . .	153
3.6. Математическое описание механизмов воздействия ионизирующих излучений на живые объекты . . . . .	158
3.7. Концепция толерантности нормальных тканей и терапевтический интервал . . . . .	165
3.8. Кислородный эффект . . . . .	173
3.9. Математические модели вероятности осложнений нормальных тканей . .	178
3.10. Регламентация облучения человека . . . . .	187
3.11. Действие малых и больших доз ионизирующего излучения . . . . .	190

## **Р а з д е л 2. Ядерная физика в радиационной медицине**

<b>Глава 4. Физика дистанционной лучевой терапии . . . . .</b>	<b>197</b>
4.1. Особенности лучевой терапии на пучках фотонов и электронов . . . . .	197
4.1.1. Физика терапии фотонами (198). 4.1.2. Физика терапии электронами (226).	
4.2. Физика и техника протонной и ионной терапии . . . . .	229
4.2.1. Физика терапии протонами (232). 4.2.2. Установки для протонной терапии (237). 4.2.3. Физика терапии ионами (250).	
4.3. Особенности лучевой терапии нейтронами . . . . .	254
4.3.1. Терапия быстрыми нейтронами (255). 4.3.2. Нейтронзахватная терапия (258).	
4.4. Физика и техника брахитерапии . . . . .	262
4.4.1. Возникновение брахитерапии (262). 4.4.2. Особенности брахитерапии (263). 4.4.3. Современное состояние брахитерапии (264). 4.4.4. Установки для брахитерапии (265). 4.4.5. Классификация методов брахитерапии (266). 4.4.6. Виды брахитерапии по мощности дозы (268). 4.4.7. Виды брахитерапии по типу имплантации (269). 4.4.8. Источники ионизирующего излучения для брахитерапии (271).	
4.5. Тенденции развития ядерно-физических методов в медицине . . . . .	279
4.6. Физика флэш-терапии . . . . .	283
4.6.1. Физический смысл флэш-терапии (284). 4.6.2. Флэш-терапия на пучках протонов (287). 4.6.3. Флэш-терапия электронами (291). 4.6.4. Флэш-терапия на пучках фотонов (293).	
<b>Глава 5. Физика ядерной медицины . . . . .</b>	<b>294</b>
5.1. Радионуклидная диагностика . . . . .	298
5.2. Радионуклидная терапия . . . . .	317
5.2.1. Радиоизотопы для радионуклидной терапии (320). 5.2.2. Дозиметрическое обеспечение радионуклидной терапии (322).	
<b>Глава 6. Лучевая диагностика . . . . .</b>	<b>327</b>
6.1. Рентгенодиагностика . . . . .	327
6.1.1. Физика рентгеновской техники (330). 6.1.2. Методы рентгенодиагностики (331). 6.1.3. Компьютерная томография (335). 6.1.4. Проекты будущего рентгенологии (348).	
6.2. Магнитно-резонансная томография . . . . .	349

### Р а з д е л 3. Практическое использование ядерных технологий в медицине

Глава 7. Дозиметрическое планирование лучевой терапии . . . . .	363
7.1. Дозиметрические параметры оценки планов облучения . . . . .	363
7.2. Дозиметрическое планирование лучевой терапии на пучках протонов. . .	405
7.3. Метод активного сканирования «карандашным» пучком. . . . .	409
7.4. Дозовые характеристики клинических протонных пучков. . . . .	410
7.5. Дозиметрическое планирование брахитерапии . . . . .	412
7.5.1. Расчет дозовых распределений (412). 7.5.2. Системы имплантации при внутритканевой брахитерапии (418). 7.5.3. Клиническое применение и дозиметрические системы (422).	
Глава 8. Клиническая дозиметрия. . . . .	433
8.1. Дозиметрические параметры оценки планов облучения . . . . .	433
8.2. Характеристики поля излучения . . . . .	433
8.2.1. Общие характеристики (433). 8.2.2. Дозиметрические характеристики поля излучения (437). 8.2.3. Преобразование энергии ионизирующего излучения (443). 8.2.4. Дозиметрические системы (453). 8.2.5. Неопределенность измерений дозы (458). 8.2.6. Калибровка систем дозиметрии (459). 8.2.7. Дозиметрические характеристики в клинической практике (460). 8.2.8. Теория полости Брэгга — Грея (461). 8.2.9. Ионизационные камеры (464). 8.2.10. Детекторы (468).	
8.3. Дозы и их измерение. . . . .	470
8.3.1. Абсолютная, эталонная и относительная дозиметрия (471). 8.3.2. Общие характеристики и свойства детекторов (473). 8.3.3. Воспроизводимость (474).	
8.4. Диапазон доз . . . . .	476
8.4.1. Чувствительность дозы и пределы диапазона дозы (476). 8.4.2. Интегральный дозиметр (477). 8.4.3. Дозиметры (478). 8.4.4. Стабильность (479). 8.4.5. Абсолютная калибровка пучков фотонов и электронов с помощью полостных ионизационных камер (480).	
8.5. Абсолютные и относительные измерения поглощенной дозы при дистанционной ЛТ . . . . .	485
8.5.1. Абсолютные измерения (485). 8.5.2. Относительные измерения поглощенной дозы (485). 8.5.3. Дозиметрия малых полей (488).	
Глава 9. Гарантия качества . . . . .	492
9.1. Принципы радиационной безопасности . . . . .	493
9.1.1. Принцип обоснования радиационной безопасности практической деятельности (495). 9.1.2. Особенности реализации радиационной безопасности пациентов в ядерной медицине (498). 9.1.3. Обеспечение радиационной безопасности в подразделениях лучевой терапии (500). 9.1.4. Радиационная безопасность при проведении лучевой терапии с использованием закрытых источников ионизирующего излучения (502).	
9.2. Оптимизация защиты . . . . .	504
9.2.1. Перечень помещений облучения пациентов (504). 9.2.2. Требования к техническому оснащению подразделений лучевой терапии (508). 9.2.3. Требования к методам проведения лучевой тера-	

---

пии (512). 9.2.4. Профилактика и устранение последствий радиационных аварий (513).	
9.3. Радиационная безопасность . . . . .	517
9.3.1. Обеспечение радиационной безопасности пациентов (517).	
9.3.2. Обеспечение радиационной безопасности персонала (518).	
9.3.3. Методы контроля обеспечения радиационной безопасности (521).	
9.3.4. Индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения (523). 9.3.5. Радиационно-дозиметрический контроль внутреннего облучения персонала (525).	
Приложения . . . . .	527
Приложение 1. Физические величины: константы, размерности, плотности	527
Приложение 2. Физические величины взаимодействия ионизирующего излучения с веществом. . . . .	529
Приложение 3. Периодическая система химических элементов (Таблица Менделеева) . . . . .	533
Приложение 4. Взаимодействие ионизирующего излучения с биологическими объектами . . . . .	534
Список литературы . . . . .	539
Предметный указатель . . . . .	546
Список сокращений . . . . .	553