

Р. А. АЛИЕВ,
С. Н. КАЛМЫКОВ

Научная библиотека

БНТУ



РАДИОАКТИВНОСТЬ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Издание третье, стереотипное

НАВУКОВАЯ БІБЛІЯТЭКА

Беларускага нацыянальнага
тэхнічнага ўніверсітэта

Инв. №

1883968

973(6)



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ · МОСКВА · КРАСНОДАР
2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
От авторов	6
Список сокращений	8
<i>Глава первая</i>	
Радиоактивность	10
1.1. Задачи современной радиохимии	10
1.2. Развитие представлений о радиоактивности	12
1.2.1. Открытие радиоактивности	12
1.2.2. Изотопы	15
1.2.3. Теория строения атома	16
1.2.4. Открытие нейтрона	20
1.2.5. Деление урана	20
1.3. Радиоактивный распад	23
1.3.1. Радиоактивность. Энергия связи ядра. Энергия распада	23
1.3.2. Законы сохранения и радиоактивный распад	24
1.3.3. Нейтрино	28
1.3.4. Отдача при β -распаде	33
1.3.5. Гамма-распад и энергетическое состояние ядра	33
1.3.6. Внутренняя конверсия	34
1.3.7. Отдача при γ -распаде	36
1.3.8. Метастабильные состояния	37
1.3.9. Схемы радиоактивного распада	37
1.3.10. Вторичные процессы в атоме	38
1.3.11. Редкие виды распада	39
1.4. Закон радиоактивного распада	40
1.4.1. Единицы радиоактивности	40
1.4.2. Статистический характер радиоактивного распада	42
1.4.3. Радиоактивное равновесие	43

1.5. Устойчивость атомных ядер	
и распространенность химических элементов	49
1.5.1. Нуклидная карта	49
1.5.2. Стабильные ядра	50
1.5.3. Четность N и Z	50
1.5.4. Отношение N/Z	51
1.5.5. Влияние массового числа на устойчивость.	
Деление и синтез	52
1.5.6. Распространенность химических элементов	52
1.5.7. Нуклеосинтез	56
1.5.8. Оболочечная модель ядра и магические числа	57
1.5.9. Сверхтяжелые элементы	58

Глава вторая

Взаимодействие излучения с веществом.

Детектирование излучений	61
2.1. Заряженные частицы	62
2.1.1. Линейная передача энергии	62
2.1.2. Взаимодействие α -частиц с веществом	63
2.1.3. Кривая Брэгга	63
2.1.4. Взаимодействие электронов	
и позитронов с веществом	64
2.1.5. Тормозное излучение	65
2.1.6. Черенковское излучение	66
2.2. Взаимодействие гамма-излучения с веществом	68
2.2.1. Важнейшие механизмы взаимодействия	68
2.2.2. Ослабление γ -излучения	
разными материалами	70
2.3. Химические и физические последствия облучения	72
2.3.1. Радиолиз воды	73
2.3.2. Воздействие излучения на твердые тела	74
2.4. Детектирование ионизирующих излучений	75
2.4.1. Типы детекторов излучений	75
2.4.2. Принципы регистрации спектра	75
2.4.3. Понятие эффективности	77
2.4.4. Ионизационные детекторы	79
2.4.5. Сцинтилляционные детекторы	81
2.4.6. Трековые детекторы и радиография	83
2.5. Гамма-спектрометрия	84
2.5.1. Аппаратурный спектр γ -излучения	84
2.5.2. Зависимость эффективности	
регистрации γ -квантов от энергии	89
2.5.3. Технические характеристики детектора	90
2.5.4. Применение сцинтилляционных γ -детекторов	91
2.5.5. Энергетический диапазон работы детектора	
и виды детекторов	92
2.5.6. Применение γ -спектрометрии	92
2.6. Определение α - и β -излучателей	94

Глава третья

Радиационная безопасность	100
3.1. Понятие дозы	101
3.2. Воздействие излучения на живые организмы	104
3.2.1. Природа воздействия излучения на организм	104
3.2.2. Взаимосвязь эффект-доза	106
3.2.3. Принципы, лежащие в основе радиационной защиты	108
3.3. Вклад различных факторов в дозу облучения	109
3.3.1. Радон в помещениях	110
3.3.2. Внутреннее облучение	111
3.3.3. ^{210}Po и курение табака	111
3.3.4. Регионы с аномальной природной радиоактивностью	111
3.3.5. Космические лучи и высотные полеты	112
3.3.6. Медицинское рентгеновское обследование	112

Глава четвертая

Радиоактивность окружающей среды	116
4.1. Классификация радионуклидов по их происхождению	117
4.1.1. Естественные ряды	117
4.1.2. Космическое излучение и космогенные радионуклиды	119
4.1.3. Искусственные радионуклиды	124
4.2. Радионуклиды как инструмент наук о Земле	124
4.2.1. Методы изотопной геохронологии	125
4.2.2. Метод изохрон	127
4.2.3. Возраст Земли, уран и свинец	129
4.2.4. Исчезнувшие элементы в метеоритах	134
4.2.5. Нарушение равновесия в рядах $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$	135
4.2.6. Датирование современных донных осадков по ^{210}Pb	136
4.3. Космогенные радионуклиды и анализ естественных архивов	138
4.3.1. Ледники как естественный архив	139
4.3.2. Датирование естественных архивов	143
4.3.3. Ускорительная масс-спектрометрия	144
4.3.4. Радиоуглеродное датирование	148
4.4. Поступление техногенных радионуклидов в природу ...	154
4.4.1. Ядерные взрывы	154
4.4.2. Деятельность предприятий ЯТЦ	158
4.4.3. Аварии на АЭС: Чернобыль и Фукусима	159
4.5. Пути миграции радионуклидов в природе	160
4.5.1. Атмосферные пути миграции: Чернобыль	160
4.5.2. Пищевые цепочки	162
4.5.3. Перенос почва — растение. Горячие частицы	164
4.5.4. Лесные экосистемы	165

4.5.5. Водные пути миграции	165
4.5.6. Радионуклиды в морской среде	170
4.5.7. Миграция в полярных регионах.	
Роль ледового покрова	173

Глава пятая

Ядерные реакции и производство радионуклидов	177
5.1. Ядерные реакции	179
5.1.1. Типы ядерных реакций	180
5.1.2. Сечение реакции	181
5.1.3. Энергетика ядерной реакции	182
5.1.4. Механизм ядерной реакции. Составное ядро	183
5.1.5. Резонансные и нерезонансные процессы	184
5.1.6. Испарительная модель	187
5.1.7. Реакции под действием заряженных частиц. Кулоновский барьер	189
5.1.8. Функции возбуждения для реакций с заряженными частицами	190
5.1.9. Реакции под действием нейтронов	192
5.1.10. Фотоядерные реакции	193
5.2. Производство циклотронных радионуклидов	194
5.2.1. расчет наработки радионуклида	194
5.2.2. Способы повышения радионуклидной чистоты	198
5.3. Получение реакторных радионуклидов	201
5.3.1. Удельная радиоактивность реакторных нуклидов	201
5.3.2. Закономерности накопления радионуклидов в реакторе	204
5.4. Радионуклидные генераторы	206
5.5. Радиохимический аспект производства радионуклидов	208
5.5.1. Жидкостная экстракция	208
5.5.2. Экстракционная хроматография	215
5.5.3. Ионообменная хроматография	217
5.5.4. Осаждение	217
5.6. Химия горячих атомов	218
5.6.1. Реакции Сцилларда-Чалмерса	218
5.6.2. Получение сверхтяжелых элементов	222

Глава шестая

Ядерная медицина	226
6.1. Ядерно-физический аспект: выбор радионуклида	228
6.1.1. Радионуклиды для диагностики	229
6.1.2. Терапевтические радионуклиды	231
6.1.3. Радионуклиды с высокой ЛПЭ	233
6.2. Биологический аспект: средства доставки радионуклида	234
6.3. Химические аспекты: синтез радиофармпрепаратов	237

- 6.3.1. Роль координационной химии 237
6.3.2. Введение радионуклидов-металлов
в биомолекулы 241
6.3.3. Введение галогенов 243
6.4. Другие виды радиотерапии 245

Глава седьмая

- Использование радиоактивных индикаторов** 249
7.1. Основы метода радиоактивных индикаторов 249
7.2. Изотопный обмен 250
7.3. Особенности поведения веществ
в ультраразбавленном виде 251
7.4. Мультитрассеры 252
7.5. Применение метода радиоактивных индикаторов 253

Глава восьмая

- Основы ядерной энергетики** 259
8.1. Ядерный топливный цикл 262
8.2. Добыча и переработка урановых руд,
производство ядерных топлив 264
8.2.1. Изотопный эффект. Обогащение урана 266
8.3. Устройство атомных реакторов 268
8.4. Переработка отработанного ядерного топлива
и обращение с радиоактивными отходами 274
8.4.1. Некоторые схемы переработки ОЯТ 277
8.4.2. Геологическое захоронение отработанного
ядерного топлива и радиоактивных отходов 279

- Список литературы** 285