

УДК 621.039.59(075.8)

ББК 35.36я73

Б38

Беденко С.В.

Б38 Ядерная безопасность при хранении облученного керамического ядерного топлива: учебное пособие / С.В. Беденко, И.В. Шаманин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 191 с.

В пособии рассматриваются ядерная и радиационная безопасность при обращении с облученным топливом и другими ядерными материалами. Особое внимание уделено вопросам ядерной безопасности при контролируемом «сухом» хранении облученного ядерного топлива.

Структура изложения и материал, представленный в пособии, оригинальны и не повторяют того, что имеется в распоряжении студентов на сегодняшний день. Более того, некоторые вопросы, предлагаемые читателю, отсутствуют в учебной литературе, однако обсуждаются в научной периодике и в материалах научно-технических конференций. По этой причине пособие будет полезно студентам физико-технических специальностей, а также аспирантам и научным сотрудникам, занимающимся физико-техническими проблемами ядерной энергетики.

УДК 621.039.59(075.8)

ББК 35.36я73

Рецензенты

Кандидат физико-математических наук
начальник отдела радиационной безопасности
ФГУП «Горно-химический комбинат»

В.В. Мартынов

Кандидат технических наук
начальник производственно-экспериментальной лаборатории
реакторного завода ФГУП «Горно-химический комбинат»

А.В. Ратман

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2013

© Беденко С.В., Шаманин И.В., 2013

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА МАТЕРИИ.....	7
1.1. Фундаментальная структура материи	7
1.2. Классификация элементарных частиц.....	13
1.3. Масштабы и единицы величин, характерных для ядерной физики	15
1.4. Особенности физических явлений в микромире	17
1.5. Единая теория поля	25
2. СВОЙСТВА АТОМНЫХ ЯДЕР	27
2.1. Состав атомных ядер	27
2.2. Энергия связи атомных ядер	28
2.3. Капельная модель атомного ядра. Формула Вейцеккера	32
3. ОСНОВНОЙ ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА	39
3.1. Простой радиоактивный распад	39
3.2. Активность радионуклида	43
3.3. Сложный радиоактивный распад	44
3.4. Радиоактивные семейства	48
4. ЭЛЕМЕНТЫ ДОЗИМЕТРИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ	51
4.1. Основные понятия дозиметрии	51
4.2. Радиоактивность.....	52
4.3. Плотность потока ионизирующих частиц или квантов.....	52
4.4. Интенсивность излучения	53
4.5. Дозиметрические характеристики радиационных полей излучения	54
4.6. Дозиметрия гамма-излучения.....	61
5. ЯДЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	66
5.1. Классификация ядерных реакций.....	66
5.2. Эффективное сечение ядерной реакции	67
5.3. Реакции взаимодействия нейтронов с ядрами.....	75
5.3.1. Основные свойства нейтронов	75
5.3.2. Классификация ядерных реакций под действием нейтронов	76
5.3.3. Сечения нейтронных реакций	77
5.3.4. Зависимость сечений от энергии нейтронов	80
6. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ТЕОРИЯ ДЕЛЕНИЯ АТОМНЫХ ЯДЕР.....	84
6.1. Особенности процесса деления атомных ядер	84
6.2. Основные характеристики нейтронных полей излучения.....	102
6.3. Взаимодействие нейтронов с веществом	109

7. РЕАКТОРНЫЕ УСТАНОВКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	113
7.1. Ядерный энергетический реактор	113
7.2. Классификация реакторов	117
7.3. Коэффициент размножения нейтронов. Реактивность.....	120
7.4. Изменение характеристик реакторной установки в процессе работы	123
7.5. Реакторные установки нового поколения	127
8. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОЯТ РЕАКТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	134
8.1. Параметры ионизирующего излучения ОЯТ	136
8.2. Нейтронное излучение ОЯТ с гомогенно распределенными источниками нейтронов	140
8.2.1. Выход нейтронов по каналу спонтанного деления.....	141
8.2.2. Особенности (α , n)-реакции	143
8.2.3. Выход нейтронов в (α , n)-реакции	147
8.2.4. Радиационная безопасность	151
8.2.5. Нуклидный состав топлива и радиационная безопасность при обращении с ядерным топливом.....	153
8.3. Нейтронное излучение ОЯТ с учетом размножения	157
8.3.1. Нейтронное излучение подкритической системы с постоянно действующим источником нейтронов	157
8.3.2. Нейтронное излучение подкритической системы после введения источника нейтронов.....	159
9. ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЯДЕРНЫМИ ДЕЛЯЩИМИСЯ МАТЕРИАЛАМИ	161
10. КОНТРОЛЬ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ОЯТ.....	168
10.1. Система физической защиты ядерных материалов	168
10.2. Система учета и контроля ядерных материалов.....	169
10.3. Категорирование ядерных материалов.....	170
10.4. Ядерная безопасность систем хранения ОЯТ.....	180
10.4.1. Системы хранения ОЯТ	180
10.4.2. Ядерная безопасность систем хранения ОЯТ.....	181
10.5. Контроль ядерно-физических параметров в системах хранения ОЯТ	183
10.5.1. Контроль ядерно-физических параметров в системах хранения. Топливо «свежее»	184
10.5.2. Контроль ядерно-физических параметров в системах хранения. Топливо «выгоревшее»	185
10.5.3. Оптимизация ядерно-физических параметров в системах хранения.....	187
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	189