

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

—
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Физико-механический институт
Высшая школа фундаментальных физических исследований

В. Ю. Сергеев В. Г. Скоков И. А. Шаров

ФИЗИКА ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА УДЕРЖАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ

Рекомендовано федеральным учебно-методическим объединением в системе высшего образования по укрупненным группам специальностей и направлений подготовки 16.00.00. Физико-технические науки и технологии в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки магистров 16.04.01. Техническая физика



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург

2022

УДК 533.9(075.8)
ББК 22.333я73
С32

Рецензенты:

Доктор физико-математических наук, профессор, научный
руководитель работ по проекту ИТЭР в ФТИ им. А. Ф. Иоффе
М. П. Петров

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
НИЛ управляемого термоядерного синтеза СПбПУ *А. Ю. Яшин*

Сергеев В. Ю. **Физика термоядерного реактора. Удержание горячей плазмы** : учеб. пособие / В. Ю. Сергеев, В. Г. Скоков, И. А. Шаров. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 124 с.

Соответствует содержанию федеральной дисциплины «Физика термоядерного реактора» государственного образовательного стандарта по направлению 03.04.02 «Физика», специальность 01.04.08 «Физика плазмы».

Посвящено ключевым физико-техническим проблемам современных термоядерных установок типа токамак – наиболее перспективных устройств, входящих в энергетический термоядерный реактор, и термоядерного источника свободных нейтронов. Отмечены новые тренды в программе управляемого термоядерного синтеза. Подчеркнута особая роль термоядерных источников нейтронов для создания новых материалов и развития гибридных систем синтеза–деления ядер.

Предназначено для студентов старших курсов специализации «Физика плазмы».

Табл. 5. Ил. 39. Библиогр.: 116 назв.

Печатается по решению

Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

© Сергеев В. Ю., Скоков В. Г.,
Шаров И. А., 2022

ISBN 978-5-7422-7573-2

© Санкт-Петербургский политехнический
doi:10.18720/SPBPU/2/id22-11 университет Петра Великого, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| Предисловие | 7 |
| Глава 1. Основы современной энергетики и роль ядерных технологий | 8 |
| 1.1. Структура современной мировой энергетики | 8 |
| 1.1.1. Общий энергобаланс планеты Земля | 8 |
| 1.1.2. Прогноз потребления источников энергии и их разведанные запасы | 12 |
| 1.2. Перспективы возобновляемых источников энергии..... | 17 |
| 1.3. Ядерные технологии – ближайшее будущее мировой энергетической системы | 19 |
| 1.3.1. Направления развития технологий деления ядер | 20 |
| 1.3.2. Направления развития технологий синтеза ядер | 26 |
| Вопросы для самопроверки | 28 |
| Глава 2. Выбор и взаимосвязь параметров установок типа токамак..... | 28 |
| 2.1. Нульмерный энергобаланс термоядерного реактора | 29 |
| 2.2. Устойчивость термоядерного горения | 35 |
| 2.3. Основные операционные пределы токамака | 39 |
| 2.3.1. Основные параметры, определяющие время удержания энергии | 39 |
| 2.3.2. Операционные пределы, вызывающие срыв разряда плазмы | 40 |
| 2.4. Выбор параметров для зажигания термоядерного реактора | 46 |
| 2.5. Оптимизация параметров термоядерной установки | 49 |
| 2.5.1. Модель | 49 |
| 2.5.2. Выбор параметров установки для достижения задач проектов ИТЭР, ДЕМО и ДЕМО-ТИН | 50 |
| 2.6. Периферия и ее связь с центральной горячей областью | 55 |
| 2.6.1. Влияние элементов, обращенных к плазме, на ее состояние | 56 |
| 2.6.2. Влияние нейтронного флюенса на материалы для термоядерных устройств | 63 |

| | |
|--|-----------|
| 2.6.3. Жидкометаллические технологии для решения проблем первой стенки и дивертора | 67 |
| 2.6.4. Переходные процессы и их роль в организации плазменного разряда токамака | 73 |
| 2.7. Шаги в направлении от ИТЭР к термоядерной электростанции | 75 |
| Вопросы для самопроверки | 77 |
| Глава 3. Перенос в плазме | 78 |
| 3.1. Теоретическое описание переноса | 79 |
| 3.1.1. Простейшие случаи переноса за счет столкновений | 79 |
| 3.1.2. Влияние тороидальной геометрии на столкновительный перенос в токамаке. Неоклассическая теория | 83 |
| 3.1.3. Турбулентный перенос. Микронеустойчивости | 90 |
| 3.1.4. Одномерное описание переноса в центральной области плазменного шнура | 94 |
| 3.2. Экспериментальные скейлинги удержания энергии | 99 |
| 3.2.1. Омический нагрев | 99 |
| 3.2.2. Дополнительный нагрев в L-моде | 102 |
| 3.2.3. Дополнительный нагрев в H-режиме и влияние шира вращения | 103 |
| 3.2.4. Альтернативы H-режиму | 109 |
| Вопросы для самопроверки | 115 |
| Библиографический список | 116 |