

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Саровский физико-технический институт -**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(СарФТИ НИЯУ МИФИ)**

«УТВЕРЖДАЮ»  
Декан физико-технического  
факультета СарФТИ НИЯУ МИФИ  
\_\_\_\_\_ А.К.Чернышев  
«...» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**Ядерные данные в науке и технологии**

(наименование дисциплины)

Направление подготовки (специальность) 03.04.01 Прикладные математика и физика

Профиль подготовки Физика фундаментальных взаимодействий

Квалификация (степень) выпускника магистр  
(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения очная  
(очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)

Автор \_\_\_\_\_ С.М. Таова

Рецензент \_\_\_\_\_ д.ф.-м. н. С.Н. Абрамович

**Согласовано:**

Зав. кафедрой ЯРФ \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Руководитель ООП \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ МИФИ  
(актуализирован Ученым советом университета, Протокол №21/11 от 27.07.2021 г)

Программа одобрена  
на заседании кафедры Ядерной и радиационной физики  
от 31.08.21 (протокол №2).

г. Саров, 2021 г.

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Цель изучения дисциплины* – формирование у будущих специалистов современных представлений о способах получения, обработки и хранения ядерных данных, методах их систематизации и классификации. В настоящее время поддерживается и развивается большое количество международных и отечественных библиотек оценённых и экспериментальных данных по ядерным реакциям и структуре ядра. Эти данные широко используются в самых различных областях науки и техники. Углублённое знакомство с широко доступными информационными ресурсами по ядерным константам является неотъемлемой частью подготовки специалистов в области ядерной физики.

*Задачи дисциплины:*

- дать представление о роли ядерных данных в современной науке и технике;
- дать знания об основных библиотеках по ядерным реакциям и структуре ядра;
- ознакомить с основными программными кодами для расчёта сечений ядерных реакций;
- научить пользоваться различными источниками информации по ядерной физике;
- стимулировать развитие способности к самостоятельному поиску и обработке ядерно-физической информации.

В итоге изучения курса студент должен освоить основной фактический материал, уметь применять на практике методы доступа к различным библиотекам ядерных данных, научиться работать с научной периодикой, овладеть техникой представления результатов в виде доклада, научно-технического отчёта.

## **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Дисциплина читается студентам на 2 курсе обучения магистратуры (3 семестр).

Курс «Ядерные данные в науке и технологии» является важным компонентом в подготовке будущих специалистов. Он обеспечивает необходимый уровень знаний в этой области для самостоятельного получения научной информации и её применения для решения различных научно-технических задач.

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ. ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИЮ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

В совокупности с другими дисциплинами базовой части ФГОС ВПО «Ядерные данные в науке и технологии» направлена на формирование следующих общекультурных (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций магистра:

ПК-1 – Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств

В результате изучения дисциплины студент должен получить комплексную систему знаний о средствах представления и способах извлечения данных по ядерно-физическим константам из различных доступных на сегодняшний день источников.

## **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

4.1 Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часа (16 часов – лекции, 16 часов – практические занятия, в том числе 8 часов в интерактивной форме, 40 час – самостоятельная работа студентов).

Раздел	Неделя	Виды учебной деятельности			Текущий контроль успеваемости	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный бал за раздел
		Лекции Нед. (час)	Практика.Нед. (час)	Самост. Нед. (час)			
<b>1. Ядерные данные в науке и технологии.</b>						Зачет (17 неделя)	
1.1 Основные типы ядерных данных. Получение ядерно-физических констант. 1.2 Использование ядерных данных в науке и технике.	1	2		18	Устный опрос		
<b>2. Организация библиотек ядерных данных.</b>						Зачет (17 неделя)	
2.1 Классификация и систематизация данных. 2.2 Краткий обзор истории создания и развития национальных библиотек ядерных данных.	2	2			Устный опрос		
<b>3. Обработка экспериментальных данных</b>						Зачет (17 неделя)	
3.1 Основные методы оценки и аппроксимации ядерных данных. Модели ядерных реакций. 3.2. Программы оценки и аппроксимации	3	2			Устный опрос		
<b>4. Создание библиотек экспериментальных и оценённых ядерных данных.</b>						Зачет (17 неделя)	
4.1 Библиотека экспериментальных данных EXFOR. Структура, формат.	4	2			Устный опрос		
4.2 Библиотека оценённых данных ENDF. Структура, формат.	5		1	6	Занятие в интерактивной форме		5 баллов
	5		1	6	Занятие в интерактивной форме		5 баллов
4.3 Библиотеки данных по структуре ядра: ENSDF, NUDAT. Структура, формат.	6	2			Устный опрос		
4.4 Библиотеки реферативных ссылок NSR, CINDA. Структура, формат.	7		1	4	Занятие в интерактивной форме		5 баллов
	7		1	4	Занятие в интерактивной форме		5 баллов
<b>5. Объединение библиотек в базы данных.</b>						Зачет (17 неделя)	

5.1 Базы ядерных данных и их роль в научном исследовании. Типы баз данных. 5.2 Интерфейсы работы с БД; доступ к БД через Интернет (1). 5.3 Информационная система JANIS.	8	2					
Интерфейсы работы с БД; доступ к БД через Интернет	9		2	2	Дискуссия		5 баллов
<b>6. Организация обмена ядерными данными.</b>						Зачет (17 неделя)	
6.1 МАГАТЭ – организатор создания международного обмена ядерными данными. Структура, цели и задачи.	10	1			Устный опрос		
6.2 Национальные центры ядерных данных. 6.3 Информационная система INIS. Портал NUCLEONIKA.	10	1			Устный опрос		
МАГАТЭ – организатор создания международного обмена ядерными данными. Структура, цели и задачи.	11		2		Дискуссии		5 баллов
<b>7 Применение БЯД во ВНИИЭФ.</b>						Зачет (17 неделя)	
7.1 Библиотека ядерных данных SaBa, система NDX. 7.2 Центр ядерно-физических данных. Задачи центра.	12	2			Устный опрос		
Использование ядерных данных в науке и технологии	13		2		Защита реферата		15 баллов
	14		2		Защита реферата		
	15		2		Защита реферата		
	16		2		Защита реферата		
Зачёт	17						50
<b>Работа в семестре:</b>							
Посещаемость	1-17						5
Дискуссии	9,11						10
Реферат	13-16						15
Практические задания	5, 7						20
Итоги за семестр		16	16	40			100

## 4.2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Краткое содержание тем

#### **Тема 1.**

**Ядерные данные в науке и технике.**

**Основные типы ядерных данных. Получение ядерно-физических констант. Использование ядерных данных в науке и технике.**

Начало широкой публикации в открытой литературе информации по ядерно-физическим константам было положено на первой женевской конференции по мирному использованию атомной энергии в 1955 г. Эта конференция и последовавшие за ней другие международные и национальные совещания учёных сделали доступным громадное количество закрытых и не публиковавшихся ранее научных и технических данных.

Точность и полнота информации по ядерно-физическим константам обеспечивает надёжность в проектировании экспериментальных и промышленных установок, их биологической защиты, определяет экономическую эффективность их эксплуатации, способствует уточнению методик расчёта и модельных представлений атомного ядра.

Одними из основных отраслей, базирующихся на последних достижениях в области ядерной физики, являются энергетика, военная и гражданская промышленность, астрофизика, медицина, биология и т.д.

Полная информация о ядре включает структуру и характеристики всех возможных энергетических состояний (уровней) ядра; способы и вероятности перехода ядра из одного состояния в другое; вероятности радиоактивного распада ядра; сечение взаимодействия ядра с другими ядрами и элементарными частицами и др.

Рассматриваются следующие вопросы:

- 1 Основные характеристики атомных ядер
- 2 Ядерные реакции
  - 2.1 Ядерные частицы
  - 2.2 Основные определения ядерных реакций
  - 2.3 Классификация ядерных реакций
  - 2.4 Сечения и выходы ядерных реакций
- 3 Получение ядерных констант
  - 3.1 Ускорители
  - 3.2 Измерение ядерных сечений
  - 3.3 Измерение энергии
  - 3.4 Измерение зарядов ядер и частиц
  - 3.5 Измерение массы атомов
  - 3.6 Измерение времени жизни
- 4 Использование ядерных констант
  - 4.1 Использование ядерных данных в энергетике
  - 4.2 Использование ядерных данных в промышленности
  - 4.3 Использование ядерных данных в астрофизике
  - 4.4 Использование ядерных данных в медицине
  - 4.5 Использование ядерных данных в биологии

#### **Тема 2.**

**Организация библиотек ядерных данных.**

**Классификация и систематизация данных. Краткий обзор истории создания и развития национальных библиотек ядерных данных.**

Выделяют 2 основные группы данных:

1. Данные по структуре ядра и распадным характеристикам.
2. Данные по ядерным реакциям.

Данные по структуре ядра легко упорядочить по возрастанию заряда ядра и массового числа. Обычно такие данные организованы в виде отдельных наборов, включающих в себя полную информацию по конкретному нуклиду.

В настоящее время существует около 20 различных библиотек или баз данных, содержащих информацию о структуре атомного ядра (NUDAT, NUCHART, KAPL Chart of Nuclides, Atomic Masses 1993, Nuclear Masses, Strasbourg Chart of the Nuclides 1992 ит.д.). Наиболее представительной и полной является библиотека оценённых данных ENSDF – Evaluated Nuclear Structure Data File.

Данные по ядерным реакциям включают в себя информацию по ядерным сечениям, выходам продуктов реакции, выходам из толстых мишеней, спектрам, скоростям реакций, а также сопровождающую информацию: поляризационные данные, резонансные интегралы, резонансные параметры и т.д.

Библиотеки оценённых ядерных данных принято разделять на фундаментальные и специализированные. Фундаментальные библиотеки данных рассчитаны на использование в различных приложениях:

- BROND – USSR evaluated neutron data library;
- CENDL – Chinese evaluated nuclear data library;
- ENDF - US evaluated nuclear data file;
- JEFF – Evaluated nuclear data library of NEA;
- JENDL – Japanese evaluated nuclear data library;

Специализированные библиотеки содержат данные, ориентированные на конкретные области применения:

FENDL – Fusion Evaluated nuclear data library (IAEA etc).  
IRDF-85 - International Reactor Dosimetry File;  
ACTIV87 – Fast Neutron Activation Cross-Section File;  
INGDB –International neutron nuclear database for geophysics;  
DROSG -87 – Charged- particle induced neutron source reactions;  
ECPL – 86 the LLNL evaluated charged-particle data library;  
MENDL - 2 - the Russian cross-section data library for transmutation and activation;  
BOFOD – Russian evaluated photo- neutron data library, etc.

Рассматриваются следующие вопросы:

- 1 Классификация данных
- 2 Типы ядерно-физических констант
  - 2.1 Данные о структуре ядра
  - 2.2 Сеть ядерных центров по структуре ядра
  - 2.3 Данные по ядерным реакциям
  - 2.4 Сеть центров данных по ядерным реакциям
    - 2.4.1 Основные центры ядерных данных
    - 2.4.2 Специализированные центры ядерных данных
- 3 Национальные библиотеки ядерных данных
  - 3.1 Библиотека ENDF
  - 3.2 Библиотека JEFF
  - 3.3 Библиотека BROND

3.4 Библиотека JENDL

3.5 Библиотека CENDL

3.6 Библиотека FENDL

### **Тема 3.**

**Обработка экспериментальных данных.**

**Основные методы оценки и аппроксимации ядерных данных. Модели ядерных реакций.**

**Программы оценки и аппроксимации.**

Под оценёнными данными понимают данные, полученные в результате обработки экспериментальных данных, с привлечением результатов теоретического анализа и модельных вычислений.

Для получения оценённых данных необходимо иметь следующую информацию:

- экспериментальные данные и их аппроксимацию;
- результаты модельных расчётов;
- результаты экстраполяции в область малых (больших) энергий.

Результат оценки – совокупность данных для выбранного процесса во всём изучаемом диапазоне, представленная в одном из общепринятых форматов, сопровождаемая подробным описанием методов оценки. Заключительной стадией процесса оценки является всесторонний контроль и проверка представленных результатов. Одним из наиболее распространённых методов проверки является тестирование данных с помощью так называемых *benchmark* экспериментов (интегральных экспериментов).

Рассматриваются следующие вопросы:

1 Методы аппроксимации ядерных данных

2 Модели ядер

2.1 Оболочечная модель ядра

2.2 Капельная модель ядра

2.3 Модель полупрозрачного шара

3 Модели ядерных реакций

3.1 Модель составного ядра

3.2 Оптическая модель

3.3 Модель Хаузера-Фешбаха

4 Программные коды, используемые для расчёта ядерных сечений

4.1 Программа EMPIRE

4.2 Программа OptModel

4.3 Программа NON-SMOKER

4.4 Программа GNASH

4.4 Программа ECIS

### **Тема 4.**

**Создание библиотек экспериментальных и оценённых ядерных данных. Форматы хранения данных. Библиотеки реферативных источников.**

**EXFOR (Exchange Format – Обменный формат)** был разработан для осуществления обмена данными по ядерным реакциям между членами Сети Центров по Ядерным Данным (NRDC). В настоящее время библиотека Exfor включает в себя экспериментальные данные по реакциям взаимодействия нейтронов, заряженных частиц, гамма-квантов и тяжёлых ионов с ядрами. В библиотеке представленные различные виды данных: Полные и дифференциальные

сечения, выходы, угловые, энергетические, массовые, зарядовые и другие распределения продуктов и т.д. Факторные данные сопровождаются текстовой информацией, содержащей библиографические и описательные данные.

Библиотека **ENDF** и её формат были разработаны группой по оценке сечений (CSEWG) и являются плодом сотрудничества национальных лабораторий, промышленных предприятий и университетов США и Канады. Библиотека поддерживается Национальным Центром Ядерных Данных США (NNDC).

В настоящее время в библиотеке ENDF содержатся, помимо нейтронных сечений, спектров и угловых распределений, данные по взаимодействиям налетающих частиц больших энергий, достаточно полные описания распределений для вылетающих частиц, а также данные по заряженным частицам и фотоядерные данные, которые скомпонованы в отдельные подбиблиотеки. Данные по распаду, выходам продуктов деления, данные по рассеянию тепловых нейтронов и фото-атомные данные также распределены по различным подбиблиотекам.

**ENSDF** – (Evaluated Nuclear Structure Data File) – содержит оценённые данные по структуре ядра, которые включают в себя информацию по свойствам уровней: энергии уровней, виды распада, интенсивности распада, энергии гамма-квантов, а также значения периодов полураспада и другие свойства ядер в основном и метастабильном состояниях.

Файл ссылок по ядерным данным (**NSR**) – база данных библиографических ссылок, организованная для хранения данных по ядерной физике для низких и средних энергий и охватывающая периодические издания, начиная с 1910 г. NSR поддерживается в рамках международной деятельности по оценке данных о структуре ядра.

База данных **CINDA** содержит библиографические ссылки на экспериментальные данные по ядерным реакциям и на расчётные данные, обзоры, компиляции и оценки по нейтронным реакциям и данным по спонтанному делению.

Рассматриваются следующие вопросы:

1 Библиотека экспериментальных данных EXFOR. Структура, формат

- 1.1 Структура файлов в формате EXFOR
  - 1.1.1 Таблицы данных в EXFOR
  - 1.1.2 Обозначение РЕАКЦИИ в EXFOR
  - 1.1.3 Словари

2 Библиотека оценённых данных ENDF. Структура, формат

- 2.1 Организация библиотеки
- 2.2 Библиотека ENDF
- 2.3 Содержание библиотеки ENDF
- 2.4 Общее описание формата данных
- 2.5 Типы записей
- 2.6 Представление данных
- 2.7 Описание файла MF=3
- 2.8 Описание файла MF=6

3 Библиотека ENSDF

- 3.1 Общая организация и структура файла данных
- 3.2 Структура набора данных ENSDF
- 3.3 Стандартный формат записи, использующий одну «карту»

5 Библиотеки реферативных ссылок

- 5.1 Библиотека NSR
  - 5.1.1 Понятие «Работа» в NSR
- 5.2 Библиотека CINDA

## Тема 5

## **Объединение библиотек в базы данных. Базы ядерных данных и их роль в научном исследовании. Типы баз данных; интерфейсы работы с БД; доступ к БД через Интернет.**

Базу данных можно определить как совокупность взаимосвязанных хранящихся вместе данных при наличии такой минимальной избыточности, которая допускает их использование оптимальным образом для одного или нескольких приложений; данные запоминаются так, чтобы они были независимы от программ, использующих эти данные; для добавления новых или модификации существующих данных, а также для поиска данных в базе данных применяется общий управляемый способ. Говорят, что система содержит совокупность баз данных, если эти базы данных структурно полностью самостоятельны.

К СУБД, поддерживающим базы данных для работы с ядерно-физическими константами, предъявляются следующие требования:

- наличие реляционной модели данных;
- поддержка стандарта SQL;
- наличие ODBC драйвера;
- надёжность и живучесть системы;
- многоплатформенность;
- поддержка процедур оптимизации наиболее общих пользовательских запросов;
- поддержка нескольких баз данных одновременно в объёме, необходимом для передачи.

Рассматриваются следующие вопросы:

### **1 Общая характеристика баз данных**

#### **1.1 Классификация баз данных**

##### **1.1.1 Виды моделей данных**

### **2 Общая характеристика систем управления базами данных (СУБД)**

#### **2.1 Производительность СУБД**

#### **2.2 Обеспечение целостности данных на уровне базы данных**

#### **2.3 Обеспечение безопасности**

#### **2.4 Работа в многопользовательских средах**

#### **2.5 Импорт-экспорт**

#### **2.6 Доступ к данным посредством языка SQL**

### **3 Базы данных ядерно-физических констант**

#### **3.1 Современные системы управления базами данных ядерно-физических констант**

#### **3.2 Работа с базами данных. Интерфейсы**

##### **3.2.1 Работа с базой данных EXFOR**

##### **3.2.2 Работа с базой данных ENDF**

##### **3.2.3 Работа с базой данных ENSDF**

##### **3.2.4 Работа с базой данных NSR**

### **4. Информационная система Janis (Java-based nuclear information software)**

## **Тема 6.**

### **Организация обмена ядерными данными.**

**МАГАТЭ – организатор создания международного обмена ядерными данными.**

**Структура, цели и задачи. Национальные центры ядерных данных.**

**МАГАТЭ – Международное Агентство по Атомной Энергии.** МАГАТЭ является международным центром по ядерному сотрудничеству. Агентство было создано Организацией Объединённых Наций в 1957 г. под лозунгом «Атом во имя мира». Деятельность Агентства направлена на безопасное, надёжное и мирное использование ядерных технологий.

Цели и задачи, решаемые организацией, продиктованы интересами и нуждами стран – членов Агентства. Основные направления деятельности: охрана и проверка (инспекция, наблюдение) защита и безопасность, наука и технологии.

Сеть центров данных по ядерным реакциям (Nuclear Reaction Data Center Network (NRDC)) – международное объединение центров ядерных данных, действующее под эгидой МАГАТЭ, учреждённое для координации деятельности по сбору, компиляции и распространению данных среди мирового сообщества. Распространение ядерных данных и соответствующих научных материалов – одна из главных задач сети. Решение этой задачи обеспечивается осуществлением деятельности по следующим основным направлениям:

1. Компиляция экспериментальных ядерных данных (EXFOR/CSISRS) и библиографической информации (NSR, CINDA).
2. Сбор оценённых ядерных данных (ENDF/EVA).
3. Обмен ядерными данными всех типов между центрами данных.
4. Стимулирование развития специализированных файлов оценённых данных.
5. Развитие общих форматов для компьютеризированного обмена ядерными данными.
6. Координация деятельности по развитию программного обеспечения для управления и распространения ядерных данных.
7. Документирование текущих и возможных потребностей в ядерных данных для своевременного удовлетворения пользователей.

В настоящее в сети действует 14 центров: 4 основных центра и 10 специализированных.

Рассматриваются следующие вопросы:

- 1 Структура, цели и задачи МАГАТЭ
- 2 Основные центры ядерных данных
  - 2.1 Секция ядерных данных МАГАТЭ
  - 2.2 Брукхевенская Национальная Лаборатория
  - 2.3 Банк данных NEA
  - 2.4 Российский Центр Ядерных Данных
- 3 Специализированные центры ядерных данных
  - 3.1 Китайский центр ядерных данных
  - 3.2 Группа ядерных данных института АТОМКИ
  - 3.3 Японская группа по ядерным данным на заряженных частицах
  - 3.4 Японский Центр Ядерных Данных
  - 3.5 Корейский Институт Атомной Энергии
  - 3.6 Центр Данных по Структуре Ядра и Ядерным Реакциям
  - 3.7 Центр Экспериментальных Фотоядерных Данных
  - 3.8 Центр Ядерно-Физических Данных
  - 3.9 Украинский Центр Ядерных Данных
4. Информационная система INIS (International Nuclear Information System)

## Тема 7. Применение БЯД во ВНИИЭФ.

Библиотека экспериментальных и оценённых данных по взаимодействию заряженных частиц с лёгкими ядрами SaBa. Информационно-справочная система ядерных данных NDX. Центр ядерно-физических данных. Задачи центра.

Использование баз данных во ВНИИЭФ определяется характером решаемых в институте научно-технических задач. Прежде всего, речь идёт об использовании данных для различного рода расчётов, связанных с проектированием и разработкой ядерных зарядов.

Методы нейтронных измерений составляют важную часть экспериментальной базы, применяемой при разработке и испытаниях ядерных зарядов.

Экспериментальные нейтронные методы позволяют определять характеристики полей нейтронов при ядерном взрыве (энергетические спектры, флюенсы, временные распределения и др.), дают информацию о внутренних процессах, происходящих в заряде при его работе (температура горения, симметрия сжатия и др.).

Точность и надежность получаемой информации – экспериментальной и расчетно-теоретической – во многом определяется применяемыми нейтронными константами.

С точки зрения атомной энергетики ядерные реакции разделяют на две категории: реакции деления тяжёлых ядер и реакции синтеза лёгких ядер. Последние лежат в основе, по крайней мере, двух актуальных прикладных задач. Имеются в виду создание современного ядерного оружия и проблема термоядерной энергетики. До середины 60-х годов при расчёте термоядерных зарядов реальная потребность в знании характеристик термоядерных реакций ограничивалась тремя реакциями  $^3\text{H}(\text{d},\text{n})^4\text{He}$ ,  $^2\text{H}(\text{d},\text{n})^3\text{He}$  и  $^2\text{H}(\text{d},\text{p})^3\text{H}$  в диапазоне энергий взаимодействующих ядер  $<100$  кэВ.

Однако в настоящее время это положение существенно изменилось. Прогресс в вычислительной технике, исследования новых режимов термоядерного горения выдвинули повышенные требования к детализации и точности описания ряда процессов, происходящих во время работы термоядерного заряда.

Для проведения работ, связанных с основной тематикой института, оказываются востребованными практически все существующие на сегодняшний день базы экспериментальных и оценённых данных (по ядерным реакциям и по структуре ядра).

Помимо фундаментальных баз данных, используемых для проведения различного рода расчётов, в институте создаются и поддерживаются собственные библиотеки ядерных данных, ориентированные на решение конкретных задач определённого класса.

Рассматриваются следующие вопросы:

- 1 Константное обеспечение научно-технических разработок института
- 2 База данных по взаимодействию заряженных частиц с лёгкими ядрами SaBa
  - 2.1 Структура библиотеки SaBa
  - 2.2 Типы представленных данных
  - 2.3 Выбор данных
  - 2.4 Основные режимы работы с данными
    - 2.4.1 Блок БИБЛИОТЕКА
    - 2.4.2 Блок ОБРАБОТКА
    - 2.4.3 Блок РЕДАКТИРОВАНИЕ
  - 2.5 Отображение данных
  - 2.6 Экспериментальные данные
  - 2.7 Оцененные данные
  - 2.8 Скорости реакций
  - 2.9 Внутренний формат представления данных
- 3 Информационно-справочная система ядерных данных NDX
  - 3.1 Логическая структура данных
  - 3.2 Пользовательский интерфейс
    - 3.2.1 Главное окно NDX
    - 3.2.1 Ячейка таблицы Менделеева
    - 3.2.2 Выбор изотопов
    - 3.2.3 Окно Evaluated – оценённые данные

- 3.2.4 Визуализация оценённых данных
  - 3.2.5 Окно EXFOR – экспериментальные данные
  - 3.2.6 Окно Masses
  - 3.2.7 Окно Reactions
  - 3.2.8 Окно States
  - 3.2.9 Окно Levels
  - 3.2.10 Окно Gammas
  - 3.2.11 Окно Neutrons
  - 3.2.12 Окно природных радиоактивных семейств
  - 3.2.13 Окно короткоживущих продуктов деления
- 4 Библиотека рекомендованных данных для задач трансмутации TENDL
- 5 Центр Ядерно-Физических Данных

### **4.3 Планы практических занятий**

Цель практических занятий – закрепить основные (базовые) понятия и определения изучаемой темы, приобрести навыки доступа к различным видам ядерных данных.

Отрабатываются способы организации запросов к основным библиотекам ядерных данных:  
 EXFOR  
 ENDF  
 ENSDF  
 NUDAT  
 NSR  
 CINDA

### **Практические занятия. Задания по работе с библиотеками ядерных данных.**

#### **1. Библиотека Exfor (5 неделя семестра)**

1. Выбрать все наборы данных по дифференциальным сечениям (по углу) для реакции Li-6 (d,a). Диапазон энергии для налетающей частицы от 5 до 15 МэВ.
2. Выбрать все наборы данных по дважды дифференциальным сечениям (по углу и энергии) для реакции взаимодействия Fe-56 с протоном.
3. Выбрать данные по рассеянию дейtronов на ядре N-14 (дифференциальные сечения) с образованием остаточного ядра в возбуждённом состоянии.
4. Выдать данные по значениям резонансных параметров для реакции F-19(p,a).
5. Выбрать все наборы данных по интегральным сечениям для реакции L-6 (d,a), вывести их на график, сравнить с оценёнными данными из библиотеки ENDF.

#### **2. Библиотека ENDF (5 неделя семестра)**

1. Выбрать все наборы данных из всех представленных библиотек по полным сечениям для реакции Fe-56 (n, p). Вывести данные на график.
2. Выбрать все наборы данных по интегральным сечениям реакции деления Am-242 нейtronами из библиотек JENDL, ENDF/B-7, BROND, сравнить с имеющимися экспериментальными данными.

3. Выбрать данные по упругому рассеянию нейтронов на ядре C-12 из библиотеки FENDL 3.1. Организовать запрос к библиотеке CINDA для получения информации по этой реакции.

4. Выбрать данные по дифференциальному сечению реакции упругого рассеяния нейтронов на Fe-56. Построить график зависимости сечения от угла для энергии налетающей частицы 1; 6 и 18 МэВ.

5. Выбрать данные по дважды дифференциальному сечению для взаимодействия U-236+р с MT=102. Построить график зависимости сечения от энергии налетающей частицы и угла.

### **3. Библиотеки ENSDF и NUDAT(7 неделя семестра)**

1. Выбрать данные, содержащие значения уровней возбуждения и энергии гамма переходов для ядра Li-6.

2. Выдать список всех реакций, идущих с образованием ядра B-10.

3. Определить, какие из нуклидов с A= 230 испытывают альфа-распад.

4. Определить, какие виды распадов испытывает I-128.

5. Библиотека NUDAT. Вывести диаграмму, иллюстрирующую распределение величины энергии связи на нуклон.

Библиотека NUDAT. Выдать характеристики основного состояния для Ac-226.

### **4. Библиотеки NSR и CINDA (7 неделя семестра)**

1. Выбрать все ссылки на экспериментальные работы по реакции Mg-24(a,g) за период с 1970 по 2016 гг.

2. Выбрать все ссылки на работы, содержащие данные по реакции Li-6 (d, p), за период с 1960 по 2016 г. Выбрать все ссылки на работы Ф. Сесил (F. Cecil) по реакции (d,p). Найти объединение этих списков.

3. Найти все ссылки на работы С.Н. Абрамовича, опубликованные в журнале «Известия Российской Академии Наук. Серия Физическая»

4. Библиотека CINDA. Выдать информацию по реакции Cu-64(n,g). Перейти к наборам экспериментальных данных при наличии доступа.

5. Библиотека CINDA. Выдать информацию по взаимодействию Xe-139 с нейтронами. Выйти на библиографию по указанным ссылкам.

## **5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ**

### **ВИДЫ И ФОРМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

- самостоятельный поиск литературы по разделам и темам курса;

- изучение литературы и подготовка к практическим занятиям; самостоятельное изучение тем, предложенных преподавателем для занятий в интерактивной форме; написание реферата;
- практическая работа на персональном компьютере по доступу, поиску и извлечению информации из основных библиотек ядерных данных;
- подготовка к зачёту.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

№ п/п	Темы работ	Кол. часов
1.	Подготовка и защита Реферата об использовании ядерных данных и ядерно-физических методов в различных областях науки и техники.	18
2.	Работа с библиотекой экспериментальных данных Exfor.	6
3.	Работа с библиотекой оценённых данных ENDF.	6
4.	Работа с библиотеками оценённых данных по структуре ядра ENSDF, NUDAT.	4
5.	Работа с библиотеками реферативных ссылок NSR, CINDA.	4

## 6. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Текущий и итоговый контроль знаний студентов:*

- посещаемость
- активность на занятиях
- выполнение индивидуальных заданий
- написание и защита реферата
- сдача зачёта.

### 6. 1. ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ

#### Вопросы по разделу

#### «ЯДЕРНЫЕ ДАННЫЕ В НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИИ»

##### Тема 1.

1. Каковы основные характеристики атомных ядер?
2. Как классифицируются ядерные реакции?
3. Как получают ядерные константы?
4. Как используются ядерные данные в энергетике, промышленности, медицине, биологии и других областях науки и техники?

##### Тема 2.

1. Какие типы ядерно-физических констант существуют?
2. Что входит в состав ЯФК по структуре ядра?
3. Что входит в состав ЯФК по ядерным реакциям?
4. Какие центры данных по структуре ядра и ядерным реакциям действуют в мире?

##### Тема 3.

- 1 Каким образом получают оценённые данные?
2. Какие модели ядерных реакций существуют?
3. Какие программные коды используются для расчёта сечений по ядерным моделям?
4. Какова структура программного комплекса EMPIRE?

#### **Тема 4.**

1. Каким образом классифицируются библиотеки ядерных данных?
2. Каковы содержание и структура библиотеки EXFOR?
3. Каковы содержание и структура библиотеки ENDF/B?
4. Каковы содержание и структура библиотек ENSDF и NUDAT?
5. Что представляют собой библиотеки реферативных ссылок NSR и CINDA?
6. Каковы основные особенности национальных библиотек ядерных данных: BROND, ROSFOND, JENDL, CENDL, MENDL, JEFF?
7. Каковы наиболее известные специализированные библиотеки ядерных данных?

#### **Тема 5.**

1. Какие виды моделей данных используются в современных СУБД?
2. Каковы основные характеристики баз данных?
3. Что представляют собой базы ядерно-физических констант? В чём их отличие от других баз данных?
4. Каковы основные режимы обработки данных в информационной системе JANIS?

#### **Тема 6.**

1. Каковы основные цели и задачи МАГАТЭ?
2. Какова роль Секции Ядерных Данных МАГАТЭ в организации обмена и распространении ядерных данных среди мирового сообщества?
3. Что представляет собой информационная система INIS (International Nuclear Information System)?

#### **Тема 7.**

1. Каковы основные потребности ВНИИЭФ в ядерных данных по структуре ядра и ядерным реакциям?
2. Каковы содержание, структура и основные режимы обработки данных в библиотеке SaBa?
3. Какие типы данных представлены в информационной системе NDX?
4. Каковы основные функции Центра Ядерно-Физических Данных?

### **6.2. УРОВЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ**

Текущий контроль осуществляется в ходе учебного процесса, консультирования студентов, проверки выполнения ими самостоятельных заданий.

Формой промежуточной аттестации является зачёт, который проводится в устной форме в виде ответов на вопросы билетов.

Оценка знаний студентов осуществляется в баллах в комплексной форме с учетом:

- оценки за работу в семестре;
- оценки знаний в ходе зачёта.

**Ориентировочное распределение баллов по видам работы**

<i>№ п/п</i>	<i>Вид отчетности</i>	<i>Баллы</i>
1	Посещаемость	5
2	Дискуссии	10
3	Реферат	15
4	Практические задания	20
5	Зачёт	50
	Итого	100

Оценка знаний по 100-балльной шкале в соответствии с критериями СарФТИ НИЯУ МИФИ реализуется следующим образом:

Сумма баллов по дисциплине	Зачет	Оценка (ECTS)	Критерии оценивания
90 – 100	Зачтено	A	«Отлично» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены. Качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.
85-89	Зачтено	B	«Очень хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены. Качество выполнения большинства из них оценено числом баллов, близким к максимальному.
75-84	Зачтено	C	«Хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены. Качество выполнения ни одного из них оценено минимальным числом баллов. Некоторые виды заданий выполнены с ошибками.
65-74	Зачтено	D	«Удовлетворительно» - теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено. Некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.
60-64	Зачтено	E	«Посредственно» - теоретическое содержание курса освоено частично. Некоторые практические навыки работы не сформированы. Многие предусмотренные программой обучения учебные задания не выполнены, либо качество выполнения некоторых из них оценено числом баллов, близким к минимальному.
Ниже 60	Не засчитано	F	«Неудовлетворительно» - очень слабые знания, недостаточные для понимания курса, имеется большое количество основных ошибок и недочетов.

## **7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по подготовке студентов для направления (специальности) 03.04.01 Прикладные математика и физика реализация компетентностного подхода к обучению предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. В рамках учебного курса студенты работают с лекциями, рекомендованной литературой, выполняют лабораторные работы, готовят семинары, выполняют домашние задания. В процессе подготовки студенты используют информационные источники, размещенные в сети Интернет (официальные сайты, веб-порталы и веб-представительства организаций, предприятий и учреждений, тематические форумы и телекоммуникации), электронные учебники и учебно-методические пособия.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Том 1 и 2, М.: Атомиздат, 1974.
2. С.Н. Абрамович. Физика атомного ядра. Саров – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2005.
3. И.В. Гордеев, Д.А. Кардашев, А.В. Малышев. Ядерно-физические константы. Справочник. Москва. Госатомиздат. 1963.
4. С.Н. Абрамович, Б.Я. Гужовский, В.А. Жеребцов, А.Г. Звенигородский. Ядерно-физические константы термоядерного синтеза. Москва. 1989.
5. Т.В. Голашвили, В.П. Чечев, С.А. Бадиков. Справочник нуклидов. Москва. Издательский дом МЭИ, 2011.
6. ENDF-6 Formats Manual, ENDF-102, Report BNL-90365-2009, NNDC, Upton, USA.
7. Exfor Formats Manual, N. Otsuko ed. by. IAEA-NDS-207 Rev. 2011/01.
8. J.K. Tuli. Evaluated Nuclear Structure Data File. A Manual for Preparation of Data Sets./ Перевод с английского Г.И. Шуляка. – ПИЯФ РАН, Гатчина, 2006, - 114 с.
9. CINDA Compilers Manual. NEA/DB/DOC(2008)3.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

10. R.M. White, D.A. Resler and G. M. Hale "FENDL/C-2.0. Charged-particle reaction data library for fusion applications", summary documentation by A.B. Pashchenko and H. Wienke, report IAEA-NDS-177, IAEA, March 1997.
11. R.J. Howerton, R.E. Dye, M.H. McGregor, S.T. Perkins. Index to the LLNL Evaluated Charged-Particle Library (ECPL), UCRL-50400, Vol. 28, 1986.
12. H.D. Lemmel. Index of Nuclear Data Libraries, IAEA-NDS-7, 1995.

### **ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Ядерная физика
2. Известия РАН, серия физическая
3. Успехи физических наук
4. Nuclear Physics

5. Physical Review C
6. Physical Review Letters
7. Physical Letters

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материально-техническое обеспечение включает в себя специально оборудованные кабинеты и аудитории: компьютерные классы с доступом в Интернет, аудитории, оборудование мультимедийными средствами обучения.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СТУДЕНТОВ)**

Изучение дисциплины «Ядерные данные в науке и технологии» предполагает освоение материалов, подготовленных преподавателем для лекций, систематическую работу студентов в ходе проведения практических занятий, выполнение заданий для самостоятельной работы.

На практических занятиях преподавателем раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемой темы, ставятся акценты на наиболее сложных положениях изучаемого материала. Материалы практических занятий используются студентами для упражнений и самостоятельной работы.

Целью практического занятия является рассмотрение основных и наиболее проблемных вопросов в рамках темы занятия, контроль за степенью усвоения студентами пройденного материала и ходом выполнения ими заданий самостоятельной работы. В ходе практических занятий закрепляются умения и навыки использования материала, прослушанного в ходе лекций и освоенного в результате самостоятельных работ.

Задания для самостоятельной работы предусмотрены для закрепления и расширения знаний, умений и навыков, приобретенных в результате изучения дисциплины. Задания выполняются студентами во внеаудиторное время.

Преподавание дисциплины требует в каждой теме выделить наиболее важные, базовые моменты и сделать акцент на них. Предлагается:

1. В теме 1 обратить внимание на многообразие существующих ядерно-физических констант. Следует выделить ядерные константы, характеризующие само ядро, и константы, характеризующие ядерные взаимодействия. Важно отметить тот факт, что, практически, любая отрасль промышленности, медицина, биология не обходятся сейчас без использования ядерно-физических методов и ядерных данных. Следует уделить особое внимание использованию ядерных данных в энергетике.

2. В теме 2 обратить внимание на наличие двух основных видов библиотек: библиотек по структуре ядра и по ядерным реакциям. Необходимо выделить библиотеки, содержащие экспериментальные данные и оценённые. Следует подчеркнуть разницу между фундаментальными библиотеками и специализированными. Кратко отметить основные особенности национальных библиотек ядерных данных.

3. В теме 3 отметить, каким именно образом получают оценённые данные. Необходимо кратко напомнить студентам об основных моделях ядерных реакций с тем, чтобы затем логично перейти к программным кодам для расчёта сечений на основе этих моделей.

4. В теме 4 подробно обсудить форматы библиотек Exfor, ENDF/B, ENSDF. Обязательно привести примеры файлов, содержащие описываемые наборы данных. Следует подчеркнуть разницу между библиотеками экспериментальных и оценённых значений.

5. В теме 5 отметить основные требования, которые предъявляются к современным базам данных. Необходимо предоставить студентам веб-адреса всех основных библиотек/баз данных, содержащих информацию по структуре ядра и ядерным реакциям. Следует уделить достаточно большое количество времени на работу с интерфейсами основных баз данных по ЯФК, на

практическое освоение режимов поиска, извлечения и представления информации в удобном для пользователя виде.

6. В теме 6 подчеркнуть роль МАГАТЭ в распространении и организации обмена ядерными данными среди мирового сообщества. Необходимо подробно ознакомить студентов со всеми информационными ресурсами, доступными на главной веб-странице МАГАТЭ и на странице Секции Ядерных Данных.

7. В теме 7 осветить деятельность ВНИИЭФ в области получения ядерно-физических констант. Следует подчеркнуть необходимость проведения экспериментальных исследований. Сделать основной упор на значимости работ по обработке экспериментальной информации и получении оценённых значений сечений ядерных реакций.

РП составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 03.04.01 «Прикладные математика и физика».

## **Лист регистрации изменений**

### Лист регистрации изменений

Номер изменения	Номера листов			Основание	для внесения	изменений	Подпись	Расшифровка
	замененных	новых	аннулированных					
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								