

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Термоядерные реакторы и плазменные установки

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
НЕЙТРОННАЯ ФИЗИКА УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО
СИНТЕЗА

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	7 семестр - 32 часа;
Практические занятия	7 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	7 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	7 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Жиркин А.В.
	Идентификатор	R3f0c0ac7-ZhirkinAV-8b240f5e

А.В. Жиркин


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

Заведующий выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение основ нейтронной физики, приобретение теоретических и практических навыков, необходимых для научно-исследовательской, проектной, технологической и производственной деятельности в области нейтронной и атомной физики управляемого термоядерного синтеза.

Задачи дисциплины

- изучение основных проблем нейтронной физики в области управляемого термоядерного синтеза и способов их решения;
- изучение теоретических основ переноса излучений, радиационных повреждений конструкционных материалов, топливного цикла ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер;
- изучение экспериментов по нейтронной физике, осуществляемых на действующих и планируемых на проектируемых установках, а также методов нейтронно-физических измерений;
- приобретение навыков решения нейтронно-физических задач, возникающих при проектировании термоядерных установок.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-5 Способен принимать участие в расчетах характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования, ядерных и плазменных установок	ИД-3ПК-5 Владеет навыками расчетов характеристик поля нейтронного и фотонного излучения в узлах термоядерного источника нейтронов	знать: - эффекты воздействия нейтронного излучения на конструкционные материалы; - проблемы современной ядерной и термоядерной энергетики и значение гибридных термоядерных установок в их решении;; - особенности ядерного топливного цикла с установками деления и синтеза ядер; - методику экспериментального исследования нейтронного излучения плазмы. уметь: - решать типовые задачи взаимодействия излучений с веществом; - выполнять расчеты характеристик полей излучения в задачах с простой геометрией для источников простых геометрических форм.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Термоядерные реакторы и плазменные установки (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать вычислительную математику, общую физику, ядерную физику, математические методы моделирования физических процессов, информационные системы и безопасность, экспериментальные методы исследования, материаловедение и технологию материалов и конструкций

- уметь решать обыкновенные дифференциальные уравнения и простые уравнения в частных производных, решать задачи по общей и ядерной физике

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Ядерные реакции. Взаимодействие излучений с веществом	23	7	6	-	6	-	-	-	-	-	11	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов и подготовка к контрольной работе , коллоквиуму, защите проекта <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [7], 45-64	
1.1	Характеристики нейтронов и реакции взаимодействия излучения с веществом	23		6	-	6	-	-	-	-	-	-	11		-
2	Уравнение переноса излучений. Расчет характеристик полей излучения в задачах с простой геометрией для источников простых геометрических форм	28		8	-	6	-	-	-	-	-	-	14	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов и подготовка к контрольной работе , коллоквиуму, защите проекта <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 23-55 [6], 307-327
2.1	Теоретические основы переноса излучений	28		8	-	6	-	-	-	-	-	-	14	-	
3	Радиационное повреждение материалов	29		8	-	4	-	-	-	-	-	-	17	-	<u>Подготовка реферата:</u> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:
3.1	Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками	29		8	-	4	-	-	-	-	-	-	17	-	

	нейтронов 14 МэВ												1.Газовые ионизационные детекторы. 2.Кристаллические, полупроводниковые детекторы. 3.Сцинтилляционные детекторы. 4.Трековые детекторы. 5.Времяпролетный и магнитный спектрометр. 6.Физические основы методов спектрометрии. Функция отклика детектора. 7.Основные характеристики спектрометра. 8.Типы сцинтилляционных гамма-спектрометров. 9.Кристалл-дифракционные фотонные и нейтронные спектрометры. Дифракция фотонов и нейтронов на плоском кристалле. 10.Магнитные спектрометры заряженных частиц. 11.Времяпролетный метод спектрометрии нейтронов. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 31-45
4	Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер. Проблемы ядерной энергетики и термоядерный источник нейтронов	12	4	-	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов и подготовка к контрольной работе , коллоквиуму, защите проекта <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 12-25
4.1	Радиационные повреждения конструкционных материалов	12	4	-	-	-	-	-	-	-	8	-	
5	Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ	16	6	-	-	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов и подготовка к контрольной работе , коллоквиуму, защите проекта <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 55-69
5.1	Топливный цикл ядерной энергетики с	16	6	-	-	-	-	-	-	-	10	-	[5], 98-115

	установками деления и синтеза ядер												
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	16		2		-	0.5		93.5	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Ядерные реакции. Взаимодействие излучений с веществом

1.1. Характеристики нейтронов и реакции взаимодействия излучения с веществом

Открытие нейтрона. Опыты Резерфорда, Бете-Беккера, Жолио-Кюри, Чедвика. Энергия связи и радиус ядра. Свойства нейтрона. Масса нейтрона, время жизни, спин, магнитный момент нейтрона. Опыт Альвареса-Блоха. Энергия связи и радиус ядра. Взаимодействие нейтронов с ядрами. Энергетические интервалы нейтронов. Прямое взаимодействие и взаимодействие через составное ядро. Реакции взаимодействия нейтронов с ядрами. Деление ядер. Взаимодействие фотонов с веществом. Взаимодействие заряженных частиц с веществом. Сечения взаимодействия излучения с веществом.

2. Уравнение переноса излучений. Расчет характеристик полей излучения в задачах с простой геометрией для источников простых геометрических форм

2.1. Теоретические основы переноса излучений

Дифференциальные и интегральные характеристики поля излучения. Поточковые, токовые и дозовые характеристики поля излучения. Уравнение переноса излучений. Диффузия нейтронов Замедление нейтронов. Теория возраста. Численные методы решения уравнения переноса излучений. Общая характеристика методов. Детерминистские численные методы. Метод Монте-Карло в задачах переноса излучений. Асимптотические и полуэмпирические методы расчета переноса излучений.

3. Радиационное повреждение материалов

3.1. Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ

Методы регистрации ядерных излучений. Дозиметрия, радиометрия и спектрометрия излучений. Диагностический комплекс ITER. Нейтронные диагностики в полномасштабных экспериментах ядерного синтеза: обзор систем JET. Спектрометрия нейтронов на JET. Время пролетный спектрометр. Спектрометры с протонами отдачи. Магнитный спектрометр. Обоснование нейтронных данных в интегральных экспериментах с источниками нейтронов 14 МэВ.

4. Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер. Проблемы ядерной энергетики и термоядерный источник нейтронов

4.1. Радиационные повреждения конструкционных материалов

Общая характеристика. Радиационный каскад. Типы радиационных повреждений. Пороговая энергия смещения атома. Влияние облучения на изменения свойств. Параметры, определяющие эффекты радиационного повреждения. Поглощение нейтронов топливными и конструкционными материалами. Радиационное распухание (свелинг). Влияние облучения на коррозию. Отжиг радиационных повреждений. Требования к конструкционным материалам. Ограничения конструкционных материалов. Макроскопические эффекты деградации. Малоактивируемые материалы. Кинетика спада радиоактивности элементов. Ферритно-мартенситные стали (ФМС). Преимущества ферритно-мартенситных сталей по сравнению с аустенитными. Высокохромистые ферритно-мартенситные стали. Недостатки сталей ферритно-мартенситного класса. Температура вязко-хрупкого перехода. Механизм вязко-хрупкого перехода. Причина появления низкотемпературного радиационного охрупчивания.

5. Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ

5.1. Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер

Понятие ядерного топливного цикла и его особенности. Топливный цикл реакторов деления. Типы топливного цикла в зависимости от вида ядерного горючего. Виды ядерного топливного цикла с реакторами деления. Этапы ядерного топливного цикла. Дейтерий-тритиевый топливный цикл термоядерного источника нейтронов (ТИН). Топливный цикл ядерной энергетики с реакторами деления и синтеза. Производство делящихся изотопов в термоядерных реакторах. Реакторы деления и синтеза в объединённом топливном цикле. Ториевый цикл в ядерной энергетической системе с реакторами деления и синтеза. Предпосылки к практической реализации гибридного термоядерного реактора.

3.3. Темы практических занятий

1. Характеристики поля излучений. Взаимодействие излучения с веществом;
2. Уравнения переноса для нейтронов и фотонов. Аналитические методы решения;
3. Численные детерминистские методы;
4. Метод Монте-Карло;
5. Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "1. Характеристики нейтронов и реакции взаимодействия излучения с веществом"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "2. Теоретические основы переноса излучений"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "3. Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "4. Радиационные повреждения конструкционных материалов"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "5. Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
Знать:							
методику экспериментального исследования нейтронного излучения плазмы	ИД-3ПК-5			+			Контрольная работа/Контрольное мероприятие 3. Радиационное повреждение материалов
особенности ядерного топливного цикла с установками деления и синтеза ядер	ИД-3ПК-5					+	Контрольная работа/Контрольное мероприятие 5. Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ
проблемы современной ядерной и термоядерной энергетики и значение гибридных термоядерных установок в их решении;	ИД-3ПК-5					+	Контрольная работа/Контрольное мероприятие 5. Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ
эффекты воздействия нейтронного излучения на конструкционные материалы	ИД-3ПК-5					+	Контрольная работа/Контрольное мероприятие 4. Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер. Проблемы ядерной энергетики и термоядерный источник нейтронов
Уметь:							
выполнять расчеты характеристик полей излучения в задачах с простой геометрией для источников простых геометрических форм	ИД-3ПК-5	+					Контрольная работа/Контрольное мероприятие 1. Ядерные реакции. Взаимодействие излучений с веществом
решать типовые задачи взаимодействия излучений с веществом	ИД-3ПК-5		+				Контрольная работа/Контрольное мероприятие 2. Решение уравнения переноса излучений. Расчет характеристик полей излучения в задачах с простой геометрией для источников простых геометрических форм

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Обмен электронными документами

1. Контрольное мероприятие 5. Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольное мероприятие 1. Ядерные реакции. Взаимодействие излучений с веществом (Контрольная работа)
2. Контрольное мероприятие 2. Решение уравнения переноса излучений. Расчет характеристик полей излучения в задачах с простой геометрией для источников простых геометрических форм (Контрольная работа)
3. Контрольное мероприятие 3. Радиационное повреждение материалов (Контрольная работа)
4. Контрольное мероприятие 4. Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер. Проблемы ядерной энергетики и термоядерный источник нейтронов (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Апсэ В.А.- "Моделирование физических процессов в энергетических ядерных реакторах на быстрых нейтронах", Издательство: "МЭИ", Москва, 2015 - (128 с.)
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383007334.html>;
2. Сивухин Д. В.- "Атомная и ядерная физика" Т. 5, (2-е изд.,стер.), Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2002 - (784 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2315;
3. Защита от ионизирующих излучений: в 2 т. : учебник для физических и инженерно-физических специальностей вузов / Ред. Н. Г. Гусев . – М. : Энергоатомиздат, 1990 . - ISBN 5-283-00030-X .;
4. Абрамов, А. И. Основы экспериментальных методов ядерной физики : Учебное пособие для вузов / А. И. Абрамов, Ю. А. Казанский, Е. С. Матусевич . – М. : Атомиздат, 1970 . – 558 с.;

5. Келли, Б. Радиационное повреждение твердых тел : пер. с англ. / Б. Келли ; ред. Ю. А. Осипьян . – М. : Атомиздат, 1970 . – 236 с.;
6. Рыжков С. В., Чирков А. Ю.- "Системы альтернативной термоядерной энергетики", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2018 - (200 с.)
<https://e.lanbook.com/book/104975>;
7. Туманов Ю. Н.- "Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2003 - (760 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59742.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для самостоятельной работы	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная,

		многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для консультирования	А-208, Преподавательская	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-025, Кладовка лабораторного оборудования	стеллаж, оборудование специализированное

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Нейтронная физика управляемого термоядерного синтеза

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольное мероприятие 1. Ядерные реакции. Взаимодействие излучений с веществом (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольное мероприятие 2. Решение уравнения переноса излучений. Расчет характеристик полей излучения в задачах с простой геометрией для источников простых геометрических форм (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольное мероприятие 3. Радиационное повреждение материалов (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольное мероприятие 4. Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер. Проблемы ядерной энергетики и термоядерный источник нейтронов (Контрольная работа)
- КМ-5 Контрольное мероприятие 5. Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	14	16
1	Ядерные реакции. Взаимодействие излучений с веществом						
1.1	Характеристики нейтронов и реакции взаимодействия излучения с веществом		+				
2	Уравнение переноса излучений. Расчет характеристик полей излучения в задачах с простой геометрией для источников простых геометрических форм						
2.1	Теоретические основы переноса излучений			+			
3	Радиационное повреждение материалов						
3.1	Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками нейтронов 14 МэВ				+		
4	Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер. Проблемы ядерной энергетики и термоядерный источник нейтронов						
4.1	Радиационные повреждения конструкционных материалов					+	
5	Регистрация ядерных излучений и диагностика нейтронов, эксперименты с источниками						

	нейтронов 14 МэВ					
5.1	Топливный цикл ядерной энергетики с установками деления и синтеза ядер					+
Вес КМ, %:		20	20	20	20	20