



Утвърдил:

Декан

Дата

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

Факултет: Физически

Специалност: (код и наименование)

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ядрена техника и ядрена енергетика

Бакалавърска програма: (код и наименование)

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ядрена техника и ядрена енергетика

УЧЕБНА ПРОГРАМА

Дисциплина:

--	--	--	--

Физика на ядрените реактори

Преподавател: доц. д-р Ивайло Христосков

Асистент: доц. Ивайло Христосков, преподаватели от катедра ЯТЯЕ

Учебна заетост	Форма	Хорариум
Аудиторна заетост	Лекции	30
	Семинарни упражнения	30
Обща аудиторна заетост		60
	Доклад/Презентация	35
	Самостоятелна работа в библиотека или с ресурси	40
Обща извънаудиторна заетост		75
ОБЩА ЗАЕТОСТ		135
Кредити аудиторна заетост		2.0
Кредити извънаудиторна заетост		2.5
ОБЩО ЕКСТ		4.5

№	Формиране на оценката по дисциплината ¹	% от оценката
1.	Workshops (информационно търсене и колективно обсъждане на доклади и реферати)	20
2.	Участие в тематични дискусии в часовете	20
3.	Изпит	60

Анотация на учебната дисциплина:

Учебният курс “Физика на ядрените реактори” е предназначен да даде на студентите специфични знания за физичните принципи на действие на ядрените енергетични реактори и за особеностите на тяхната експлоатация.

За студентите, които няма да продължават обучението си в магистърската програма по “Ядрена енергетика и технологии”, тези знания трябва да бъдат достатъчни за изграждане на кръга от понятия, нужни за разбиране на неутронно-физичните основи на ядрената енергетика.

За студентите, които ще продължат обучението си в споменатата магистърска програма, този курс трябва да даде началните знания, нужни за усвояване на методите за изчислително моделиране на неутронно-физичните процеси в ядрените реактори.

Семинарните упражнения следват лекционната тематика и са предназначени за разглеждане на примери, решаване на задачи и допълнително обсъждане на елементи от лекционното съдържание на курса. В рамките на семинарните упражнения студентите представят доклади, подготвени от тях по избрани съвместно с преподавателя теми, свързани с учебното съдържание на курса.

Съдържанието на този курс е тясно свързано с това на курса по “Неутронна физика”.

Предварителни изисквания:

Необходимите предварителни знания се осигуряват от базовото обучение по математика, математични методи на физиката, атомна и ядрена физика:

- Линейна алгебра и аналитична геометрия
- Математически анализ на функции на една променлива
- Математически анализ на функции на много променливи
- Математични методи за инженер-физици: Диференциални уравнения
- Атомна физика и взаимодействия на йонизиращите лъчения с веществото
- Лабораторен практикум Атомна физика и взаимодействия на йонизиращите лъчения с веществото
- Атомни електрически централи
- Физика на атомното ядро и елементарните частици
- Лабораторен практикум Физика на атомното ядро и елементарните частици
- Неутронна физика

¹ В зависимост от спецификата на учебната дисциплина и изискванията на преподавателя е възможно да се добавят необходимите форми, или да се премахнат ненужните.

Очаквани резултати:

Придобиване на образователна основа за разбиране на физичните принципи на действие на ядрените енергетични реактори, на уводни знания за неутронно-физичните процеси в ядрените реактори и за произтичащите от тях експлоатационни особености и ограничения.

Учебно съдържание**Лекции**

№	Тема:	Хорариум
1	Физични основи на ядрените реактори – основни понятия и работни принципи. Енергия на свързване и дефект на масата. Ядрен синтез и ядрено делене. Делящи се, делими и възпроизвеждащи нуклиди. Ядрена стабилност. Радиоактивно разпадане.	1
2	Продукти на деленето и енергетичен баланс. Неутрони от делене. Ядра-фрагменти. Закъсняващи неутрони. Енергетичен баланс на деленето.	1
3	Неутронни реакции и ядрени сечения. Неутронни реакции – механизми и класификация. Скорости на реакциите – микроскопични и макроскопични сечения. Енергетична зависимост на неутронните сечения.	2
4.	Физични основи на ядрените реактори – конструктивни аспекти. Забавяне на неутроните, свойства на забавителите. Неутронен спектър. Възпроизводство на делящия се материал. Хетерогенност на реакторната среда – реакторна решетка. Резонансно залавяне и Доплеров ефект. Принципи на оптимизацията на реакторната решетка – типове реактори.	2
5.	Моделиране на неутронно-физичните процеси. Неутронен пренос. Дифузионно приближение. Цели и основи на неутронно-физичния анализ на активната зона. Коефициент на размножение. Връзка с динамиката на верижната реакция. Баланс на неутроните за един неутронен цикъл – формула на шестте множителя.	3
6.	Изменение на изотопния състав на ядреното гориво. Дълбочина на изгаряне. Ефекти от изгарянето върху размножаващите свойства на реакторната среда. Компенсиране на запасната реактивност, изгарящи поглътители. Влияние на изгарянето върху динамичните характеристики на реактора и разпределението на енергоотделянето в активната зона.	2
7.	Отравяне с продукти на деленето. Отравяне и реактивност. Отравяне с ^{135}Xe – ксенонови процеси и ксенонови колебания. Отравяне със ^{149}Sm .	3

8.	Коефициенти и ефекти на реактивността. Определения и връзки. Технологични аспекти. Температурни и плътностни ефекти. Физични механизми – преглед на основата на формулата на шестте множителя.	2
9.	Коефициенти и ефекти на реактивността – експлоатационни характеристики на ВВЕР-1000. Зависимост от параметрите на активната зона. Баланс на запасите и ефектите на реактивността. Ефективност на органите за регулиране от системата за управление и защита (ОР СУЗ). ОР СУЗ на ВВЕР-1000.	1
10.	Реакторна кинетика. Предмет и основни уравнения. Точкови уравнения на кинетиката. Получаване и характеристики на решението при постоянна реактивност. Уравнение на Нордхайм. Опростено решение с една група закъсняващи неутрони – основни свойства и приложимост при характерни преходни процеси. Критичност с мигновени неутрони – граници на управляемост на реактора. Кинетика с обратни връзки по реактивност. Поведение на реактора при характерни преходни процеси.	4
11.	Кинетика на подкритичния реактор. Ефекти от независимия неутронен източник. Основни свойства на преходните процеси. Оценяване на подкритичността. Физически пуск на реактора – режими и процедури. Достигане на критичност и минимално контролируемото ниво на неутронния поток.	3
12.	Обратна задача на реакторната кинетика. Методи за определяне на реактивността – обърнато решение на кинетичните уравнения. Оценяване на независимия неутронен източник в подкритичен реактор. Реактиметър – алгоритъм, приложимост и ограничения.	2
13.	Енергоотделяне в активната зона. Източници и компоненти. Топлинна и неутронна мощност. Пространствено разпределение на енергоотделянето. Коефициенти на неравномерност. Методи за изравняване на енергоотделянето. Експлоатационни коефициенти на неравномерност за ВВЕР-1000. Определения и връзки. Типични стойности в зависимост от състоянието на активната зона. Температурни разпределения в характерни области от реакторната среда.	2
14.	Остатъчно енергоотделяне в активната зона и отработеното ядрено гориво. Източници и компоненти. Особенности на зависимостта от експлоатационната история и от времето след спиране на реактора. Приблизителни оценки – точност и приложимост.	2

Упражнения

№	Тема:	Хорариум
1	Физични основи на ядрените реактори – основни понятия и работни принципи. Енергия на свързване и дефект на масата. Ядрен синтез и ядрено делене. Делящи се, делими и възпроизвеждащи нуклиди. Ядрена стабилност. Радиоактивно разпадане.	1
2	Продукти на деленето и енергетичен баланс. Неутрони от делене. Ядра-фрагменти. Закъсняващи неутрони. Енергетичен баланс на деленето.	0.5
3	Неутронни реакции и ядрени сечения. Неутронни реакции – механизми и класификация. Скорости на реакциите – микроскопични и макроскопични сечения. Енергетична зависимост на неутронните сечения.	1
4.	Физични основи на ядрените реактори – конструктивни аспекти. Забавяне на неутроните, свойства на забавителите. Неутронен спектър. Възпроизводство на делящия се материал. Хетерогенност на реакторната среда – реакторна решетка. Резонансно залавяне и Доплеров ефект. Принципи на оптимизацията на реакторната решетка – типове реактори.	2
5.	Моделиране на неутронно-физичните процеси. Неутронен пренос. Дифузионно приближение. Цели и основи на неутронно-физичния анализ на активната зона. Коефициент на размножение. Връзка с динамиката на верижната реакция. Баланс на неутроните за един неутронен цикъл – формула на шестте множителя.	3
6.	Дифузионно приближение на уравнението на неутронния пренос. Обосноваване и приложимост.	3
7.	Спектър на забавящите се неутрони. Уравнение на забавянето в чисто разсейваща водородна среда.	2
8.	Пространствено и енергетично разпределение на неутроните в процеса на забавяне. Възрастово уравнение.	2
9.	Условия за критичност в дифузионно-възрастово приближение. Критично уравнение. Материален и геометричен параметър. Разпределение на потока и геометричен параметър за хомогенни реактори без отражател с различни форми.	3
10.	Изменение на изотопния състав на ядреното гориво. Дълбочина на изгаряне. Ефекти от изгарянето върху размножаващите свойства на реакторната среда. Компенсиране на запасната реактивност, изгарящи поглътителите. Влияние на изгарянето върху динамичните характеристики на реактора и разпределението на енергоотделянето в активната зона.	0.5

11.	Отравяне с продукти на деленето. Отравяне и реактивност. Отравяне с ^{135}Xe – ксенонови процеси и ксенонови колебания. Отравяне със ^{149}Sm .	2
12.	Коефициенти и ефекти на реактивността. Определения и връзки. Технологични аспекти. Температурни и плътностни ефекти. Физични механизми – преглед на основата на формулата на шестте множителя.	0.5
13.	Коефициенти и ефекти на реактивността – експлоатационни характеристики на ВВЕР-1000. Зависимост от параметрите на активната зона. Баланс на запасите и ефектите на реактивността. Ефективност на органите за регулиране от системата за управление и защита (ОР СУЗ). ОР СУЗ на ВВЕР-1000.	0.5
14.	Реакторна кинетика. Предмет и основни уравнения. Точкови уравнения на кинетиката. Получаване и характеристики на решението при постоянна реактивност. Уравнение на Нордхайм. Опростено решение с една група закъсняващи неутрони – основни свойства и приложимост при характерни преходни процеси. Критичност с мигновени неутрони – граници на управляемост на реактора. Кинетика с обратни връзки по реактивност. Поведение на реактора при характерни преходни процеси.	4
15.	Кинетика на подкритичния реактор. Ефекти от независимия неутронен източник. Основни свойства на преходните процеси. Оценяване на подкритичността. Физически пуск на реактора – режими и процедури. Достигане на критичност и минимално контролируемото ниво на неутронния поток.	2
16.	Обратна задача на реакторната кинетика. Методи за определяне на реактивността – обърнато решение на кинетичните уравнения. Оценяване на независимия неутронен източник в подкритичен реактор. Реактиметър – алгоритъм, приложимост и ограничения.	2
17.	Енергоотделяне в активната зона. Източници и компоненти. Топлинна и неутронна мощност. Пространствено разпределение на енергоотделянето. Коефициенти на неравномерност. Методи за изравняване на енергоотделянето. Експлоатационни коефициенти на неравномерност за ВВЕР-1000. Определения и връзки. Типични стойности в зависимост от състоянието на активната зона. Температурни разпределения в характерни области от реакторната среда.	0.5
18.	Остатъчно енергоотделяне в активната зона и отработеното ядрено гориво. Източници и компоненти. Особенности на зависимостта от експлоатационната	0.5

	история и от времето след спиране на реактора. Приблизителни оценки – точност и приложимост.	
--	--	--

Конспект за изпит

№	Въпрос
1	Физични основи на ядрените реактори – основни понятия и работни принципи. Енергия на свързване и дефект на масата. Ядрен синтез и ядрено делене. Делящи се, делими и възпроизвеждащи нуклиди. Ядрена стабилност. Радиоактивно разпадане.
2	Продукти на деленето и енергетичен баланс. Неутрони от делене. Ядра-фрагменти. Закъсняващи неутрони. Енергетичен баланс на деленето.
3	Неутронни реакции и ядрени сечения. Неутронни реакции – механизми и класификация. Скорости на реакциите – микроскопични и макроскопични сечения. Енергетична зависимост на неутронните сечения.
4.	Физични основи на ядрените реактори – конструктивни аспекти. Забавяне на неутроните, свойства на забавителите. Неутронен спектър. Възпроизводство на делящия се материал. Хетерогенност на реакторната среда – реакторна решетка. Резонансно залавяне и Доплеров ефект. Принципи на оптимизацията на реакторната решетка – типове реактори.
5.	Моделиране на неутронно-физичните процеси. Неутронен пренос. Дифузионно приближение. Цели и основи на неутронно-физичния анализ на активната зона. Коефициент на размножение. Връзка с динамиката на верижната реакция. Баланс на неутроните за един неутронен цикъл – формула на шестте множителя.
6.	Изменение на изотопния състав на ядреното гориво. Дълбочина на изгаряне. Ефекти от изгарянето върху размножаващите свойства на реакторната среда. Компенсиране на запасната реактивност, изгарящи поглътители. Влияние на изгарянето върху динамичните характеристики на реактора и разпределението на енергоотделянето в активната зона.
7.	Отравяне с продукти на деленето. Отравяне и реактивност. Отравяне с ^{135}Xe – ксенонови процеси и ксенонови колебания. Отравяне със ^{149}Sm .
8.	Коефициенти и ефекти на реактивността. Определения и връзки. Технологични аспекти. Температурни и плътностни ефекти. Физични механизми – преглед на основата на формулата на шестте множителя.
9.	Коефициенти и ефекти на реактивността – експлоатационни характеристики на ВВЕР-1000. Зависимост от параметрите на активната зона. Баланс на запасите и ефектите на реактивността. Ефективност на органите за регулиране от системата за управление и защита (ОР СУЗ). ОР СУЗ на ВВЕР-1000.
10.	Реакторна кинетика. Предмет и основни уравнения. Точкови уравнения на кинетиката. Получаване и характеристики на решението при постоянна реактивност. Уравнение на Нордхайм. Опростено решение с една група закъсняващи неутрони – основни свойства и приложимост при характерни

	преходни процеси. Критичност с мигновени неутрони – граници на управляемост на реактора. Кинетика с обратни връзки по реактивност. Поведение на реактора при характерни переходни процеси.
11.	Кинетика на подкритичния реактор. Ефекти от независимия неутронен източник. Основни свойства на переходните процеси. Оценяване на подкритичността. Физически пуск на реактора – режими и процедури. Достигане на критичност и минимално контролируемото ниво на неутронния поток.
12.	Обратна задача на реакторната кинетика. Методи за определяне на реактивността – обърнато решение на кинетичните уравнения. Оценяване на независимия неутронен източник в подкритичен реактор. Реактиметър – алгоритъм, приложимост и ограничения.
13.	Енергоотделяне в активната зона. Източници и компоненти. Топлинна и неутронна мощност. Пространствено разпределение на енергоотделянето. Коефициенти на неравномерност. Методи за изравняване на енергоотделянето. Експлоатационни коефициенти на неравномерност за ВВЕР-1000. Определения и връзки. Типични стойности в зависимост от състоянието на активната зона. Температурни разпределения в характерни области от реакторната среда.
14.	Остатъчно енергоотделяне в активната зона и отработеното ядрено гориво. Източници и компоненти. Особенности на зависимостта от експлоатационната история и от времето след спиране на реактора. Приблизителни оценки – точност и приложимост.

Библиография

Основна:

1. И. Христосков, Физика на ядрените реактори (Лекционни записки) на адрес: <http://ntne.phys.uni-sofia.bg/BG/Manuals>

Допълнителна:

1. E. E. Lewis, Fundamentals of Nuclear Reactor Physics, Academic Press, 2008
2. W. M. Stacey, Nuclear Reactor Physics, John Wiley & Sons, 2001
3. Е. Вапирев, И. Христосков, Неутронно-физични процеси при ВВЕР-440 (В-230) и ВВЕР-1000 (В-320), УТЦ - “АЕЦ Козлодуй” ЕАД, 2004

Дата: 09.03.2013 г.

Съставил:

доц. д-р Ивайло Христосков