

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным программам

О.И. Чуприс

« 07 » _____ 2019 г.

Регистрационный № УД-6620/уч.

**ПРОГРАММА КОМПЛЕКСНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

по специальности, направлению специальности, специализации

для специальности

1-31 04 06 Ядерная физика и технологии

2019 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 06-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 № 88 и учебных планов №G31-142/уч., и №G31и-175/уч. от 30.05.2013 типовых программ по дисциплинам «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений», «Физика ядра и элементарных частиц», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика»

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.И. Горбачук — зам. декана физического факультета, доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

И.А. Солодухин — зам. декана физического факультета, доцент кафедры общей физики БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.И. Хмельницкий — зам. декана физического факультета, доцент кафедры биофизики БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

И.Н. Медведь — доцент кафедры общей физики, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.В. Новицкий — профессор кафедры теоретической физики и астрофизики, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

А.И. Слободянюк — зав. кафедрой общей физики, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.И. Тимощенко — зав. кафедрой ядерной физики, канд. физ.-мат. наук, доцент;

В.В. Углов — зав. кафедрой физики твердого тела, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

Н.К. Филиппова — доцент кафедры высшей математики и математической физики, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.Н. Фурс — зав. кафедрой теоретической физики и астрофизики, д-р. физ.-мат. наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Методической комиссией физического факультета
(протокол № 5 от 06.02.2019);

Научно-методическим Советом БГУ (протокол № 3 от 11.02.2019.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Государственный экзамен является одной из обязательных составляющих итоговой аттестации студентов. Программа комплексного государственного экзамена по специальности, направлению специальности и специализации разработана в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта I ступени высшего образования и Правилами проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования.

Программа комплексного государственного экзамена определяет и регламентирует структуру и содержание комплексного государственного экзамена по специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии.

В программу комплексного государственного экзамена включаются следующие учебные дисциплины:

- цикла общенаучных и общепрофессиональных дисциплин — «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений», «Физика ядра и элементарных частиц», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика»;
- цикла специальных дисциплин — «Физическое материаловедение», «Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом», «Физика ядерных реакторов», «Тепло-массоперенос в ядерно-энергетических установках», «Системы управления и защиты ядерных энергетических установок», «Ядерные технологии», «Ядерная безопасность», «Режимы работы и эксплуатации АЭС»;
- и цикла дисциплин специализаций — 1-31 04 06 01 Ядерная физика и электроника; 1-31 04 06 02 Физика ядерных реакторов и атомных энергетических установок; 1-31 04 06 03 Радиационное материаловедение.

Комплексный государственный экзамен проводится на заседании государственной экзаменационной комиссии.

Цель проведения комплексного государственного экзамена по специальности – выявление компетенций специалиста, т. е. теоретических знаний и практических умений, необходимых для решения теоретических и практических задач специалиста с высшим образованием.

Программа комплексного государственного экзамена носит системный, междисциплинарный характер и ориентирована на выявление у выпускника общепрофессиональных и специальных знаний и умений.

В рамках подготовки по общенаучным и общепрофессиональным дисциплинам выпускник должен:

знать:

- основные понятия и законы механики; законы сохранения; основы механики сплошной среды; уравнения движения в разных формулировках; основные уравнения для идеальной и вязкой жидкостей;
- общие методы измерений физических величин; статистический и термодинамический подходы к описанию термодинамических систем; основные законы и методы термодинамики; основные принципы статистической механики; микроканоническое и каноническое распределения; свойства реальных газов и жидкостей;
- основные законы электромагнитных взаимодействий; законы постоянного и переменного тока; уравнения Максвелла для полей в вакууме и сплошных средах; свойства диэлектриков и магнетиков; тензор энергии-импульса, потенциалы электромагнитного поля;
- основы электромагнитной теории света; явления интерференции и дифракции; принципы генерации света; физический механизм излучения электромагнитных волн;

- основы истории развития физики микроявлений (эксперимента и теории); основные положения и принципы квантовой механики; операторы физических величин; уравнение Шредингера; методы квантово-механического описания атомов, молекул и кристаллов;
- физическое обоснование периодической системы элементов; свойства и модели атомных ядер; свойства ядерных сил; физические принципы ядерной энергетики; основные представления об элементарных частицах и взаимодействиях;

уметь:

- решать задачи по кинематике, динамике, механике сплошной среды; использовать законы сохранения при решении задач; рассчитывать характеристики движения частиц в силовых полях; рассчитывать параметры колебаний механических систем в гармоническом приближении;
- выполнять расчеты термодинамических процессов; использовать статистические распределения при решении задач; обосновывать законы термодинамики методами статистической механики; решать практически важные задачи термодинамики и физической кинетики;
- рассчитывать электрические и магнитные поля в вакууме и веществе; выполнять расчет цепей квазистационарных переменных токов; использовать законы электромагнетизма при решении задач; применять уравнения Максвелла для расчета электромагнитных полей;
- решать задачи геометрической и физической оптики; анализировать практически важные схемы интерференции и дифракции;
- применять теорию Бора для оценки основных параметров атомов; применять квантово-механический подход для объяснения атомно-молекулярных явлений и расчета характеристик атомов, молекул и кристаллов; связывать характеристики атомов и молекул с их оптическими и рентгеновскими спектрами; находить собственные значения и собственные функции разных операторов физических величин для практически важных случаев;
- вычислять энергию связи ядер и энергетический выход ядерных реакций; использовать законы квантовой физики для объяснения ядерных процессов;

владеть:

- методами экспериментальных исследований механических явлений и процессов; методами обработки результатов экспериментальных исследований; математическими методами решения задач по механике; основными методами получения уравнений движения механических систем; общими методами решения уравнений движения;
- методами экспериментальных исследований термодинамических систем; методами обработки результатов экспериментальных исследований; математическими методами решения задач термодинамики и статистической физики;
- методами экспериментальных исследований электрических и магнитных свойств веществ; методами экспериментального исследования электрических цепей; математическими методами решения задач по электричеству и магнетизму; математическими методами электродинамики; методами расчёта электромагнитных полей
- методами экспериментальных исследований оптических явлений; – математическими методами решения задач по оптике.
- терминологией физики микроявлений; навыками проведения экспериментальных исследований атомно-молекулярных явлений; математическими методами решения задач атомной физики; приближенными методами описания квантовомеханических систем
- методами расчета характеристик радиоактивного распада и ядерных реакций; методами анализа кинематических характеристик ядерных процессов.

В рамках подготовки по специальным дисциплинам выпускник должен:

знать:

- физические основы строения твердых тел, механизмы изменения структуры, свойств металлов и сплавов в результате пластической деформации, термической обработки;

- физико-механические свойства, эксплуатационные характеристики конструкционных материалов.
- основные процессы взаимодействия различных видов излучений с веществом, закономерности ослабления ионизирующего излучения в веществе.
- основные закономерности развития цепной ядерной реакции в реакторе, закономерности нейтронной кинетики в реакторе, характеристики нуклидного состава в реакторе и влияние его на работу реактора.
- теоретические основы тепломассопереноса, особенности гидродинамики и теплообмена в ядерном реакторе, процессы тепломассопереноса в ядерном реакторе.
- структуру управления ядерным реактором, основные задачи управления и защиты реактора, принципы безопасного управления, принципы построения современных систем управления ядерными реакторами;
- организационные и технические средства обеспечения безопасности на АЭС;
- модели и методы расчета полей различных видов излучений, предельные дозы и контрольные уровни излучения и концентрации радионуклидов;
- процессы образования радиоактивных отходов, способы транспортировки, захоронения и уничтожения радиоактивных отходов, источники различных видов излучений в ядерном реакторе, технологию снятия с эксплуатации ядерных энергетических установок.

уметь:

- применять знания физико-химических основ технологических процессов при разработке материалов с необходимым набором свойств.
- рассчитывать сечения взаимодействия различных видов излучений с атомами и ядрами, определять потери энергии и пробеги частиц падающего излучения в различных средах, определять физические характеристики наведенной нейтронами радиоактивности.
- рассчитать распределения нейтронов, энерговыделения и температуры в ядерном реакторе, рассчитать и измерить основные физические характеристики ядерного реактора, включая критическую массу, температурные коэффициенты и эффекты реактивности, нуклидный состав топлива, температуру и напряжение в твэлах;
- решать уравнения теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, рассчитывать температурные поля и параметры теплоносителя в ядерных реакторах, анализировать и контролировать теплофизические процессы на работающих ядерных реакторах;
- читать принципиальные и структурные электрические схемы управления и защиты ядерными реакторами, моделировать на компьютере системы управления реактором.
- использовать информационные технологии при разработке новых установок и технологий;
- рассчитывать поля различных излучений в ядерном реакторе, защиту, обеспечивающую допустимые дозы, выбирать наиболее рациональный способ защиты.

владеть:

- методами измерений и оценки свойств материалов, методикой проведения измерительного эксперимента;
- методами анализа взаимодействия различных видов излучения с веществом;
- методами измерения температурных полей, теплофизических свойств конструкционных материалов и теплоносителей;
- основами современных методов расчёта и моделирования термогидродинамических процессов в реакторной установке, реакторе, тепловыделяющей сборке, тепловыделяющем элементе.
- математическими моделями и программами, описывающими работу ядерных энергетических установок;
- навыками управления ядерным реактором на аналитических тренажерах в различных режимах его работы, в том числе и при различных авариях;

– современными компьютерными программами инженерных расчетов биологической защиты реакторных установок, методами качественной оценки биологической защиты от различных видов излучения.

Освоение образовательной программы специальности 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций

академические компетенции:

Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

Владеть системным и сравнительным анализом.

Владеть исследовательскими навыками.

Уметь работать самостоятельно.

Быть способным выработать новые идеи (креативность).

Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

Обладать качествами гражданственности.

Быть способным к социальному взаимодействию.

Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

Владеть навыками здорового образа жизни.

Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку производственных процессов.

Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологий, оборудование и аппаратуру в исследовательской, научно-педагогической и производственной деятельности.

Разрабатывать и оптимизировать ядерно-физические технологии в энергетике и промышленности.

Вести переговоры, разрабатывать планы сотрудничества с другими организациями.

Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

Экзамен (ответы студентов и беседа с экзаменуемыми) проводится на русском или белорусском языке.

В ходе подготовки экзаменуемые имеют право использовать учебные программы соответствующих дисциплин, научную и справочную литературу.

На подготовку к ответу обучающемуся отводится не менее 30 минут (но не более 1 астрономического часа). Время, которое отводится на ответ одного экзаменуемого, – до 30 минут.

Структура экзаменационного билета

Вопросы экзаменационного билета по учебным дисциплинам «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений», «Физика ядра и элементарных частиц», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика», «Физическое материаловедение», «Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом», «Физика ядерных реакторов», «Тепло-массоперенос в ядерно-энергетических установках», «Системы управления и защиты ядерных энергетических установок», «Ядерные технологии», «Ядерная безопасность», «Режимы работы и эксплуатации АЭС», а также дисциплинам специализаций 1-31 04 06 01 Ядерная физика и электроника; 1-31 04 06 02 Физика ядерных реакторов и атомных энергетических установок; 1-31 04 06 03 Радиационное материаловедение отражают содержание образовательной программы по специальности 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии.

Экзаменационный билет состоит из двух частей: теоретической (2 вопроса) и практической (1 задание). В практическую часть включены задания исследовательского типа, ситуационные задания, мини кейсы и т.п. по циклам дисциплин специализаций, позволяющие оценить полученные в процессе обучения знания и практические навыки.

Характеристика теоретической части: первый вопрос билета относится к дисциплинам общей и теоретической физики (раздел 1 теоретической части), второй вопрос билета — к дисциплинам специальности (раздел 2 теоретической части).

Содержание практической части экзаменационного билета соответствует программам циклов дисциплин специализации (раздел 1 практической части). Примеры заданий представлены в разделе 2 практической части.

СОДЕРЖАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Раздел 1. ОБЩАЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

МЕХАНИКА

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. **Кинематика материальной точки.** Способы описания движения материальной точки. Система отсчета. Траектория и длина пути. Вектор перемещения. Скорость. Ускорение.

2. **Основная задача динамики. Законы Ньютона.** Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Сила, масса, импульс. Второй закон Ньютона. Принцип независимости действия сил. Третий закон Ньютона.

3. **Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа.** Формулировка принципа наименьшего действия. Необходимое условие экстремальности действия. Уравнения Лагранжа. Свойства функции Лагранжа (аддитивность, эквивалентность, невырожденность). Нахождение закона движения механической системы методом Лагранжа.

4. **Гамильтонова форма уравнений механики.** Переменные состояния в гамильтоновой механике. Фазовое пространство. Связь между функциями Лагранжа и Гамильтона. Физический смысл функции Гамильтона. Канонические уравнения. Нахождение закона движения механической системы методом Гамильтона.

5. **Фундаментальные законы сохранения в классической механике.** Связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени. Определения однородности и изотропности пространства и времени. Закон сохранения энергии и его связь с однородностью времени. Закон сохранения импульса и его связь с однородностью пространства. Закон сохранения момента импульса и его связь с изотропностью пространства.

6. **Движение в центральном силовом поле.** Закон Кулона и закон всемирного тяготения. Определение центрально-симметричного поля. Свойства силы, действующей на частицу в центральном поле. Сохранение момента импульса и закон площадей. Нахождение закона движения из первых интегралов движения. Общие свойства траекторий в кулоновском поле.

7. **Линейные колебания механических систем.** Свободные колебания системы с одной степенью свободы в гармоническом приближении. Частота, амплитуда и фаза колебания. Изохронность колебаний. Вынужденные колебания при отсутствии трения. Резонанс. Характеристическое уравнение. Собственные частоты колебаний. Нормальные колебания и нормальные координаты.

8. **Кинематика твердого тела.** Степени свободы твердого тела. Разложение движения твердого тела на слагаемые движения. Виды движения. Векторы угловой скорости и углового ускорения. Мгновенная ось вращения.

9. **Динамика вращательного движения. Уравнения Эйлера.** Тензор инерции, главные оси и главные моменты инерции твердого тела. Кинетическая энергия и момент импульса твердого тела. Свободное вращение шарового и симметрического волчков. Прецессия. Динамические уравнения Эйлера для вращательного движения.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

10. **Первое начало термодинамики.** Работа. Теплота. Внутренняя энергия. Физическое содержание первого начала термодинамики. Функции состояния и полные дифференциалы.

11. **Второе начало термодинамики.** Циклические процессы. Работа цикла. Коэффициент полезного действия тепловой машины. Цикл Карно. Теоремы Карно. Формулировки Клаузиуса и Кельвина второго начала термодинамики.

12. **Энтропия.** Неравенство Клаузиуса. Энтропия. Энтропия идеального газа, ее физический смысл и расчет в процессах идеального газа. Формулировка второго начала термодинамики с помощью энтропии. Статистический характер второго начала термодинамики. Изменение энтропии в необратимых процессах.

13. **Фазовые состояния и фазовые превращения.** Переход из газообразного состояния в жидкое. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Кристаллизация и плавление. Кристаллизация и сублимация. Фазовые диаграммы. Фазовые переходы первого и второго рода.

14. **Статистические распределения.** Распределение Больцмана, Максвелла, Гиббса. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.

15. **Термодинамические потенциалы.** Преобразование производных термодинамических величин. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал. Термодинамические неравенства.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

16. **Электростатическое поле в вакууме.** Электрическое поле. Напряженность и потенциал электрического поля. Основная задача электростатики. Энергия электрического поля.

17. **Электростатическое поле при наличии проводников и диэлектриков.** Поле заряженного проводника. Механизмы поляризации полярных и неполярных диэлектриков. Вектор поляризованности.

18. **Стационарное магнитное поле.** Закон Ампера. Теорема Био-Савара-Лапласа. Вихревой характер магнитного поля. Контур с током в магнитном поле. Энергия магнитного поля.

19. **Магнитные свойства вещества.** Вектор и токи намагничивания. Природа диамагнетизма, парамагнетизма и ферромагнетизма.

20. **Электрический ток и его поле.** Характеристики тока. Уравнение непрерывности. Законы стационарного тока. Критерий квазистационарности тока.

21. **Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла.** Явление электромагнитной индукции (закон Фарадея). Сила Лоренца. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла и их физический смысл.

22. **Электромагнитные волны.** Волновые уравнения и их решения. Плоская электромагнитная волна, ее свойства и характеристики. Вектор Умова-Пойнтинга. Распространение электромагнитных волн в однородных изотропных средах и в неограниченной проводящей среде.

ОПТИКА

23. **Интерференция света.** Когерентность колебаний. Интерференция волн. Способы получения интерференционной картины. Интерференция в тонких плёнках. Интерферометры.

24. **Дифракция света.** Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля на простейших преградах. Дифракция Фраунгофера на одной щели. Дифракционная решётка. Дифракция света на многомерных структурах.

25. **Поляризация света.** Естественный и поляризованный свет. Поляризация излучения при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков. Анизотропия оптических свойств кристаллов. Двулучепреломление. Поляризационные приборы.

26. **Геометрическая оптика.** Основные законы геометрической оптики, пределы их применимости. Принцип Ферма. Линзы, зеркала, центрированные оптические системы. Кардинальные элементы идеальной оптической системы.

27. **Дисперсия света.** Нормальная и аномальная дисперсия. Фазовая и групповая скорости света. Спектральные приборы.

28. **Поглощение и рассеяние света.** Поглощение света. Рассеяние Рэлея и Ми. Комбинационное рассеяние.

29. **Лазер.** Спонтанное и вынужденное излучения. Люминесценция. Принцип работы лазера. Свойства лазерного излучения. Основные типы лазеров: твёрдотельные, жидкостные, газовые, полупроводниковые.

ФИЗИКА АТОМА И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

30. **Корпускулярно-волновой дуализм.** Фотоэффект и эффект Комптона. Фотоны. Опыты по дифракции микрочастиц. Сосуществование корпускулярных и волновых свойств у микрообъектов.

31. **Теория Бора и атом водорода.** Постулаты Бора и модель атома водорода согласно теории Бора. Опыты Франка и Герца. Стационарные состояния и уровни энергии атома водорода. Квантовые числа. Распределение электронной плотности.

32. **Волновая функция.** Вероятностная интерпретация волновой функции. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний.

33. **Момент импульса микрочастиц.** Орбитальный и спиновый моменты микрочастиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули.

34. **Строение многоэлектронных атомов.** Заполнение электронных слоев и оболочек атомов. Основные закономерности периодической системы элементов.

35. **Строение и свойства молекул.** Природа химической связи. Виды движения в молекуле. Электронные кривые, колебательные и вращательные состояния двухатомных молекул. Молекулярные спектры.

36. **Состояния и наблюдаемые в квантовой механике.** Влияние измерения на состояние физической системы как для чистых, так и для смешанных состояний. Статистическое распределение результатов измерения.

37. **Одновременная измеримость физических величин.** Совместные наблюдаемые. Понятие о полном наборе совместных наблюдаемых. Соотношение неопределенностей для физических величин.

38. **Принцип причинности в квантовой механике.** Изменение вектора состояния и наблюдаемых со временем. Время в квантовой механике. Квантовомеханические уравнения движения. Понятия о картинах изменения состояния (картины Шрёдингера, Гейзенберга и Дирака). Уравнение Шрёдингера для амплитуд вероятностей. Стационарные состояния и их свойства. Теорема Эренфеста.

39. **Интегралы движения в квантовой механике.** Квантовые переходы. Понятие об интеграле движения. Связь интегралов движения с симметрией системы: импульс и момент импульса как интегралы движения для замкнутой системы. Соотношение неопределённости для энергии. Вероятности переходов.

ФИЗИКА ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

40. **Статические свойства атомных ядер и ядерные модели.** Статические свойства атомных ядер. Удельная энергия связи ядра. Основные свойства ядерных сил и ядерные модели.

41. **Явление радиоактивности и альфа-распад.** Основной закон радиоактивного распада. Энергетические условия и механизм альфа-распада.

42. **Бета-распад.** Энергетические условия, спектр, нейтрино. Нарушение Р-четности при бета-распаде.

43. **Основные виды и механизмы протекания ядерных реакций.** Боровская модель ядерных реакций. Резонансные и нерезонансные реакции. Прямые ядерные реакции.

44. **Деление ядер.** Элементарная теория деления. Цепная ядерная реакция.

45. **Реакция синтеза.** Энергетические условия. Управляемый термоядерный синтез. Нуклеосинтез.

46. **Классификация элементарных частиц.** Фундаментальные частицы. Мезоны и барионы. Законы сохранения в мире элементарных частиц. Стабильные частицы, нестабильные частицы и резонансы.

47. **Фундаментальные взаимодействия.** Основные свойства фундаментальных взаимодействий. Элементы теорий объединения взаимодействий.

Раздел 2.

ДИСЦИПЛИНЫ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

1. **Атомно-кристаллическое строение твердых тел.** Элементы кристаллографии и кристаллофизики. Типы связей в кристаллах. Принцип плотнейшей упаковки. Типичные структуры металлических кристаллов.

2. **Сплавы. Диаграммы состояния.** Фазы в сплавах. Твердые растворы. Химические соединения. Диаграммы состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы, образующих неограниченные твердые растворы, образующих химические соединения.

3. **Материалы, используемые в машиностроении и атомной энергетике.** Конструкционные стали и сплавы. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы. Тугоплавкие металлы и их сплавы.

4. **Современные функциональные материалы.** Нанокристаллические материалы, новые углеродные материалы, их получение и свойства, свойства и практическое применение. Конструкционные материалы с ультрамелким зерном.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С ВЕЩЕСТВОМ

5. **Взаимодействие ионизирующих заряженных частиц с веществом.** Ионизационные и радиационные потери энергии, линейная передача энергии, длина пробега. Выбор материала защиты от заряженных частиц.

6. **Взаимодействие нейтронов с веществом.** Классификация нейтронов по энергии. Особенности взаимодействия нейтронов различных энергий с веществом. Альbedo и фактор накопления. Выбор материала защиты от нейтронов.

7. **Взаимодействие фотонного ионизирующего излучения с веществом.** Ослабление нерассеянного излучения в веществе. Зависимость линейного коэффициента ослабления в веществе от энергии фотонного излучения. Фактор накопления. Выбор материала защиты от фотонного излучения.

ФИЗИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

8. **Нейтронно-физические процессы в ядерных реакторах.** Реакторы на тепловых, промежуточных и быстрых нейтронах. Мгновенные и запаздывающие нейтроны деления. Коэффициент размножения нейтронов. Формула четырех сомножителей. Роль запаздывающих нейтронов в управлении ядерным реактором.

9. **Условно-критическое уравнение реактора в диффузионно-возрастном приближении.** Модель непрерывного замедления. Возраст нейтронов. Площадь миграции нейтронов. Время замедления. Уравнение переноса нейтронов в возрастном приближении в средах с поглощением (уравнение возраста). Примеры решения уравнения возраста.

10. **Процессы, влияющие на реактивность реактора. Коэффициенты реактивности.** Факторы, приводящие к изменению реактивности реактора. Параметры, от которых может зависеть реактивность. Коэффициенты реактивности. Требования правил ядерной безопасности к коэффициентам реактивности.

ТЕПЛО-МАССОПЕРЕНОС В ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

11. **Конвективный теплообмен.** Основные положения. Ламинарный и турбулентный режимы теплообмена: краткий сравнительный анализ. Пограничный слой и его виды. Теплообмен в трубах и пучках стержней (основные особенности).

12. **Процессы теплообмена в твэлах, тепловыделяющих сборках и активной зоне реактора с водой под давлением.** Моделирование процессов теплообмена в ядерных реакторах. Характер распределения температур в твэлах и теплоносителе (применительно к реакторам ВВЭР) по высоте и радиусу активной зоны и её конструктивных элементов.

13. **Гидродинамика и теплообмен пароводяных смесей.** Основные положения: классификация многофазных потоков; величины, характеризующие двухфазный поток; режимы течения и теплообмена в вертикальных и горизонтальных трубах. Кризис теплообмена, схемы механизмов кризиса теплообмена в парогенерирующем канале.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЯЭУ

14. **Назначение и структура систем управления и защиты ядерных реакторов (СУЗ). Материалы СУЗ. Борное регулирование.** Назначение СУЗ ядерных реакторов. Структура СУЗ, функциональное назначение отдельных элементов и групп элементов СУЗ. Выгорающие и слабовыгорающие поглотители нейтронов. Требования к конструкциям органов СУЗ. Состав и назначение системы борного регулирования.

15. **Системы контроля нейтронного потока и внутриреакторного контроля.** Автоматизированная система контроля нейтронного потока (АКНП): состав, расположение, виды датчиков. Внутриреакторный контроль физических параметров активной зоны: нейтронного потока, контроль расхода теплоносителя, его температуры, температуры топлива и других параметров. Сбор, хранение и передача данных в системе.

16. **Система управления мощностью ядерной энергетической установки. Пуск и останов ядерной энергетической установки.** Способы управления мощностью реактора. Физический пуск ядерной энергетической установки. Система управления ступенчатым пуском энергоблока АЭС. Останов ядерной энергетической установки. Аварийный останов.

ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

17. **Ядерный топливный цикл. Поколения ядерных энергетических установок.** Основные элементы ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Виды ЯТЦ. Поколения ядерных энергетических установок и ЯТЦ.

18. **Источники ионизирующего излучения в экономике и в службах безопасности.** Промышленная радиография. Промышленные облучатели. Датчики, в которых используются источники ионизирующего излучения. Источники ионизирующего

излучения в в строительстве, сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Использование источников ионизирующего излучения в научных исследованиях. Производство источников ионизирующего излучения. Правила радиационной безопасности.

19. Источники ионизирующего излучения в медицине. Источники ионизирующего излучения в радиационной диагностике. Источники ионизирующего излучения в дистанционной лучевой терапии и брахитерапии. Источники ионизирующего излучения в ядерной медицине. Правила радиационной безопасности.

ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

20. Система управления и регулирования ядерной безопасностью. Сущность понятия «ядерная безопасность». Проблемы обеспечения ядерной безопасности и ее составляющие. Законодательная база. Органы государственного управления использованием атомной энергии. Эксплуатирующая организация. Регулирующий орган. Культура ядерной безопасности, её уровни. Система обеспечения качества.

21. Анализ безопасности. Детерминистский анализ безопасности (ДАБ). Основные элементы ДАБ. Принцип единичного отказа. Отказы по общей причине. Вероятностный анализ безопасности (ВАБ). Основные элементы и методы ВАБ. Уровни ВАБ.

22. Качественный анализ аварии на ядерной или радиационно опасном объекте. Уроки крупнейших аварий на АЭС. Международная шкала происшествий на АЭС. Аварии на АЭС ТМ1 (США), ЧАЭС (СССР), Fukushima (Япония).

23. Физическая ядерная безопасность ядерных и радиационно опасных объектов. Предмет физической ядерной безопасности. Международная система физической ядерной безопасности. Обеспечение физической ядерной безопасности на национальном уровне. Физическая защита ядерных объектов и ядерных материалов: принципы, технические средства физической защиты, организационные меры. Особенности обеспечения физической защиты источников ионизирующего излучения.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС

24. Технологические схемы атомных электростанций и эксплуатация АЭС. Принципиальные технологические схемы одноконтурной, двухконтурной и трехконтурной АЭС. Основной и вспомогательные технологические процессы на АЭС. Понятие эксплуатации АЭС и её составляющие. Основные процессы эксплуатации энергоблока АЭС. Функции управления. Понятие и роль эксплуатирующей организации. Этапы жизненного цикла АЭС. Обеспечение качества на АЭС. Программы обеспечения качества (ПОКАС).

25. Ввод в эксплуатацию энергетического блока АЭС с ВВЭР. Организация наладки и ввода в эксплуатацию. Организация приемки в эксплуатацию оборудования и сооружений АЭС. Управление процессом ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС. Предпусковые наладочные работы (ПНР). Физический пуск. Энергетический пуск. Комплексное опробование оборудования и систем энергоблока: этапы увеличение мощности энергоблока, испытания оборудования и систем для подтверждения проектных параметров. Динамические испытания. Прием в промышленную эксплуатацию.

26. Промышленная эксплуатация энергоблока АЭС с ВВЭР. Эксплуатационные состояния. Проектные пределы. Эксплуатационные пределы. Эксплуатационные условия. Пределы безопасной эксплуатации. Условия безопасной эксплуатации. Нормальная эксплуатация реакторной установки (РУ). Нарушение нормальной эксплуатации РУ. Авария. Проектная авария. Запроектная авария. Тяжёлая авария. Водно-химический режим на АЭС. Техническое обслуживание и ремонт на АЭС. Работа АЭС в энергосистеме. Техничко-экономические показатели эксплуатации.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

РАЗДЕЛ 1

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИН СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

1-31 04 06 01 Ядерная физика и электроника

(специальность: 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии)

1. **Элементы системы автоматики и управления ядерных энергетических установок.** Применение программируемых логических интегральных схем в ядерно-физических и теплофизических измерениях параметров ядерных энергетических установок.

2. **Однокристалльные микро-ЭВМ.** Структурная схема микроконтроллера Intel-8051. Система команд. Коммуникационные интерфейсы SPI, I2C, USART. Функциональные блоки центрального процессора однокристалльной микро-ЭВМ MCS-51. Состав и назначение функциональных блоков центрального процессора микроконтроллера Intel-8051: арифметико-логического устройства, блока счетчика команд, устройства управления.

3. **Автоматизированные измерительные системы (ИС).** Технологическая структура ИС. Функции элементов ИС. Классификация ИС. Режимы работы ИС.

4. **Измерительные системы.** Стандартные интерфейсы персональных компьютеров и периферийных устройств, используемые в измерительных системах.

5. **Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.** Составные части и способы аналого-цифрового преобразования. АЦП последовательного приближения. Параллельные АЦП. Параллельно-последовательные АЦП. Конвейерные АЦП. Сигма-дельта АЦП. Погрешности АЦП с линейной шкалой. Шкалы с μ - и A-характеристиками. ЦАП с двоично-взвешенными сопротивлениями. ЦАП с резистивной сеткой типа R-2R. ЦАП с источниками тока. Погрешности ЦАП.

6. **Аналого-цифровая и цифро-аналоговая техника.** Операционные усилители. Компараторы. Аналоговые ключи. Устройства выборки и хранения.

7. **Требования к характеристикам спектрометрических усилителей.** Согласование детектора с измерительным трактом. Зависимость спектров сигналов детекторов от метрологических параметров усилителя. Требования к нелинейности амплитудной характеристики. Обратные связи в усилителях. Влияние отрицательной обратной связи на параметры и характеристики усилителя. Критерий устойчивости усилителя с обратной связью. Формирование сигналов в спектрометрическом тракте.

8. **Кодирование амплитудной и временной спектрометрической информации.** Временное распределение сигналов на входе измерительной установки. Амплитудное распределение импульсов на выходе детектора. Структурная схема амплитудного спектрометра. Структурная схема временного спектрометра. Методы кодирования амплитудной и временной спектрометрической информации.

9. **Методы амплитудной селекции.** Линейные сумматоры. Интегральные дискриминаторы. Дифференциальные дискриминаторы. Линейные схемы пропускания.

10. **Методы расширения спектров сигналов в беспроводных технологиях.** Метод прямой последовательности – DSSS. Коды Баркера. Метод расширения спектра скачкообразной перестройкой частоты – FHSS.

11. **Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС (АСУ ТП АЭС).** Назначение и подсистемы АСУ ТП АЭС. Состав и структура АСУ ТП Белорусской АЭС.

12. **Ускорители заряженных частиц.** Принцип действия и назначение ускорителей заряженных частиц. Ускорители прямого действия. Установки физики высоких

плотностей энергии. Линейные ускорители. Циклические ускорители. Накопители и метод встречных пучков.

13. **Нейтронная физика.** Получение нейтронов различных энергий. Особенности взаимодействия нейтронов с веществом. Особенности регистрации и спектрометрии нейтронов различных энергий.

14. **Методы регистрации ядерных излучений.** Ионизационный метод регистрации ядерных излучений. Ионизационные камеры. Пропорциональные счетчики. Счетчики Гейгера. Полупроводниковые детекторы. Фотографический метод. Трековый метод.

15. **Спектрометрия альфа-, бета-, гамма- излучений.** Особенности спектрометрии альфа-излучения. Альфа-спектрометры. Особенности спектрометрии бета-излучения. Бета-спектрометры. Особенности спектрометрии гамма-излучения. Гамма-спектрометры.

16. **Радиометрия ионизирующего излучения.** Абсолютные и относительные методы измерения радиоактивности. Особенности радиометрии альфа-, бета-, гамма-излучений.

17. **Ядерный магнитный резонанс.** Регистрация сигналов магнитного резонанса. Области применения ядерного магнитного резонанса.

18. **Физика электронных пучков.** Излучательная неустойчивость электронных пучков. Принципы работы лазеров на свободных электронах.

19. **Методы ядерно-физического эксперимента в физике высоких энергий.** Взаимодействия и поля в физике высоких энергий. Неускорительная физика высоких энергий. Космические лучи. Ускорители заряженных частиц. Детекторы для экспериментальной физики высоких энергий, их классификация, принципы конструкции и основные характеристики. Основные принципы и последовательность планирования эксперимента и проектирования физической установки. Пространственные измерения характеристик частиц. Временные измерения. Измерение импульса. Идентификация частиц. Калориметрия. Многодетекторные системы.

20. **Статистические методы обработки данных в ядерной физике и технологиях и в физике высоких энергий.** Статистические методы анализа распределений вероятностей. Проверка статистических гипотез. Принцип максимального правдоподобия. Робастные методы. Прикладные программы в ядерной физике. Нейронные сети. Процесс обучения нейронных сетей. Архитектура сетей. Теория статистического обучения. Сверточные нейронные сети. Генетически алгоритмы. Применение и описание алгоритма. Вейвлет анализ. Основы вейвлет - анализа. Быстрое вейвлетное преобразование. Реконструкция событий в физике высоких энергий. Хранение данных. Технологии распределенных вычислений. Отбор событий. Классификация данных. Примеры анализа данных.

1-31 04 06 02 Физика ядерных реакторов и атомных энергетических установок (специальность: 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии)

1. **Методы регистрации ядерных излучений.** Ионизационный метод регистрации ядерных излучений. Ионизационные камеры. Пропорциональные счетчики. Счетчики Гейгера. Полупроводниковые детекторы. Фотографический метод. Трековый метод.

2. **Спектрометрия альфа-, бета-, гамма- излучений.** Особенности спектрометрии альфа-излучения. Альфа-спектрометры. Особенности спектрометрии бета-излучения. Бета-спектрометры. Особенности спектрометрии гамма-излучения. Гамма-спектрометры.

3. **Радиометрия ионизирующего излучения.** Абсолютные и относительные методы измерения радиоактивности. Особенности радиометрии альфа-, бета-, гамма-излучений.

4. **Кинематика и сечения ядерных реакций.** Законы сохранения в ядерных реакциях. Нерелятивистская кинематика ядерных реакций. Импульсные диаграммы. Микроскопическое сечение реакции. Парциальные сечения. Общие закономерности поведения сечений ядерных реакций в зависимости от энергии сталкивающихся нерелятивистских заряженных частиц. Основные закономерности зависимости микроскопических сечений взаимодействия нейтронов с ядрами в зависимости от кинетической энергии нейтронов.

5. **Механизмы ядерных реакций.** Реакции, идущие через составное ядро. Резонансные и нерезонансные реакции. Формула Брейта – Вигнера. Прямые ядерные реакции. Реакции множественного рождения частиц.

6. **Прохождение нейтронов через вещество.** Замедление и термализация нейтронов. Диффузия нейтронов. Поглощение нейтронов.

7. **Уравнение переноса нейтронов.** Нестационарное уравнение переноса нейтронов. Сопряженное уравнение переноса. Функция ценности нейтронов.

8. **Уравнения кинетики точечного реактора с учетом запаздывающих нейтронов.** Общее решение. Уравнение Нордхейма. Периоды реактора.

9. **Изменение нуклидного состава в процессе работы реактора.** Кинетика выгорания топлива и кинетика осколков деления в ядерных реакторах. Отравление реактора. Шлакование реактора.

10. **Динамика ядерных реакторов.** Модели, описывающие динамику ядерного реактора. Скачки реактивности. Ксеноновые колебания.

11. **Управление реактивностью ядерного реактора.** Запас реактивности и его составляющие. Методы компенсации реактивности. Теория поглощающего стержня. Интерференция поглощающих стержней. Измерение эффективности стержня. Компенсация реактивности системой борного регулирования.

12. **Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок.** Тепломассоперенос в ядерном реакторе с водой под давлением в аварийных режимах. Классификация аварий. Основные причины и последствия сокращения расхода теплоносителя.

13. **Ускорители заряженных частиц.** Принцип действия и назначение ускорителей заряженных частиц. Ускорители прямого действия. Установки физики высоких плотностей энергии. Линейные ускорители. Циклические ускорители. Накопители и метод встречных пучков.

14. **Стандартная модель в физике высоких энергий.** Основные положения стандартной модели и ее следствия. Поиск явлений, выходящих за рамки Стандартной модели.

15. **Вывод АЭС из эксплуатации** Концептуальные основы; демонтаж оборудования, дезактивация; особенности вывода из эксплуатации реакторных установок типа ВВЭР.

16. **Обращение с радиоактивными отходами (РАО).** Категоризация РАО; РАО АЭС. Особенности обращения с отдельными видами РАО.

17. **Моделирование процессов на АЭС.** Модели для расчета узлов АЭС при проектировании. Полномасштабные тренажеры. Аналитические тренажеры.

18. **Действие излучений на материалы реакторной техники.** Радиационные повреждения и их эволюция. Каскад смещения.

19. **Конструкционные материалы активной зоны.** Процессы радиационного набухания материалов ядерной техники. Блистеринг. Флекинг.

20. **Оценка безопасности АЭС.** Проектные аварии; постулированные исходные события: классификация и анализ. Запроектные аварии, тяжёлые аварии; РУЗА, РУТА. Программные средства, применяемые для детерминистического анализа безопасности: классификация, краткая характеристика (один-два примера).

**1-31 04 06 03 Радиационное материаловедение
(специальность: 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии)**

1. **Диаграммы состояния.** Равновесие фаз. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы эвтектического типа, перитектического типа, с образованием химических соединений.

2. **Электронные состояния в металлах.** Классическая электронная теория. Теорема Блоха. Скорость и квазиимпульс электрона в кристалле. Движение электрона и в кристалле под действием силы. Эффективная масса электрона. Поверхность постоянной энергии. Поверхность Ферми. Плотность электронных состояний.

3. **Описание процессов переноса в металлах.** Феноменологическое описание процессов переноса. Постулаты Онзагера. Электропроводность металлов. Температурная зависимость сопротивления металлов. Правило Маттиссена. Электросопротивление сплавов. Термоэлектрические явления. Эффект Холла. Магнетосопротивление.

4. **Теплопроводность твердых тел.** Фононная и теплопроводность. Теория Дебая и Пайерлса. Фонон-фононное рассеяние. Закон Видемана-Франца.

5. **Общая характеристика фазовых превращений в твердом состоянии.** Особенности фазовых превращений в металлах. Перераспределение компонентов и механизмы перестройки кристаллической решетки. Классификация фазовых превращений в твердом состоянии.

6. **Зарождение и рост новой фазы, механизмы распада пересыщенных твердых растворов.** Спинодальный распад. Механизм образования и роста зародышей. Гомогенное зарождение новой фазы. Механизмы роста новой фазы.

7. **Кинетика фазовых превращений.** Кинетические кривые и диаграммы изотермического превращения. Формальное описание кинетики фазовых превращений. Кинетика фазовых превращений в пересыщенных твердых растворах.

8. **Деформированное состояние металла.** Пластическая деформация металлов. Дислокационная и зеренная структура деформированных металлов. Запасенная энергия деформированного металла. Механизмы упрочнения металла. Отдых. Полигонизация. Рекристаллизация в металлах.

9. **Первичные процессы в твердых телах при радиационном воздействии.** Физические основы процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом. Характеристика степени радиационных повреждений. Образование дефектов и их скоплений при радиационном воздействии. Особенности каскада столкновений при облучении.

10. **Радиационно-индуцированные и радиационно-стимулированные процессы и явления в твердых телах.** Распухание и порообразование. Распухание в металлах и сплавах. Зависимость распухания от температуры облучения. Зависимость распухания от дозы. Зависимость распухания от скорости повреждения. Блистеринг и флекинг.

11. **Основные закономерности и механизмы радиационно-стимулированных процессов и явлений в материалах ядерно-энергетических установок.** Радиационно-стимулированная диффузия и перераспределение атомов. Сегрегация. Сегрегация в аустенитных и ферритных сталях. Радиационно-стимулированное образование выделений, метастабильных соединений, аморфных фаз.

12. **Цирконий и его сплавы.** Влияние легирования на механические свойства и жаропрочность. Влияние примесей и легирующих элементов на окисление. Влияние облучения на механические свойства и коррозионную стойкость.

13. **Сплавы на основе железа.** Физико-химические свойства железа. Система Fe-Fe₃C. Превращения в стали при охлаждении. Классификация и маркировка сталей. Примеси и легирующие элементы в стали. Сплавы системы Fe-Cr, Fe-Ni, Fe-Cr-Ni. Влияние легирования на коррозионную и жаростойкость.

14. **Жаропрочные и нержавеющие стали.** Структура и механические свойства, коррозионная стойкость, влияние облучения на механические свойства и коррозионную стойкость.

15. **Ядерное топливо и его совместимость с конструкционными материалами.** Структурно-фазовое состояние и физико-химические свойства, совместимость с конструкционными материалами, влияние облучения на структуру и свойства ТВЭЛов.

16. **Физические методы исследования материалов.** Физические и ядерно-физические методы исследования свойств материалов. Дифракционные методы исследования структуры материалов. Методы исследования механических свойств.

17. **Общие вопросы неразрушающего контроля и технической диагностики.** Классификация методов неразрушающего контроля. Дефекты изделий машиностроения. Чувствительность методов контроля. Общие сведения о разрушающих методах контроля изделий. Металлографические методы. Механические испытания.

18. **Методы неразрушающего контроля в атомной энергетике.** Использование методов неразрушающего контроля при строительстве и в процессе эксплуатации АЭС.

РАЗДЕЛ 2

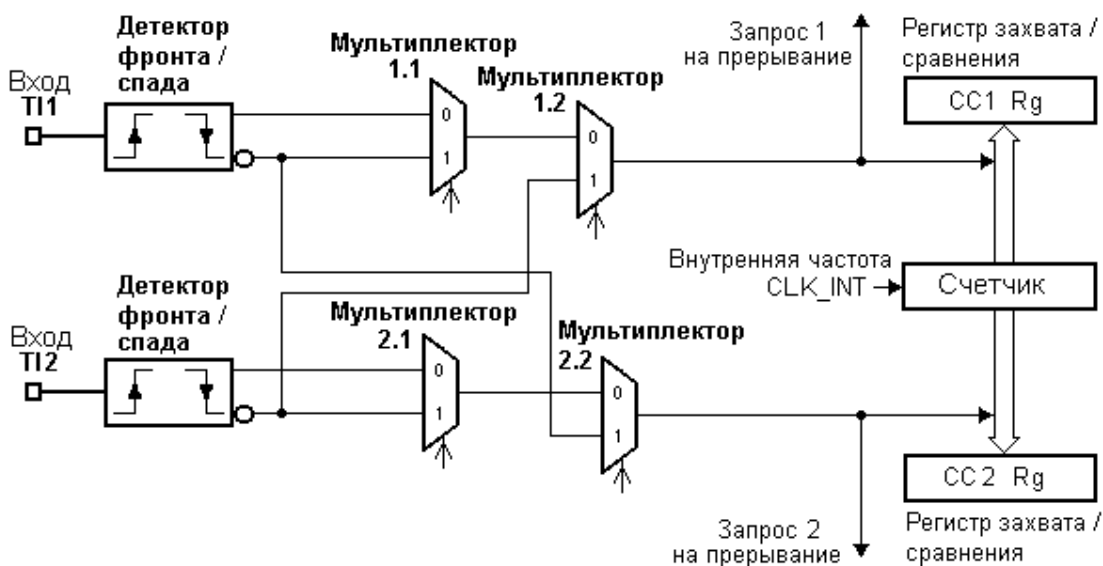
ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

1-31 04 06 01 Ядерная физика и электроника (специальность: 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии)

Задание 1. Современные микро-ЭВМ содержат таймеры с многоканальными блоками захвата-сравнения. Можно ли с помощью одного таймера измерить и период, и длительность импульсного сигнала?

Решение

В режиме «захвата по входу» регистры захвата/сравнения таймера используются для запоминания значения счетчика после приема сигнала от детектора фронта / спада, который подключен ко входу микро-ЭВМ. Упрощенная блок-схема таймера с двумя каналами захвата / сравнения показана на рисунке ниже.



Предположим, что измеряемый импульсный сигнал подается на вход **Т1 1** микро-ЭВМ. Тогда для решения задачи нужно выбрать канал 0 мультиплекторов 1.1 и 1.2 и канал 1 мультиплексора 2.2 (мультиплексор 2.1 не используется).

При этом по фронту входного сигнала значение счетчика заносится в регистр **CC1 Rg**, возникает прерывание и подпрограмма обработки прерывания считывает текущее значение **CC1 Rg**. Отсюда период сигнала равен:

$$(\text{Текущее значение CC1 Rg} - \text{Предыдущее значение CC1 Rg}) / \text{Fclk_int.}$$

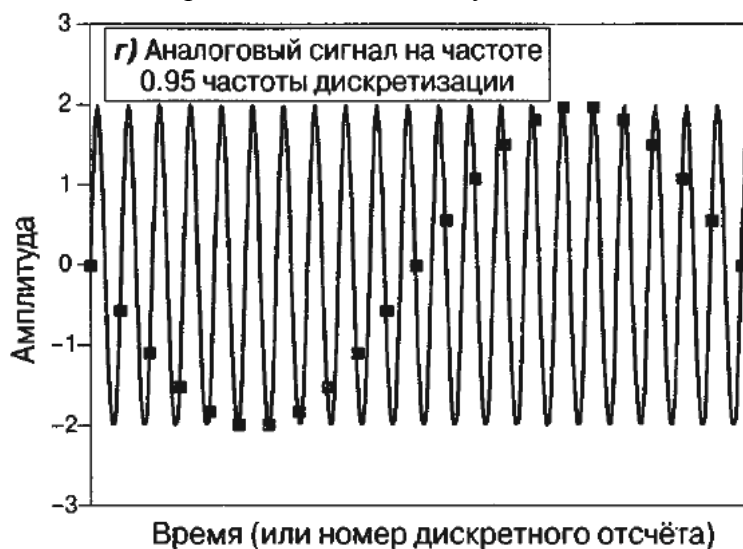
По спаду входного сигнала значение счетчика заносится в регистр **CC2 Rg**, возникает прерывание и подпрограмма обработки прерывания считывает текущее значение **CC2 Rg**. Отсюда длительность сигнала равна:

$$(\text{Текущее значение CC2 Rg} - \text{Текущее значение CC1 Rg}) / \text{Fclk_int.}$$

Задание 2. В соответствии с теоремой отсчетов Котельникова (или критерием Найквиста) частота дискретизации АЦП f_D должна быть не меньше удвоенной максимальной частоты $f_{\text{макс}}$ синусоидального сигнала на входе АЦП, т.е. $f_D = 2 f_{\text{макс}}$. Будет ли работать АЦП, если частота входного синусоидального сигнала будет выше $f_D / 2$ и что получится в результате аналого-цифрового преобразования?

Решение

В условиях данной задачи с помощью АЦП будет производиться один отсчет на один или несколько периодов входного синусоидального сигнала, как показано на рисунке ниже.



На выходе АЦП будет формироваться синусоидальный сигнал с псевдо частотой (alias frequency), т. е. с частотой, которая не соответствует частоте входного сигнала, а лежит в диапазоне от 0 до $f_D / 2$.

Чтобы не допустить появление псевдо частот, перед входом АЦП следует устанавливать анти-псевдочастотный фильтр (anti-aliasing filter), с граничной частотой $f_D / 2$.

Задание 3. В ядерных реакторах типа ВВЭР внутрикорпусное давление примерно в 160 раз превосходит давление за пределами реактора. Это может привести к выбросу какого-либо ОР СУЗ из активной зоны при разрыве чехла этого ОР СУЗ и, соответственно, к возникновению «нейтронной вспышки». Как записать уравнение баланса реактивности для моделирования поведения реактора при возникновении «нейтронной вспышки»? Как выглядят приближенные оценки для максимальной нейтронной мощности и установившейся после этого тепловой мощности?

Решение

Начальным состоянием реактора для рассмотрения последующего быстрого процесса изменения реактивности, как правило, аварийного, является стационарное состояние, когда реактивность, равна нулю, или подкритическое состояние. В этом случае выражение для баланса реактивности в отклонениях от начальных значений параметров в нулевой момент времени можно записать в виде:

$$\rho(t) = \rho(0) - \Delta\rho_{rod}(t) - \alpha_{N(0)}[N(t) - N(0)] - \alpha_{T(0)}[T(t) - T(0)], \quad (1)$$

где $N(t)$ – нейтронная мощность реактора;

$\rho(0)$ – запас реактивности в начальный момент времени;

$\Delta\rho_{rod}$ – изменение реактивности, вносимое поглощающими стержнями СУЗ (полная величина реактивности на МКУ $\approx 7,5-8,5\%$);

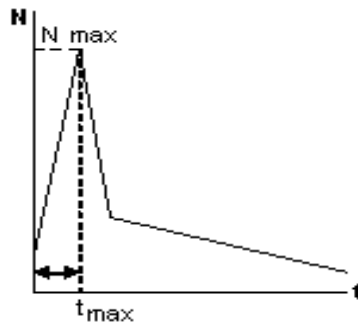
$T(t)$ – температура теплоносителя;

$\alpha_{N(0)}$ – мощностной коэффициент реактивности в начальный момент времени;

$\alpha_{T(0)}$ – температурный коэффициент реактивности в начальный момент времени.

Температурный коэффициент реактивности в основном выделен исключительно для изменений температуры на входе в активную зону. Изменение температуры теплоносителя в объеме активной зоны происходит примерно за то же время, что и температуры топлива и составляет часть мощностного коэффициента реактивности (время изменения температуры топлива равно 4-5 сек, а время изменения подогрева теплоносителя по высоте реактора составляет примерно порядка 1 сек).

Используя выражение (1), для пиковой мощности и времени её достижения, а также для стационарной мощности после вспышки можно получить следующие оценки:



$$N'_{\max} = \frac{N_{\max}}{N_0} \approx 1 + \frac{(\rho_{rod} - \beta)^2}{2 |\rho_N| \Lambda \lambda}, \quad (2)$$

$$N(\infty) \approx N_0 + \frac{\rho_{rod}}{|\alpha_N|}, \quad (3)$$

где α_N – коэффициент реактивности по мощности при начальной мощности; N_0 – начальная тепловая мощность; $N(\infty)$ – установившаяся тепловая мощность; N_{\max} – максимальная нейтронная мощность; $\rho_N = \alpha_{N(0)}N(0)$ – мощностной эффект реактивности; λ – эффективная постоянная распада источников запаздывающих нейтронов ($\approx 0,25 \text{ сек}^{-1}$); Λ – время жизни мгновенных нейтронов, сек; β – доля (в общем числе) запаздывающих нейтронов.

Масштаб нейтронной вспышки на мгновенных нейтронах увеличивается с возрастанием величины вводимой реактивности, с уменьшением доли запаздывающих нейтронов, времени жизни мгновенных нейтронов и уменьшением мощностного эффекта.

Само по себе существенное возрастание нейтронной мощности не является основным последствием нейтронной вспышки. Важны происходящие при этом изменения тепловой

мощности реактора и температуры топлива и оболочки топлива в самой горячей точке активной зоны.

Если параметры горячей точки зоны не превышают предельных значений, характеризующих целостность основных барьеров безопасности в реакторе, то последствия нейтронной вспышки на мгновенных нейтронах не страшны для реакторного оборудования. О целостности топлива и оболочки топлива можно судить по трем значениям:

- температуре топлива;
- температуре наружной поверхности оболочки топлива;
- среднем теплосодержании топлива, полученном за время нейтронной вспышки.

Температура топлива не должна превышать **температуру плавления** двуоксида урана 2800°C , **температура оболочки** не должна превышать температуру начала существенного окисления циркония и его разрушения 450°C . **Теплосодержание** не должно превышать значения 890 Дж/кг, которое характеризует предел термомеханической прочности при тепловых ударах.

Таким образом, внутренними параметрами безопасности и саморегулируемости реактора ВВЭР являются два последних слагаемых в формуле (1), а именно: мощностной коэффициент и температурный коэффициент реактивности, которые по модулю при возрастании мощности увеличиваются, оставаясь отрицательными.

1-31 04 06 02 Физика ядерных реакторов и атомных энергетических установок (специальность: 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии)

Задание 1. Реакция (α, p) на азоте ${}^4\text{He} + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{16}\text{O} + p$ была исторически первой наблюдавшейся ядерной реакцией (Резерфорд, 1919 год). Прибор, который использовался для изучения ядер отдачи, возникающих в результате бомбардировки исследуемого вещества α -частицами, представлял собой герметичную камеру с окошком, закрытым тонкой фольгой, за которой располагался сцинтиллирующий экран. Вспышки света, возникающие при попадании частицы на экран, регистрировались визуально с помощью микроскопа. На противоположном от окошка конце камеры помещали препарат RaC , испускающий α -частицы с энергией 7.7 МэВ. Энергию частиц, вызывающих сцинтилляции, находили по их пробегам в исследуемом газе (например, азоте) при данном давлении. Как вы думаете, можно ли в таком эксперименте выделить протоны ядерной реакции ${}^4\text{He} + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{16}\text{O} + p$ и протоны, возникающие в результате упругого рассеяния α -частиц на ядрах водорода, которые могут присутствовать в газе в качестве примеси? Если да, то каким образом? Энергия реакции $Q = -1.19$ МэВ.

Решение

1. Исследовать кинематические характеристики протонов отдачи упругого рассеяния α -частиц на водороде и протонов реакции ${}^4\text{He} + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{16}\text{O} + p$.
 - 1.1. С помощью импульсной диаграммы упругого рассеяния α -частиц на ядре водорода найти диапазон возможных значений кинетических энергий и углов вылета протонов отдачи;
 - 1.2. С помощью импульсной диаграммы реакции ${}^4\text{He} + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{16}\text{O} + p$ найти возможные значения кинетических энергий протонов и их углы вылета (известные значения кинетической энергии α -частицы и энергии реакции позволяют это сделать).
2. Сравнить полученные в предыдущих пунктах величины рассматриваемых процессов.
 - 2.1. Среди протонов, попавших в окошко, обязательно будут протоны, обладающие наибольшей энергией (почему?). Если максимально возможные значения

кинетических энергий протонов отдачи и реакции не равны, то регистрация протонов с наибольшими пробегами позволит точно идентифицировать природу их возникновения.

- 2.2. Ядра отдачи любого упругого рассеяния всегда вылетают в переднюю полусферу относительно направления падающих частиц. Если в п. 1.2 нашли, что углы вылета протонов ядерной реакции могут быть равны или превышать 90° , то регистрация протонов под этими углами возможна только как результат рассматриваемой реакции.
3. Сделать выводы. Если хотя бы один из вариантов, изложенных в п.2, выполняется, то на вопрос задачи можно дать утвердительный ответ.

Задание 2. Известно, что нахождение спектра нейтронов при их замедлении на ядрах с $A > 1$ в бесконечной, неразмножающей, гомогенной и непоглощающей среде, в которой равномерно распределен объемный источник моноэнергетических нейтронов известной мощности, значительно упрощается в так называемой асимптотической области энергий. Каким образом можно найти спектр замедляющихся нейтронов в среде с указанными характеристиками для первых 3 - 4-х ступенек замедления, учитывая, что плотность столкновений и ее производные не являются непрерывными на границах этих ступенек?

Решение

Уравнение замедления необходимо решать последовательно в пределах каждой ступеньки замедления.

1. Записать и решить балансное уравнение в пределах первой ступеньки замедления.
2. Записать уравнение замедления в пределах второй ступеньки замедления. Прибыль нейтронов за счет рассеяния в первой ступеньке замедления обусловлена плотностью столкновений, найденной в п.1. Решить полученное уравнение.
3. Записать и решить уравнение замедления в пределах третьей ступеньки замедления с учетом спектра нейтронов в первой и второй ступеньках.

Задание 3. О тепловыделяющей сборке известно следующее: конфигурация – гексагональная (шестигранная), количество стержней (несколько сотен), наружный диаметр стержней d , относительный шаг стержней x , длина сборки L , количество дистанционирующих решёток N (решётки установлены с равным шагом по длине сборки), коэффициент местного гидравлического сопротивления ζ_m , обусловленного одной решёткой (полагаем все решётки идентичными).

Вопрос. Допустимо ли при расчёте «местной» составляющей гидравлического сопротивления ΔP_m сборки использовать коэффициент ζ_m , или необходимо учитывать взаимное влияние решёток?

Решение

Известно, что минимальное расстояние между конструктивными элементами, обуславливающими соответствующие местные гидравлические сопротивления, при больших числах Рейнольдса (характерно для режимов течения в теплоносителя в ТВС), при котором можно не вводить поправок, учитывающих взаимное влияние этих элементов (в нашем случае – дистанционирующих решёток) составляет $30 \div 40$ гидравлических диаметров d_H .

Таким образом, для ответа на вопрос необходимо оценить гидравлический диаметр и сравнить с расстоянием между сборками.

Так как число стержней велико (по условию задачи – несколько сотен), то допустимо в нашем случае рассматривать стержневой пучок как «бесконечный», т.е. не интересоваться фактом наличия или отсутствия обечайки (чехла), и воспользоваться справедливым для гексагональных («треугольная» упаковка стержней) сборок соотношением:

$$d_H \approx d(1,103 \cdot x^2 - 1) \quad .$$

Расстояние между решётками l (по условию задачи они установлены с равным шагом по длине), очевидно, вычисляется как

$$l = \frac{L}{N - 1} \quad .$$

Осталось сравнить величины d_H и l : если выполняется условие

$$\frac{l}{d_H} \geq 30 \quad ,$$

можно использовать коэффициент местного гидравлического сопротивления ζ_M без каких-либо поправочных коэффициентов.

**1-31 04 06 03 Радиационное материаловедение
(специальность: 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии)**

Задание 1. Предложите и обоснуйте способ и методику определения упругих и прочностных характеристик гальванического покрытия Ni толщиной 20 мкм на стали.

Возможное решение

Наиболее распространенным методом механических испытаний, позволяющим определить упругие и прочностные характеристики материалов, является испытание на растяжение. Однако, в данном случае необходимо определить только характеристики материала покрытия, что затруднительно при данном виде испытаний, т.к. полученные характеристики будут преимущественно определяться влиянием стальной основы.

Можно оценить некоторые из характеристик покрытия методом кинетического индентирования и измерением микротвердости. В обоих методах необходимо выбирать нагрузку таким образом, чтобы глубина проникновения индентора не превышала 1/10 толщины покрытия, т.е. 2 мкм. В этом случае можно избежать влияния материала подложки на определяемые характеристики.

В методе кинетического индентирования по кривой нагрузка (F) - глубина проникновения индентора (h) определяется приведенный модуль упругости (E_r). Для пирамидальных отпечатков используется формула:

$$\frac{dF}{dh} = 2 E_r \sqrt{\frac{A_p}{\pi}} \quad ,$$

где A_p - площадь проекции отпечатка, зависящая от вида индентора.

Приведенный модуль упругости является функцией модуля Юнга (E) и модуля Пуассона (ν), определяемых при кинетическом индентировании:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu^2}{E} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}$$

где E_i и ν_i - модуль Юнга и модуль Пуассона для алмазного индентора (известные величины).

Таким образом, получив кривые $F-h$ для двух различных нагрузок и используя данные формулы можно определить два модуля упругости, т.е. упругие характеристики.

При определении микротвердости по Виккерсу H_V (Па) используется следующая формула:

$$H = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

где P – нагрузка (Н), d – диагональ отпечатка (м).

Для металлов можно сделать оценку предела текучести (σ_T) как:

$$\sigma_T \approx 0.3H_V$$

Перед измерением может быть сделана предварительная оценка максимальной используемой нагрузки для определения микротвердости (чтобы глубина проникновения индентора не превышала 2 мкм) исходя из табличных данных о твердости никеля и учитывая, что глубина проникновения индентора $h=d/7$.

Задание 2. Предложите методику обнаружения трещин с шириной раскрытия порядка 1.5-2 мкм на поверхности трубопровода из нержавеющей, немагнитной стали.

Возможное решение

Для контроля поверхностных дефектов применяются методы: визуально-измерительный, магнитопорошковый, вихретоковый и капиллярный. Использование капиллярного и визуально-измерительного контроля в предлагаемом случае невозможно, т.к. по условиям поверхность изделия защищена покрытием. Использование магнитопорошкового контроля также невозможно, т.к. объект контроля немагнитный. Единственным методом обнаружения трещин в данном случае является вихретоковый контроль. Данный метод позволяет обнаруживать трещины на контролируемом изделии в бесконтактном варианте и при наличии защитного покрытия. Для "качественного" контроля используются стандартные накладные преобразователи. Для "количественного" контроля (определения ширины и глубины трещины) необходимо предварительно провести калибровку прибора на специально подготовленных калибровочных образцах с аналогичным покрытием и известными размерами дефектов.

Задание 3. Для выполнения НИР требуется изготовить пироэлектрический приемник, состоящий из турмалиновой пластинки (класс симметрии 3m) толщиной 1 мм и милливольтметра чувствительностью 10^{-3} В/деление. Какую ориентацию по отношению к полярной оси должна иметь пластинка для того, чтобы пироэлектрический приемник имел максимальную чувствительность $(\frac{\Delta V}{\Delta T})$? Определите какое изменение температуры можно измерить с помощью такого приемника. Плотность связанных зарядов на противоположных сторонах пластинки, вырезанной из пироэлектрического кристалла задается следующей формулой:

$$\sigma = \mathbf{P}_s \cdot \mathbf{n} = P_s n_i = |\mathbf{P}_s| \cos \alpha \quad (1)$$

где \mathbf{n} – единичный вектор нормали к грани пластинки, α – угол между векторами \mathbf{P}_s и \mathbf{n} . Пироэлектрический коэффициент турмалина $\gamma_3 = 1,3 \cdot 10^{-5}$ (вдоль полярной оси), диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{33} = 7,5$.

Возможное решение

Вследствие симметрии пироэлектрический коэффициент турмалина γ_3 связан с полярным направлением кристалла, направленным вдоль оси симметрии 3-го порядка. Очевидно, плотность заряда на гранях будет максимальной, если вырезать ее перпендикулярно оси симметрии 3-го порядка (Z-срез). Изменение температуры определим из уравнения пироэлектрического эффекта:

$$\Delta P_s = \gamma_3 \Delta T.$$

Из (1) следует, что $|\Delta P_s| = |\Delta \sigma|$. При изменении температуры на ΔT заряд на гранях кристалла изменится на $\Delta Q = \Delta \sigma S$, где S – площадь пластины, емкость конденсатора (кристаллической пластинки) $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$, где d – толщина пластинки. Поскольку чувствительность милливольтметра, изменение заряда и емкость связаны соотношением $\Delta V = \Delta Q / C \approx 10^{-3}$ В/деление, то изменение температуры, которое может измерить пирозлектрический приемник, определится из соотношения

$$\Delta T = \frac{\epsilon_{33} \epsilon_0 \Delta V}{\gamma_3 d} = \frac{7,5 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-3}} \approx 5 \cdot 10^{-6} \text{ К.}$$

Максимальная чувствительность $\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{10^{-3}}{5 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^2$, В/деление/К

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

Общая физика

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т. 1. Механика. / Сивухин Д.В.— М.: Физматлит; Изд-во МФТИ. 2005.— 560 с.
2. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. / Матвеев А.Н. —СПб.: Лань. 2009.— 366 с.
3. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. / Матвеев А.Н.— СПб.: Лань. 2010.— 368 с.
4. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. / Матвеев А.Н.— СПб.: Лань. 2010.— 464 с.
5. Ландсберг Г.С. Оптика. / Ландсберг Г.С.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.— 848 с.
6. Калашников С.Г. Электричество. / Калашников С.Г.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.— 624 с.,
7. Бутиков Е.И. Оптика : учебное пособие для вузов / Бутиков Е.И.— СПб.: Лань. 2012.— 608 с
8. Шпольский А.В. Атомная физика Том 1 и 2. / Шпольский А.В.— М.: Наука, 1974.— 581 с.
9. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. / Мухин К.Н.— СПб.: Лань. 2016.— 383 с.
10. Широков Ю.М. Юдин Н.П. Ядерная физика . / Широков Ю.М. Юдин Н.П.— М.: Наука, 1980.— 728 с.
11. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. / Окунь Л.Б. .— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.— 272 с.
12. Вихман Э. Квантовая физика. / Вихман Э. .— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.,1986.— 392 с.
13. Саржевский А.М. Оптика / Саржевский А.М.— М.: УРСС, 2018.— 608 с.

Теоретическая механика

1. Ландау, Л.Д. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 7-е, 2015.— 224 с.
2. Ольховский, И.И. Курс теоретической механики для физиков / И.И. Ольховский.— СПб.: Лань, изд. 4-е, 2009.
3. Ландау, Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2015.— 728 с.

Электродинамика

1. Ландау, Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 9-е, 2016.— 508 с
2. Ландау, Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 4-е, 2016.— 656 с.
3. Тамм, И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм.— М.: Физматлит, изд. 11-е, 2003.— 616 с.
4. Джексон Дж. Классическая электродинамика / Дж. Джексон.— М.: Мир, 1965.— 703 с.

Квантовая механика

1. Давыдов, А.С. Квантовая механика / А.С. Давыдов.— СПб.: БХВ-Петербург, изд. 3-е, 2011.— 704 с.
2. Ландау, Л.Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2016.— 800 с
3. Мессиа, А. Квантовая механика. В 2 т. / А. Мессиа.— М.: Наука, 1978.

Термодинамика и статистическая физика

1. Базаров, И.П. Термодинамика / И.П. Базаров.— СПб.: Лань, изд. 5-е, 2010.— 384 с.
2. Ландау, Л.Д. Статистическая физика. Ч.1 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2013.— 616 с
3. Леонтович, М.А. Введение в термодинамику / М.А. Леонтович.— СПб.: Лань, изд. 2-е, 2008.— 432 с.

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ:

1-31 04 06 ЯДЕРНЫЕ ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Физическое материаловедение

1. Чупрунов, Е.В. Основы кристаллографии /Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фаддеев. – М.: Физматлит, 2006. – 500 с.
2. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. Учебн. Для вузов/ Б.Н.Арзамасов, В.И.Макарова, Г.Г.Мухин и др. – М. Изд.во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2008. 648 с.
3. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов./ Г.П.Фетисов, М.Г.Карпман, В.М.Матюнин и др. М. Высш.шк. 2001. 640 с.
4. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии./ А.И.Гусев. М. Физматлит. 2005. 301 с.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом

1. Батурицкий М.А., Дубовская И.Я. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. Учебное пособие. Минск, РИВШ. 2010.
2. Н.Г. Гусев. и др. Защита от ионизирующих излучений, т. 1. Физические основы защиты от ионизирующих излучений» .: Энергоатомиздат, 1989.

Физика ядерных реакторов

1. Глесстон С., Эдлунд М. Основы теории ядерных реакторов. ИЛ, Москва, 1954 , 458 с.
2. Бартоломей Г.Г., Бать Г.А. и др. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. М., Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.
3. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С.А.Андрушечко, А.М.Афров, Б.Ю.Васильев, В.Н.Генералов, К.Б.Косоуров, Ю.М. Семченков, В.Ф.Украинцев. – М.: Логос, 2010. – 604 с.

Тепло-массоперенос в ядерно-энергетических установках

1. Слеттери, Дж. С. Теория переноса импульса, энергии и массы в сплошных средах / Дж. С. Слеттери. – М.: Энергия, 1978. – 448 с.
2. Семенович, О.В. Введение в теплофизику ядерных энергетических установок: пособие. В 2 ч. Ч.1. Основы теории теплопереноса / О.В. Семенович. – Минск: БГУ, 2016. – 135 с.
3. Семенович, О.В. Введение в теплофизику ядерных энергетических установок: пособие. В 2 ч. Ч.2. Теплоперенос в оборудовании реакторных установок / О.В. Семенович. – Минск: БГУ, 2017. – 191 с.
4. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Теплообмен: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 2005. – 550 с.

Системы управления и защиты ЯЭУ

1. Слекеничс Я.В. Системы контроля, управления и защиты АЭС, Учеб. пособие / Я.В.Слекеничс. – Обнинск: ИАТЭ, 2010. – 124 с.
2. Рисованый В.Д. Органы регулирования ядерных реакторов. Учеб. пособие / В.Д.Рисованый, А.В.Захаров, Е.П.Клочков. – Ульяновск: Изд-во УлГУ, 2005. – 124 с.
3. Королев В.В. Новые методы безопасного управления реакторами АЭС. Учеб. пособие / В.В.Королев. –Обнинск: ИАТЭ, 2008. – 168 с.

4. Ястребенецкий М.А. Безопасность атомных станций. Системы управления и защиты ядерных реакторов / М.А.Ястребенецкий, Ю.В.Розен, С.В.Виноградская, Г.Джонсон, В.В.Елисеев, А.А.Сикора, В.В.Скляр, Л.И.Спектор, В.С.Харченко – под ред. М.А.Ястребенецкого. – Киев: «Основа – принт», 2011. – 767 с.

Ядерные технологии

1. Ядерные технологии : учебное пособие для вузов / О. Л. Ташлыков ; под науч. ред. С. Е. Щеклеина. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 198 с.

2. Бекман И.Н. Ядерные технологии. Учебник для бакалавриата и магистратуры / И.Н.Бекман. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2016. – 404 с.

3. Бойко В.И. Ядерные технологии в различных сферах человеческой деятельности. Учебное пособие / В.И.Бойко, Ф.П.Кошелев – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – 342 с.

4. Лебедев В.М.. Ядерный топливный цикл: Технологии, безопасность, экономика. М.: Энергоатомиздат, 2005.

Ядерная безопасность

1. Асмолов, В.Г. Основы обеспечения безопасности АЭС: учеб. пособие / В.Г. Асмолов, В.Н. Блинов, О.М. Ковалевич. – М.: Изд. дом МЭИ, 2010. – 93 с.

2. Солонин, В.И. Безопасность и надежность реакторных установок / В.И. Солонин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. – 80 с.

3. Скачек, М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: Учебное пособие для вузов / М.А. Скачек. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 648 с.

4. А.Е.Пряхин, Б.А.Яценко. Основы физической защиты ядерных материалов и установок. Учебное пособие. Мн.: Высшая школа., 1990.

Режимы работы и эксплуатации АЭС

1. Острейковский В.А. Эксплуатация атомных станций: Учебник для вузов / В.А.Острейковский. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 928 с.

2. Баклушин Р.П. Эксплуатация АЭС. Часть I. Работа АЭС в энергосистемах. Часть II. Обращение с радиоактивными отходами. Учебное пособие / Р.П.Баклушин. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 304 с.

3. Маргулова Т.С. Атомные электрические станции: Учебник для вузов / Т.С.Маргулова. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1994. – 360 с.

Специализация 1-31 04 06 01 Ядерная физика и электроника (специальность: 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии)

1. Ястребенецкий М.А. Безопасность атомных станций. Системы управления и защиты ядерных реакторов / М.А.Ястребенецкий, Ю.В.Розен, С.В.Виноградская, Г.Джонсон, В.В.Елисеев, А.А.Сикора, В.В.Скляр, Л.И.Спектор, В.С.Харченко – под ред. М.А.Ястребенецкого. – Киев: «Основа – принт», 2011. – 767 с.

2. Фишер-КриппсА. С. Интерфейсы измерительных систем. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2006. - 336 с.

3. Андреев Д.В. Программирование микроконтроллеров MCS-51. – Ульяновск, 2000. – 215 с.

4. Основы аналого-цифровой техники: Курс лекций/ В.Е. Ямный. – Мн.: БГУ, 2008. – 267 с

5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. 7-е изд. М.: Мир, БИНОМ, 2009. 595 с.

6. α -, β -, γ -спектроскопия. 1-4 тома., под ред К.Зигбан. М.: Атомиздат, 1969.

7. Лебедев А.Н., Шальнов А.В. Основы физики и техники ускорителей: в 3-х т. Т. 1. Ускорители заряженных частиц.— М.: Энергоатомиздат, 1981.— 192 с.
8. А.И.Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С.Матусевич. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Атомиздат, 1985.
9. Н.Г.Волков, В.А.Христофоров, Н.П.Ушакова. Методы ядерной спектрометрии. М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Рубчя В.А. Нейтронная физика и ядерная энергетика. СПб: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2013.
11. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы, Высшая школа, 1988, 423 с.
12. Маршалл Т. Лазеры на свободных электронах. 1987, Москва, Мир, 238 с.
13. Вашман А.А, Пронин И.С. Ядерная магнитная релаксационная спектроскопия / А.А.Вашман, И.С.Пронин. – М.: Энергоатомиздат, 1986.- 232 с.
14. Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий, М. Энергоатомиздат, 1991, 429 стр.
15. Битюков С.И., Красников Н.В. Применение статистических методов для поиска «новой физики» на Большом адронном коллайдере, URSS, 2014, 272 стр.
16. Методы обработки статистической информации в задачах контроля ядерных энергетических установок: Учебное пособие / А.М. Загребаев, Н.А. Крицына, Ю.П. Кулябичев, В.А. Насонова, Н.В. Овсянникова. – М.: МИФИ, 2008. – 388 с.

**Специализация 1-31 04 06 02 Физика ядерных реакторов и
атомных энергетических установок**

(специальность: 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии)

1. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С.. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Атомиздат, 1985.
2. Волков Н.Г., Христофоров В.А., Ушакова Н.П. Методы ядерной спектрометрии. М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Санкт-Петербург- Москва- Краснодар: Лань, 2009. Тт. 1–3.
4. Окунев В.С. Основы прикладной ядерной физики и введение в физику ядерных реакторов. М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.
5. Кипин Дж. Физические основы кинетики ядерных реакторов: Пер. с англ. - М.: Атомиздат, 1965.
6. Белл Д., Глестон С. Теория ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1974.
7. Бояркин О.М., Введение в физику элементарных частиц, М.: УРСС, 2006, 264 с.
8. Емельянов В.М. Стандартная модель и ее расширения, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007, 584 с.
9. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. - М.: Издательство МЭИ. 2007. 467 с.
10. Зорин В.М. Исследование и математическое моделирование АЭС на основе системного подхода. Учебное издание. – М.: Издательство МЭИ. 2002. – 87 с.
11. Маргулова, Т.Х. Атомные электрические станции: Учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1996, 304 с.
12. Стерман, Л.С. Тепловые и атомные электрические станции. 4-е изд., перераб. и доп. / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. М.: Изд. дом МЭИ, 2008, 464 с.
13. Углов В.В. Радиационные эффекты в твердых телах / В.В. Углов. – Минск: БГУ, 2011, 207 с.
14. Физическое материаловедение: учебник для вузов./Под общей ред. Б.А. Калина. Том 4. Физические основы прочности. Радиационная физика твердого тела. Компьютерное моделирование/ Е.Г. Григорьев, Ю.А. Перлович, Г.И. Соловьев, А.Л. Удовский, В.Л. Якушин. – М.: МИФИ, 2008, 696 с.

15. Делайе, Дж. Теплообмен и гидродинамика двухфазных потоков в атомной и тепловой энергетике / Дж. Делайе, М. Гио, М. Ритмюллер. – М.: Энергоатомиздат, 1984, 424 с.
16. Практические основы разработки и обоснования технических характеристик и безопасности эксплуатации реакторных установок типа ВВЭР. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2015. – 480 с.: 115 илл

**Специализация 1-31 04 06 03 Радиационное материаловедение
(специальность: 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии)**

1. Е.М.Соколовская, Л.С. Гузей. Металлохимия. М.:Изд-во МГУ. 1986. 264 с.
2. В.Г. Шепелевич. Структурно-фазовые превращения в металлах. Минск: БГУ, 2007. – 167 с.
3. В.М. Анищик, В.В. Понарядов, В.В.Углов. Дифракционный анализ. учебн. пособие. Минск: Вышэйшая школа. 2011.-215 с.
4. Физическое материаловедение./Под общ. ред. Б.А.Калина. Учебник для вузов. Том 6. Ч.2.-М.:МИФИ, 2008.
5. Топливо и материалы ядерной техники. Уч. пособие. Л.А.Беляев, А.В.Воробьев, П.М. Гаврилов, Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин. Томск: Изд-во ТПУ. 2010.
6. Конструкционные материалы ядерных реакторов. В 2-х ч. Ч.II. Структура, свойства, назначение. Учебное пособие для вузов. Под ред. М.Н.Бескоровайного. М.: Атомиздат. 1977. -256 с.
7. А.И.Малахов, А.П.Жуков. Основы металловедения и теория коррозии. М.: Высшая школа. 1978. - 192 с.
8. Горбачев В.В., Спицына Л.Г. Физика полупроводников и металлов. – М.: Металлургия, 1982. – 336 с.
9. В.В.Углов, Н.Н. Черенда, В.М. Анищик. Методы анализа элементного состава поверхностных слоев: пособие для студентов. – Минск: БГУ, 2007.-167 с.
10. В.В.Углов. Радиационные эффекты в твердых телах. Пособие для студентов.– Минск: БГУ, 2011.-207 с.
11. В.Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Москва: Техносфера, 2004.-144 с.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
КОМПЛЕКСНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
