

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
1	3	108	0	64	0		44	0	3
Итого	3	108	0	64	0	0	44	0	

АННОТАЦИЯ

Курс является дополнением к основному курсу - экспериментальные методы ядерной физики, позволяет получить знания в области физики тяжелых ионов, синтеза новых элементов, современных методах исследований ядерных реакций, в том числе, приводящих к образованию ядерной материи в экзотических состояниях.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины студентами старших курсов ядерно-физических специализаций является получение представления об одном из современных направлений ядерной физики – физики тяжелых ионов, синтеза новых элементов, современных методах исследований ядерных реакций, в том числе, приводящих к образованию ядерной материи в экзотических состояниях.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Логически и содержательно – методически дисциплина является частью специализации, являющейся неотъемлемой частью знаний физика – экспериментатора в области экспериментальной ядерной физики и физики частиц.

Для освоения данной дисциплины необходимо предшествующее освоение курсов общей, ядерной и теоретической физики.

В настоящее время, наряду с базовой подготовкой студентов по данному направлению в сфере компетенций физика – экспериментатора, большое значение имеет умение самостоятельно планировать и выполнять весь комплекс научно-исследовательских работ с учетом современных требований и на современном уровне. Для этого магистр - экспериментатор должен обладать разносторонними навыками и широким кругозором, уметь ориентироваться в системе поддержки НИР, уметь видеть задачу в комплексе для того, чтобы при необходимости обеспечить инновационный переход от НИР к ОКР и внедрению результатов НИР в сферу хозяйственного оборота. Таким образом, настоящий курс является весьма важной частью подготовки физика-экспериментатора.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1] – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий	3-УК-1 [1] – Знать: методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации У-УК-1 [1] – Уметь: применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации

	В-УК-1 [1] – Владеть: методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий
--	---

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно- исследовательский			
1 Разработка методов регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; создание теоретических моделей состояния вещества, взаимодействия лазерного и ионизирующего излучения с веществом; создание математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах, ускорителях, коллайдерах, масс-спектрометрах; создание методов расчета разделения изотопных и молекулярных смесей; создание современных электронных устройств сбора и обработки информации, учета воздействия на эти устройства ионизирующего и электромагнитного излучений; разработка методов повышения безопасности ядерных и лазерных установок, материалов и технологий; разработка	1 Современный ядерно-физический эксперимент, современные электронные системы сбора и обработки данных для ядерных и физических установок математические модели для теоретического и экспериментального исследований фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и атомных ядер и их излучений	ПК-3 [1] - Способен оценивать перспективы развития атомной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательской деятельности <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-3[1] - Знать достижения научно-технического прогресса ; У-ПК-3[1] - Уметь применять полученные знания к решению практических задач.; В-ПК-3[1] - владеть методами моделирования физических процессов.

<p>теоретических моделей прохождения излучения через вещество, воздействия ионизирующего, лазерного и электромагнитного излучений на человека и объекты окружающей среды</p>			
<p>1 Разработка методов регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; создание теоретических моделей состояния вещества, взаимодействия лазерного и ионизирующего излучения с веществом; создание математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах, ускорителях, коллайдерах, масс-спектрометрах; создание методов расчета разделения изотопных и молекулярных смесей; создание современных электронных устройств сбора и обработки информации, учета воздействия на эти устройства ионизирующего и электромагнитного излучений; разработка методов повышения безопасности ядерных и лазерных установок, материалов и технологий; разработка теоретических моделей прохождения излучения через вещество, воздействия ионизирующего, лазерного и</p>	<p>1 Современный ядерно-физический эксперимент, современные электронные системы сбора и обработки данных для ядерных и физических установок математические модели для теоретического и экспериментального исследований фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и атомных ядер и их излучений</p>	<p>ПК-3.1 [1] - Способен работать с детекторами и физическими установками в области физики ядра и элементарных частиц, над их разработкой и оптимизацией, в том числе – к работе над их модернизацией</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-3.1[1] - Знать методы регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений и методы измерения количественных характеристик ядерных материалов; методы расчета современных электронных устройств, учета воздействия на эти устройства ионизирующего и электромагнитного излучения;; У-ПК-3.1[1] - Уметь планировать и организовывать современный физический эксперимент, проводить проектирование и оптимизацию детекторов и установок в области физики ядра, физики элементарных частиц и астрофизики; В-ПК-3.1[1] - Владеть методами разработки новых и модернизации существующих детекторов и установок для научно-инновационных</p>

электромагнитного излучений на человека и объекты окружающей среды			исследований в области физики ядра, физики элементарных частиц и астрофизики.
проектный			
4 Формирование целей проекта (программы) решения задач, критериев и показателей достижения целей, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учетом всех аспектов деятельности; разработка обобщенных вариантов решения проблемы, анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности, неопределенности, планирование реализации проекта; использование информационных технологий при разработке новых установок, материалов и изделий; разработка проектов технических условий, стандартов и технических описаний новых установок, материалов и изделий	4 Математические модели для теоретических, экспериментальных и прикладных проектов по исследованию явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, включая экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности гражданских объектов	ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок ; У-ПК-5[1] - Уметь применять стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок; В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок
производственно-технологический			
5 Разработка способов проведения ядерно-физических экспериментов и экспериментов в смежных областях науки и техники, способов применения ядерно-физических	5 Современный ядерно-физический эксперимент, современные детекторные системы и электронные системы сбора и обработки данных для ядерно-	ПК-10 [1] - Способен решать инженерно-физические и экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ <i>Основание:</i> Профессиональный	З-ПК-10[1] - Знать основные пакеты прикладных программ для решения инженерно-физических и экономических задач ; У-ПК-10[1] - Уметь

методик в решении технологических проблем; использование результатов проводимых исследований и разработок в технологических и производственных целях; реализация цепочки: исследование, развитие, технология, производство	физических установок, математические модели для теоретического и экспериментального исследований фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и атомных ядер	стандарт: 40.011	осуществлять подбор прикладных программ для решения конкретных инженерно-физических и экономических задач; В-ПК-10[1] - Владеть навыками работы с прикладными программами для решения инженерно-физических и экономических задач
--	--	------------------	---

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	0/32/0		25	КИ-8	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
2	Часть 2	9-16	0/32/0		25	КИ-16	З-ПК-5,

							У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		0/64/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	30	3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
ЗО	Зачет с оценкой
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Неделя	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	0	64	0
1-8	Часть 1	0	32	0
1	Тема1 Взаимодействие сложных ядер. Особенности реакций с тяжелыми ионами. Классификация реакций с тяжелыми ионами (ТИ). Модели взаимодействия иона с ядром.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Тема2 Экспериментальные методы исследования реакций с тяжелыми ионами. Особенности регистрации ионов ионизационными детекторами. Трековые детекторы в заделах поиска редких событий.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Тема3 Современные ускорители ТИ, ускорение радиоактивных ядер. Многодетекторные спектрометры для исследования ядерных реакций.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Тема4 Кулоновское возбуждение ядерных уровней т.и. Классическое рассмотрение. Каскадное кулоновское возбуждение.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Тема5 Эффект реориентации. Упругое рассеяние ТИ на ядрах. Радужное рассеяние, $g_{\text{log}i}$ – рассеяние.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Тема6 Спиральное рассеяние. Дифракция Френеля и Фраунгофера.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Тема7 Реакции прямого взаимодействия, передача малого числа нуклонов.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Тема8 Ядерные реакции глубоконеупругих передач.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Часть 2	0	32	0
9	Тема9 Реакции слияния ядер. Общая характеристика. Методы определения поперечного сечения слияния.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		

		0	0	0
10	Тема10 Закономерности поперечного сечения слияния ядер.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Тема11 Феноменологическое описание слияния ядер.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Тема12 Расчеты траекторий слияния. Распад составного ядра.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Тема13 Деление ядер ТИ, основные представления.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	Тема14 Свойства осколков деления. Особенности деления ядер ТИ. Спонтанное деление трансурановых элементов.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Тема15 Деление высоковозбужденных ядер и ядер с большим угловым моментом.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
16	Тема16 Итоговое занятие. Подготовка к аттестации	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения курса на семинарах используются:

- освоение современных достижений в области физики тяжелых ионов (презентации от лектора);

- освоение методических решений по проектированию ядерно-физических установок;
- освоение прикладных программ для обработки данных с детекторов тяжелых ионов;
- оперативное решение студентами научных задач по ходу занятия с последующим обсуждением (дискуссией);

Дополнительно используется самостоятельная внеаудиторная работа – подготовка по отдельным разделам курса на базе оригинальных статей.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-10	З-ПК-10	ЗО, КИ-16
	У-ПК-10	ЗО, КИ-16
	В-ПК-10	ЗО, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	ЗО, КИ-8
	У-ПК-3	ЗО, КИ-8
	В-ПК-3	ЗО, КИ-8
ПК-3.1	З-ПК-3.1	ЗО, КИ-8
	У-ПК-3.1	ЗО, КИ-8
	В-ПК-3.1	ЗО, КИ-8
ПК-5	З-ПК-5	ЗО, КИ-16
	У-ПК-5	ЗО, КИ-16
	В-ПК-5	ЗО, КИ-16
УК-1	З-УК-1	ЗО, КИ-8
	У-УК-1	ЗО, КИ-8
	В-УК-1	ЗО, КИ-8

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его

			излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	В	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К96 Методы регистрации излучений (итоговое занятие) : лабораторный практикум, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
2. 539.1 К96 Методы регистрации излучений (итоговое занятие) : лабораторный практикум, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
3. 539.1 В24 Введение в физику тяжелых ионов : учебное пособие для вузов, ред. : Ю. Ц. Оганесян, Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. И Е97 Exciting Interdisciplinary Physics : quarks and Gluons Atomic Nuclei Relativity and Cosmology Biological Systems, New York: Springer Cham Heidelberg, 2013
2. И L75 Understanding the universe from Quarks to the Cosmos : , New Jersey [and oth]: World scientific, 2012

3. 621.38 И88 Введение в физику ускорителей заряженных частиц : курс лекций, Дубна: ОИЯИ, 2012
4. 621.38 П27 Перспективные ускоряющие структуры с прецизионными параметрами : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
5. 539.1 X17 Радиоактивность, ионизирующее излучение и ядерная энергетика : , Москва: URSS, 2013
6. 539.1 Н63 Твердотельные трековые детекторы в радиационных исследованиях : , Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2012
7. 001 М82 Научная сессия МИФИ-2001 : Сборник научных трудов, Московский государственный инженерно-физический институт. Научная сессия МИФИ-2001. Всероссийская конференция, 2-я. Университеты России - фундаментальные исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра, М.: , 2001
8. 621.38 К78 Новая физика на большом адронном коллайдере : , Н. В. Красников, В. А. Матвеев, Москва: КРАСАНД, 2011
9. 539.1 Б26 Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии : , О. А. Барсуков, Москва: Физматлит, 2011

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса следует прежде всего понять, что в отличие от взаимодействия однозарядных частиц с ядрами, при взаимодействии тяжелых ионов с ядрами большой электрический заряд тяжелого иона приводит к значительной энергии расталкивания ионов с ядром. Поэтому электромагнитные силы оказывают существенное влияние на вероятные пути их взаимодействия – слияние, обмен нуклонами, рассеяние.

Особенностью реакций с тяжелыми ионами является также очень высокая энергия возбуждения составного ядра, которую трудно получить в реакциях с легкими частицами. Реакции с тяжелыми ионами являются наиболее эффективным способом получения ядер, удаленных от линии стабильности, а также ядер с большими угловыми моментами.

При изучении курса следует обратить особое внимание на описание процесс взаимодействия иона с ядром.

Далее следует изучить реакции кулоновского возбуждения ядерных уровней тяжелыми ионами и возникающие при этом эффекты, упругое рассеяние тяжелых ионов на ядрах и возникающие в этом случае эффекты радужного рассеяния и дифракционные процессы.

При изучении раздела «Реакции прямого взаимодействия» следует рассмотреть реакции передач милого числа нуклонов и реакции глубоконеупругих передач.

При изучении раздела «Реакции слияния ядер» следует изучить общие характеристики, закономерности сечения слияния и процессы распада составного ядра.

При изучении раздела «Деление ядер тяжелыми ионами» следует получить основные представления о процессе деления. Изучить свойства осколков деления. Особо следует остановиться на спонтанном делении трансурановых элементов.

Заключительной частью программы, на которой следует при изучении материала подробно остановиться, является синтез новых элементов в реакциях с тяжелыми ионами, обратить особое внимание на синтез элементов долгоживущих сверхтяжелых ядер.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При рассмотрении темы «Физика тяжелых ядер» следует выделить следующие аспекты курса:

- на большой кулоновский заряд ионов и, соответственно, на существенное влияние электромагнитных сил на вероятные пути их взаимодействия – слияние, обмен нуклонами, рассеяние.

- на большой угловой момент ядра при краевых столкновениях ядро-ион;

- на классификацию реакций тяжелых ионов с ядром в зависимости от параметра соударения;

- особое внимание следует обратить на реакцию слияния ядер,

- на закономерности сечения слияния, расчеты траектории слияния;

- следует подробно остановиться на основных представлениях о процессе деления, на свойствах осколков деления, на особенностях деления ядер тяжелыми ионами, на делении высоковозбужденных ядер, деление ядер с большим угловым моментом;

- особое внимание следует уделить реакциям неполного слияния, реакциях с вылетом нуклонов и кластеров.

Важной проблемой является синтез и свойства сверхтяжелых элементов. Следует подробно остановиться на реакциях синтеза, на перспективах исследований в этом направлении. Следует подробно рассмотреть эффекты ядерных оболочек в делении возбужденных ядер.

При рассмотрении темы «Экспериментальные методы физики тяжелых ионов» следует подробно остановиться на методах измерения в полном телесном угле, на корреляционных измерениях.

Следует рассмотреть различные варианты спектрометров на основе различных детекторах – X-лучей и гамма-квантов, различных газовых детекторов, канальных умножителей, лавинных счетчиков. Рассмотреть параметры различных детекторов для

изучении в связи с их возможным применением для изучения тех или иных продуктов ядерных реакций.

На заключительном занятии следует рассмотреть практические аспекты применения результатов физики тяжелых ионов – получение полимерных ядерных мембран, изотопов применение в нанотехнологии.

Автор(ы):

Салахутдинов Гаяр Харисович, д.ф.-м.н., профессор

Пенионжкевич Юрий Эрастович, д.ф.-м.н.,
профессор