Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВЫ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Направление подготовки (специальность) [1] 16.03.01 Техническая физика

Семестр	**Трудоемкость, кред.**	**Общий объем курса, час.**	**Лекции, час.**	**Практич. занятия, час.**	**Лаборат. работы, час.**	**В форме практической подготовки, час.**	**СРС, час.**	**КСР, час.**	**Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП**
7	4	144	48	32	0		28	0	Э
Итого	4	144	48	32	0	0	28	0	

АННОТАЦИЯ

В учебном курсе изучаются физические основы, лежащие в основе масс-спектрометрического метода анализа.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются: знакомство с основными видами масс-анализаторов ионов и усвоение физических основ их работы, знакомство с основными способами детектирования ионов, получения навыков проведения масс-спектрометрического анализа веществ.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Изучение данной дисциплины предшествует научно-исследовательской практике, целью которой является проработка теоретических вопросов в рамках выбранного профиля подготовки, участие в научных исследованиях, школах, семинарах и конференциях, овладение производственными навыками и передовыми методами по специальности, приобретение практического опыта и навыков научной и производственной работы. Для успешного освоения дисциплины необходим предшествующий математический и естественнонаучный цикл, включающий следующие дисциплины: математика, физика, химия.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	**Код и наименование индикатора достижения компетенции**

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**
производственно-технологический			
Использование нормативных документов по качеству, стандартизации и сертификации изделий, элементов	Наноразмерные системы, атомно-молекулярные смеси, масс-спектрометрия и спектрометрия ионной	ПК-3 [1] - Способен использовать технические средства для определения основных параметров технологического процесса, изучения	З-ПК-3[1] - Знать технические средства для определения основных параметров технологического процесса, свойств физико-технических

экономического анализа в практической деятельности.	подвижности, композиционные материалы.	свойств физико-технических объектов, изделий и материалов *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011, 40.136, 40.167	объектов, изделий и материалов ; У-ПК-3[1] - Уметь использовать технические средства для определения параметров технологического процесса, свойств физико-технических объектов, изделий и материалов ; В-ПК-3[1] - Владеть техническими средствами определения параметров технологического процесса, изучения свойств физико-технических объектов, изделий и материалов

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	**Задачи воспитания (код)**
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	**Наименование раздела учебной дисциплины**	**Недели**	**Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.**	**Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)**	**Максимальный балл за раздел****	**Аттестация раздела (форма*, неделя)**	**Индикаторы освоения компетенции**
	7 Семестр						
1	Часть 1	1-8	40/0/0		25	Зд-8	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Часть 2	9-16	8/32/0		25	Зд-16	З-ПК-3, У-ПК-3,

							В-ПК-3
	Итого за 7 Семестр		48/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

* – 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**
Зд	Задание (задача)
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	**Темы занятий / Содержание**	**Лек., час.**	**Пр./сем., час.**	**Лаб., час.**
	7 Семестр	48	32	0
1-8	**Часть 1**	40	0	0
1	**Введение** История развития масс-спектрометрического метода анализа. Основные направления и этапы развития масс-спектрометрии	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	**Физические основы разделение ионов.** Принцип работы масс-спектральных устройств. Разделяющие свойства электрических и магнитных полей. Структурная схема масс-спектрометра. Элементы масс-спектрометров и их назначение. Характеристики масс-спектрометров. Принцип масс-спектрометрического анализа.	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	**Методы ионизации и источники ионов.** Получение и формирование ионных пучков. Способы получения ионов. Требования, предъявляемые к ионным источникам. Основные характеристики источников. Источники ионов с электронным ударом. Механизм ионизации. Принцип Франка-Кондона. Физические процессы, протекающие в ионных источниках с электронным ударом. Формирование ионных пучков. Конструкции источников. Достоинства и недостатки. Применение источников с электронным ударом. Неразрушающие методы ионизации: ESI, APCHI, APPHI, MALDI, SALDI.	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	**Магнитные анализаторы ионных пучков.** Разделение ионов в магнитных полях. Типы магнитных анализаторов. Анализаторы со 180-градусным отклонением ионных пучков, секторные анализаторы. Анализаторы с ортогональным и неортогональным входом ионных пучков и прямолинейными границами.	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Анализаторы с криволинейными границами. Магнитные масс-спектрометры с неоднородными полями, принцип их работы, достоинства и недостатки. Параметры и характеристики магнитных анализаторов: условие фокусировки в радиальном и аксиальном направлениях, увеличение анализатора, дисперсия анализатора по массам и энергиям, аберрации, линии фокусов. Разрешающая способность. Характеристики масс и энерго-спектрометров. Разделение ионов в последовательных аксиально-симметричных электрическом и магнитном полях. Достоинства и недостатки масс-спектрометров с двойной фокусировкой. Двухкаскадные масс-анализаторы. Масс-спектрометры с фокусировкой ионов по энергиям. Практические схемы двухкаскадных анализаторов, масс-спектрограф Маттауха-Герцога и Нира-Джонса.			
5	**Детектирование и регистрация ионных пучков.** Детектирование и регистрация ионных пучков. Фотографический метод. Метод электрического заряда. Требования к конструкции приемников ионов. Динатронный эффект. Метод вторично-электронной эмиссии Вторично-электронные умножители. Микроканальные ВЭУ. Другие методы регистрации ионов. Запись массовых спектров. Способы развертки массовых спектров. Приборы, применяемые для регистрации спектров масс. Источники фона в масс-спектрометрах. Влияние рассеяния ионов на остаточном газе и поверхностях на фон масс-спектрометров. Влияние рассеяния ионов на разрешающую способность и чувствительность. Эффект "памяти" и способы его снижения. Источники фона, обусловленные средствами откачки и применяемыми материалами. Роль адсорбционных и десорбционных процессов в масс-спектрометрическом анализе. Образование полупроводящих пленок. Механизм влияния пленок на характеристики приборов.	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	**Разделение ионов по времени пролета.** • Типы времяпролетных анализаторов: прямопролетные, с отражающими полями, с аксиально-симметричными электрическими полями. Прямопролетные масс-анализаторы: принцип работы, факторы, влияющие на разрешающую способность. Пространственно-временная фокусировка. • Источники ионов времяпролетных анализаторов с импульсным режимом работы и режимом накопления. Способы увеличения чувствительности времяпролетных масс-спектрометров. • Времяпролетные масс-спектрометры с отражающими полями. Принцип фокусировки по энергиям. Теория временной фокусировки ионов по энергиям. Временная фокусировка по энергиям второго порядка.	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

	• Масс-анализатор типа масс-рефлектрон. Ионные зеркала с однородными и аксиально-симметричными полями. Трансмиссия анализатора и способы ее повышения. • Времяпролетные масс-спектрометры с аксиально-симметричными электрическими полями. Принцип фокусировки по энергиям. Теория временной фокусировки ионов по энергиям. Временные аберрации анализаторов с аксиально-симметричными электрическими полями.			
7	**Квадрупольные масс-анализаторы.** Времяпролетные масс-спектрометры с аксиально-симметричными электрическими полями. Принцип фокусировки по энергиям. Теория временной фокусировки ионов по энергиям. Временные аберрации анализаторов с аксиально-симметричными электрическими полями.	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	**Детектирование ионов и регистрация масс-спектров.** • Детектирование и регистрация ионных пучков. Метод электрического заряда. Требования к конструкции приемников ионов. Динатронный эффект. • Метод вторично-электронной эмиссии Вторично-электронные умножители. Микроканальные ВЭУ. Коэффициент усиления, динамический диапазон, мертвое время, время восстановления электронных умножителей. Другие методы регистрации ионов.	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	**Часть 2**	8	32	0
9 - 16	**Выполнение лабораторных работ** лабораторная работа 1,2,3.	Всего аудиторных часов		
		8	32	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

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	**Темы занятий / Содержание**
	7 Семестр
	Лабораторная работа 1. Гелиевый течеискатель с магнитным масс-анализатором.
	Лабораторная работа 2. Масс-спектрометр с ионизацией в индуктивно связанной плазме для изотопного и элементного анализа

	Лабораторная работа 3. Времяпролетный масс-спектрометр

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий), а также проведение занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

7. 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-3	З-ПК-3	Э, Зд-8, Зд-16
	У-ПК-3	Э, Зд-8, Зд-16
	В-ПК-3	Э, Зд-8, Зд-16

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-х балльной шкале**	**Отметка о зачете**	**Оценка ECTS**
90-100	5 – *«отлично»*	*«зачтено»*	A
85-89	4 – «*хорошо*»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «*удовлетворительно*»		
60-64			E
ниже 60	2 – «*неудовлетворительно*»	*«не зачтено»*	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Г 19 Аналитическая химия. Методы разделения веществ и гибридные методы анализа : , Под р. п. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022

2. 53 Ф91 Введение в технику физического эксперимента : лабораторный практикум, Фролов А.С., Моисеева Т.Г., Сысоев А.А., Москва: МИФИ, 2009

3. ЭИ Б 90 Методы и достижения современной аналитической химии : учебное пособие, Лебедев А. Т. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2021

4. ЭИ С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, Фролов А.С. [и др.], Москва: МИФИ, 2008

5. 543 С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, Фролов А.С. [и др.], Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

https://online.mephi.ru/

http://library.mephi.ru/

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. ИСП Масс-спектрометр ELAN DRC-E (А-109)

2. Времяпролетный Масс-спектрометр СИП/ВПМС (А-107)

3. Гелиевый течеискатель SHIMADZU (А-107)

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Изучения данной дисциплины помогает овладеть навыками работы на сложных физических приборах. Для успешного освоения дисциплины необходим предшествующий математический и естественнонаучный цикл , включающий следующие дисциплины: математика, физика, химия.

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

– Задание

Для выполнения Задания на выбор преподавателя студенту выдается 2-3 вопроса из списка вопросов. В рамках предложенных тем вопросов, преподаватель может задавать обобщающие вопросы, охватывающие несколько тем, или конкретные задачи-проблемы группе (два и более) студентов с целью оценить работу студентов в коллективе, а так же роль и активность отдельных студентов.

Успешное прохождение студентом аттестации отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждой аттестации.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Изучения данной дисциплины помогает овладеть навыками работы на сложных физических приборах. Для успешного освоения дисциплины необходим предшествующий математический и естественнонаучный цикл , включающий следующие дисциплины: математика, физика, химия.

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

– Задание

Для выполнения Задания на выбор преподавателя студенту выдается 2-3 вопроса из списка вопросов. В рамках предложенных тем вопросов, преподаватель может задавать обобщающие вопросы, охватывающие несколько тем, или конкретные задачи-проблемы группе (два и более) студентов с целью оценить работу студентов в коллективе, а так же роль и активность отдельных студентов.

Успешное прохождение студентом аттестации отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждой аттестации.

Автор(ы):

Сысоев Александр Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор

Потешин Сергей Станиславович, к.т.н.