

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
ИОНИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В 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
8	2	72	24	12	0		9	0	Э
Итого	2	72	24	12	0	0	9	0	

АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины являются усвоение физических основ получения ионов, формирования и транспортировки ионных пучков. Знакомство с основными способами детектирования заряженных частиц.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются усвоение физических основ получения ионов, формирования и транспортировки ионных пучков. Знакомство с основными способами детектирования заряженных частиц.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Масс-спектрометрический метод анализа является универсальным высокочувствительным методом анализа веществ. Поэтому наряду со знаниями принципов разделения ионов в анализаторе масс-спектрометра необходимо разбираться в закономерностях физических процессах, протекающих при ионизации атомов и молекул. В качестве базовых знаний для усвоения дисциплины необходимы знания стандартного цикла курсов общей физики и высшей математики, курса «Физические основы масс-спектрометрии», умение пользоваться персональным компьютером, в том числе поисковыми системами Интернета.

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
проектно-конструкторский			
Разработка функциональных и структурных схем элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проектов	Наноразмерные системы, атомно-молекулярные смеси, масс-спектрометрия и ионной	ПК-2 [1] - Способен разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных	З-ПК-2[1] - Знать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок ;

изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров.	подвижности, композиционные материалы.	установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, 40.167	У-ПК-2[1] - Уметь разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров ; В-ПК-2[1] - Владеть методами разработок функциональных и структурных схем элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проектов изделий
--	--	--	--

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/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	8 Семестр						
1	Наиболее распространенные в масс-спектрометрии методы ионизации	1-8	16/8/0		25	КИ-8	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Методы	9-12	8/4/0		25	КИ-12	З-ПК-2,

	фрагментации и остальное						У-ПК-2, В-ПК-2
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		24/12/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2

* – 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
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	24	12	0
1-8	Наиболее распространенные в масс-спектрометрии методы ионизации	16	8	0
1	Ионизация электронами. Зависимость сечения ионизации от энергии. Схема работы и оценки параметров. Термоэлектронная эмиссия. Магниты в источнике. Диссоциация. Характеристики (эмиттанс, эффективность, преимущества и недостатки, применения и ограничения).	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Лазерная ионизация, твердое тело. Нагрев и испарение твердых мишеней излучением лазера. Механизм образования ионов. Зависимость выхода ионов от параметров лазерного излучения. Типы образующихся ионов. Энергетическое и угловое распределение ионов. Характеристики.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Химическая ионизация при атмосферном давлении, радиоактивная ионизация. Формирование коронного разряда. Механизм образования исходных реагентов и ионно-молекулярных реакций. Роль фотоионизации, влажности, примесей в камере ионизаций, полярности соединений. Характеристики.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Фотоионизация, при атмосферном давлении. Механизм образования ионов. Принцип Франка-Кондона. Диссоциативная ионизация. Эффективность образования ионов.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Ионизация электрораспылением. Образование ионов в растворе и гидрогазодинамический перевод в газовую фазу. Конус Тейлора, поддержка нагретым газом, предел Рэйлея, 2 модели (выделения ионов, деления капель). Характеристики.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

6	Матрично-активированная (или на кремниевой подложке) лазерная десорбция-ионизация. Механизм ионизации, роль матрицы. Параметры работы источника ионов. Приложения.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
7	Образование ионов за счет теплового возбуждения и при бомбардировке поверхности заряженными частицами. Поверхностная ионизация и термоионная эмиссия. Ионно-ионная эмиссия.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
8	Методы ионизации, изобретенные за последние 15 лет. Десорбционная ионизация под действием электрораспыления. Прямой анализ в режиме реального времени. Прямое электрораспыление без пробоподготовки с применением различных подложек (бумага, биологический и растительный материал).	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
9-12	Методы фрагментации и остальное	8	4	0
9 - 10	Контролируемая фрагментация, нейтрализация. Диссоциация активируемая соударениями (высоко и низкоэнергетическая), и другие процессы (перезарядка, возбуждение, ионно-молекулярные реакции). Диссоциация при захвате электрона, диссоциация при передаче электрона, диссоциация при столкновении с поверхностью, фото-диссоциация. Приложения - многомерная тандемная МС.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
11	Детектирование. Цилиндр Фарадея и тепловой шум, вторичные электронные умножители, самостоятельные и совмещенные с фото-электронными умножителями, микро-канальные пластины. Дискриминация от массы иона.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
12	Паразитные явления в вакуумной камере. Датчики давления (магнитно-разрядные). Рассеяние на остаточном газе. Ионные столкновения с электродами и диэлектриками. Распад после источника (МАЛДИ).	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		

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 ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
--------	---------------------------

	<i>8 Семестр</i>
1	Ионизация электронами. Зависимость сечения ионизации от энергии. Схема работы и оценки параметров. Термоэлектронная эмиссия. Магниты в источнике. Диссоциация. Характеристики (эмиттанс, эффективность, преимущества и недостатки, применения и ограничения).
2	Лазерная ионизация, твердое тело. Нагрев и испарение твердых мишеней излучением лазера. Механизм образования ионов. Зависимость выхода ионов от параметров лазерного излучения. Типы образующихся ионов. Энергетическое и угловое распределение ионов. Характеристики.
3	Химическая ионизация при атмосферном давлении, радиоактивная ионизация. Формирование коронного разряда. Механизм образования исходных реагентов и ионно-молекулярных реакций. Роль фотоионизации, влажности, примесей в камере ионизаций, полярности соединений. Характеристики.
4	Фотоионизация, при атмосферном давлении. Механизм образования ионов. Принцип Франка-Кондона. Диссоциативная ионизация. Эффективность образования ионов.
5	Ионизация электрораспылением. Образование ионов в растворе и гидрогазодинамический перевод в газовую фазу. Конус Тейлора, поддержка нагретым газом, предел Рэя, 2 модели (выделения ионов, деления капель). Характеристики.
6	Матрично-активированная (или на кремниевой подложке) лазерная десорбция-ионизация. Механизм ионизации, роль матрицы. Параметры работы источника ионов. Приложения.
7	Образование ионов за счет теплового возбуждения и при бомбардировке поверхности заряженными частицами. Поверхностная ионизация и термоионная эмиссия. Ионно-ионная эмиссия.
8	Методы ионизации, изобретенные за последние 15 лет. Десорбционная ионизация под действием электрораспыления. Прямой анализ в режиме реального времени. Прямое электрораспыление без пробоподготовки с применением различных подложек (бумага, биологический и растительный материал).
9 - 11	Контролируемая фрагментация, нейтрализация. Диссоциация активируемая соударениями (высоко и низкоэнергетическая), и другие процессы (перезарядка, возбуждение, ионно-молекулярные реакции). Диссоциация при захвате электрона, диссоциация при передаче электрона, диссоциация при столкновении с поверхностью, фото-диссоциация. Приложения - многомерная тандемная МС.
12 - 13	Детектирование. Цилиндр Фарадея и тепловой шум, вторичные электронные умножители, самостоятельные и совмещенные с фото-электронными умножителями, микро-канальные пластины. Дискриминация от массы иона.
14 - 16	Паразитные явления в вакуумной камере. Датчики давления (магнитно-разрядные). Рассеяние на остаточном газе. Ионные столкновения с электродами и диэлектриками. Распад после источника (МАЛДИ).

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс «Ионизационные методы в масс-спектрометрии» реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) 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-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-12

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»		E
60-64			
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 И74 Информационные технологии в физических исследованиях : лабораторный практикум, Иванов В.П. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2009
2. 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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса «Ионизационные процессы в масс-спектрометрии» студенту необходимо понять механизмы влияния способов получения ионов анализируемых веществ на конечные характеристики масс-спектрометра и точность масс-спектрометрического анализа.

Усвоить основные способы получения ионов. Необходимо знать основные требования, предъявляемые к ионным источникам и характеристики источников. Нужно знать основные физические процессы, протекающие в источнике ионов с ионизацией электронным ударом и фотоионизацией. Необходимо уяснить суть принципа Франка-Кондона и соотношение между характерными временами каких процессов лежит в основе этого принципа. Необходимо знать основные методы ионизации и их особенности при формировании ионов в случае анализа веществ в твердом и жидком агрегатном состояниях. Уяснить их преимущества и недостатки при проведении конкретного вида масс-спектрометрического анализа. Необходимо освоить физические основы работы источников ионов времяпролетных анализаторов в импульсном режиме работы и режиме накопления.

Текущий контроль представлен следующим видом аттестации:

- контрольная работа (8 неделя).

На выбор преподавателя студенту выдается 2 задачи из прилагаемого списка. Время на подготовку – не более 40 минут. 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 также роль и активность отдельных студентов.

- контрольная работа (заключительная, 12 неделя).

Тоже, что на 8 неделе - плюс закрепление навыков физических оценок и расчетов у студентов.

Методика проведения оценивания студентов на рубежном контроле основывается на «Контроле итогов» (КИ). В рамках данной методики, оценка в баллах выставляется студенту на основании результатов Текущего контроля отдельно для первой половины семестра (КИ-8) и отдельно для второй (КИ-16). Успешное прохождение студентом рубежного контроля отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждого КИ.

Форма реализации промежуточного контроля - экзамен. К экзамену допускаются студенты, имеющие по итогам КИ-8 и КИ-16 в сумме не менее 30 баллов. Максимальная оценка на экзамене составляет 50 баллов.

При подготовке к текущему контролю и зачету рекомендуется пользоваться следующей литературой:

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ И74 Информационные технологии в физических исследованиях : лабораторный практикум, А. А. Сысоев [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2009

2. 543 C56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При изучении курса «Ионизационные процессы в масс-спектрометрии» студенту необходимо понять механизмы влияния способов получения ионов анализируемых веществ на конечные характеристики масс-спектрометра и точность масс-спектрометрического анализа. Усвоить основные способы получения ионов. Необходимо знать основные требования, предъявляемые к ионным источникам и характеристики источников. Нужно знать основные физические процессы, протекающие в источнике ионов с ионизацией электронным ударом и фотоионизацией. Необходимо уяснить суть принципа Франка-Кондона и соотношение между характерными временами каких процессов лежит в основе этого принципа. Необходимо знать

основные методы ионизации и их особенности при формировании ионов в случае анализа веществ в твердом и жидком агрегатном состояниях. Уяснить их преимущества и недостатки при проведении конкретного вида масс-спектрометрического анализа. Необходимо освоить физические основы работы источников ионов времяпролетных анализаторов в импульсном режиме работы и режиме накопления.

Текущий контроль представлен следующим видом аттестации:

- контрольная работа (8 неделя).

На выбор преподавателя студенту выдается 2 задачи из прилагаемого списка. Время на подготовку – не более 40 минут. 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 также роль и активность отдельных студентов.

- контрольная работа (заключительная, 12 неделя).

Тоже, что на 8 неделе - плюс закрепление навыков физических оценок и расчетов у студентов.

Методика проведения оценивания студентов на рубежном контроле основывается на «Контроле итогов» (КИ). В рамках данной методики, оценка в баллах выставляется студенту на основании результатов Текущего контроля отдельно для первой половины семестра (КИ-8) и отдельно для второй (КИ-16). Успешное прохождение студентом рубежного контроля отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждого КИ.

Форма реализации промежуточного контроля - экзамен. К экзамену допускаются студенты, имеющие по итогам КИ-8 и КИ-16 в сумме не менее 30 баллов. Максимальная оценка на экзамене составляет 50 баллов.

При подготовке к текущему контролю и зачету рекомендуется пользоваться следующей литературой:

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ И74 Информационные технологии в физических исследованиях : лабораторный практикум, А. А. Сысоев [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2009

2. 543 С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008

Автор(ы):

Чернышев Денис Михайлович

Иванов Владимир Петрович, к.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

Чернышев Денис Михайлович