

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МЕТОДЫ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

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
2	3	108	24	24	0		24	0	Э КП
Итого	3	108	24	24	0	0	24	0	

АННОТАЦИЯ

Учебный курс посвящен методам масс-спектрометрического анализа твердых тел.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является получение студентами сведений о физических процессах, возникающих при масс-спектрометрическом анализе твердых образцов, предстоит изучить особенности узлов масс-спектрометрической аппаратуры для анализа твердых тел, ознакомиться с основными методами проведения анализа твердотельных образцов.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Метод масс-спектрометрического анализа твердых тел является важной, современной и перспективной дисциплиной в научно исследовательской и инженерно – внедренческой работе инженера-физика.

В качестве базовых знаний для усвоения дисциплины необходимы знания стандартного цикла курсов общей физики и высшей математики, умение пользоваться персональным компьютером.

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
научно-исследовательский			
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований, построение	Природные и социальные явления и процессы	ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и	З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных

<p>физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений в рамках предметной области по профилю специализации</p>		<p>процессов и (или) разработки новых технических средств</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.</p>
<p>инновационный;</p>			
<p>Проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач</p>	<p>Природные и социальные явления и процессы</p>	<p>ПК-5 [1] - Способен применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования, принципы экспертизы продукции для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий ; У-ПК-5[1] - Уметь применять физические</p>

			методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий; В-ПК-5[1] - Владеть навыками теоретического и экспериментального исследования, математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий
--	--	--	--

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>2 Семестр</i>						
1	Лазерная, Искровая, Ионно-Ионная МС	1-7	12/12/0		25	УО-8	3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
2	2 ИСП-МС и тлеющий разряд.	8-15	12/12/0		25	УО-15	3-ПК-1, У-

							ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		24/24/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э, КП	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5, 3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5

* – 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
УО	Устный опрос
Э	Экзамен
КП	Курсовой проект

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
--------	---------------------------	------------	----------------	------------

	<i>2 Семестр</i>	24	24	0
1-7	Лазерная, Искровая, Ионно-Ионная МС	12	12	0
1 - 2	Введение Значение твердотельного анализа в аналитической масс-спектрометрии. Основные задачи твердотельного анализа. Основные стадии твердотельного анализа (пробоподготовка, атомизация и ионизация, разделение ионов, детектирование, регистрация и обработка результатов). Требования к разным стадиям анализа. Масс-спектрометрические методы, используемые для твердотельного количественного анализа (лазерная масс-спектрометрия, искровая масс-спектрометрия, метод вторичной ионной эмиссии, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, масс-спектрометрия тлеющего разряда). Аналитические характеристики методов.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Твердотельный анализ с использованием лазерной ионизации <input type="checkbox"/> Лазерные источники ионов. Ионообразование при взаимодействии излучения лазера с твердым веществом. Режим модулированной добротности и свободной генерации. Зависимость выхода ионов от параметров светового излучения. Типы образующихся ионов. Энергетическое и угловое распределение ионов. Достоинства и недостатки получения ионов с помощью лазера в применении к масс-спектрометрическому методу твердотельного анализа. <input type="checkbox"/> Требования, предъявляемые к анализаторам ионов при использовании лазерных ионных источников. <input type="checkbox"/> Магнитные масс-спектрометры с двойной фокусировкой. Принцип фокусировки по энергиям. Масс-спектрометры Маттауха-Герцога. <input type="checkbox"/> Времяпролетные масс-анализаторы. Временная фокусировка во времяпролетных масс-спектрометрах. Масс-анализаторы типа масс-рефлектор, анализаторы с аксиально-симметричными полями. <input type="checkbox"/> Достоинства и недостатки лазерных магнитных и времяпролетных масс-спектрометров. <input type="checkbox"/> Детекторы ионов. Детектирование ионов в лазерных масс-спектрометрах. Требования к детекторам, их характеристики, достоинства и недостатки. Детектирование ионных токов в большом динамическом диапазоне. <input type="checkbox"/> Вторичная обработка масс-спектров. Расчет концентраций элементов по масс-спектрам. Коэффициенты относительной чувствительности, их определение. Полуколичественный безэталонный анализ. Использование внутреннего стандарта при вычислении концентраций элементов. Использование стандартных образцов при количественном анализе твердых проб.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Твердотельный анализ с использованием искровой ионизации	Всего аудиторных часов		
		2	2	0

	<p>Искровые источники ионов. Получение ионов методом вакуумного пробоя. Ионизация и стадии вакуумных пробоев: искровая, промежуточная, дуговая. Механизм возникновения пробоя. Процессы, происходящие в искровом разряде. Механизмы образования ионов в искре. Эффективность ионообразования. Механизмы ускорения ионов и их энергетический разброс. Типы получаемых ионов. Достоинства и недостатки метода ионизации с помощью вакуумного пробоя. Применение вакуумного пробоя в масс-спектрометрии.</p> <p>Анализаторы ионов. Требования, предъявляемые к анализаторам ионов при использовании искровых ионных источников. Магнитные масс-спектрометры с двойной фокусировкой. Принцип фокусировки по энергиям. Характеристики масс-спектрометров (разрешающая способность, транс-миссия, диапазон масс, абберации, линия фокусов и т.п.). Развертка масс-спектров. Масс-спектрометры Маттауха-Герцога.</p> <p>Времяпролетные масс-спектрометры. Временная фокусировка во времяпролетных масс-спектрометрах. Масс-анализаторы типа масс-рефлек-трон, анализаторы с аксиально-симметричными полями. Характеристики масс-спектрометров (разрешающая способность, трансмиссия, диапазон масс, абберации и т.п.). Развертка масс-спектров. Достоинства и недостатки искровых магнитных и времяпролетных масс-спектрометров.</p>	Онлайн		
		0	0	0
6 - 7	<p>Твердотельный анализ с использованием ионно-ионной эмиссии</p> <p>Ионные источники с ионной бомбардировкой. Ионно-ионная эмиссия. Механизм образования ионов. Эффективность образования ионов. Влияние на эффективность образования ионов энергии, массы, заряда бом-бардирующих частиц, угла падения ионов, давления и состава остаточного газа, температуры эмиссии, материала мишени. Угловое и энергетическое распределение вторичных ионов. Типы образующихся ионов. Достоинства и недостатки получения ионов методом ионно-ионной эмиссии. Применение ионной эмиссии в масс-спектрометрии.</p> <p>Анализаторы ионов. Требования, предъявляемые к анализаторам ионов при использовании источников с ионной бомбардировкой.</p> <p>Анализаторы для ионно-ионной эмиссии. Магнитные масс-анализаторы. Времяпролетные масс-спектрометры. Временная фокусировка во время-пролетных масс-спектрометрах. Масс-анализаторы типа масс-рефлектрон, анализаторы с аксиально-симметричными полями. Характеристики масс-спектрометров (разрешающая способность, трансмиссия, диапазон масс, абберации и т.п.). Развертка масс-спектров. Особенности применения времяпролетных масс-спектрометров с источниками с ионной бомбарди-ровкой.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Достоинства и недостатки искровых магнитных, квадрупольных и времяпролетных масс-спектрометров.			
8-15	2 ИСП-МС и тлеющий разряд.	12	12	0
8 - 11	Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой Физический принцип работы ICP-MS. Виды распылителей пробы, достоинства-недостатки Ионизация аэрозоля в аргоновой плазме. Степень ионизации. Вытягивание ионов из плазмы, способы увеличения ионного тока. Дискриминации и искажения аналитического сигнала в ICP. Молекулярные наложения и способы их преодоления. Столкновительные ячейки. ICP Приложения. Методы анализа, принципы. Изотопные методы анализа Ограничения метода ICP-MS. Пробоподготовка - перевод образца в жидкую фазу.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 14	Определение абсолютных количеств твердых веществ (метод изотопного разбавления) Основы метода изотопного разбавления. Теория метода. Методика выполнения анализа. Возможности и ограничения метода. Определение концентраций изотопов. Интегральный и дифференциальный методы измерения. Абсолютный, относительный и эталонный методы измерения. Факторы, влияющие на погрешность измерения изотопного состава. Аппаратные средства измерения концентраций изотопов. Прецизионные измерения изотопного состава. Источники ионов, применяемые для определения изотопного состава твердых веществ. Поверхностная ионизация и термоионная эмиссия. Механизм образования ионов при поверхностной ионизации и термоионной эмиссии. Коэффициент ионизации и степень ионизации. Уравнение Саха-Ленгмюра. Факторы, влияющие на эффективность ионизации. Способы подачи пара на нагретую поверхность. Типы получаемых ионов. Достоинства и недостатки метода.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Масс-спектрометры с тлеющим разрядом Разновидности тлеющего разряда в источниках ионов. ИИ с полым катодом. Аналитические приложения.	Всего аудиторных часов		
		2	2	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 ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 3	Твердотельный анализ с использованием лазерной ионизации Лазеры. Методы юстировки. Лазерные источники ионов. Требования, предъявляемые к анализаторам ионов при использовании лазерных ионных источников. Детектирование ионов в лазерных масс-спектрометрах.
3 - 5	Времяпролетные масс-анализаторы Расчет масс-анализатора при использовании с лазерными ИИ
5	Твердотельный анализ с использованием искровой ионизации. Искровые источники ионов. Получение ионов методом вакуумного пробоя.
7 - 12	Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Виды распылителей пробы, достоинства-недостатки. Ионизация аэрозоля в аргоновой плазме. Степень ионизации. Вытягивание ионов из плазмы, способы увеличения ионного тока. Дискриминации и искажения аналитического сигнала в ИСП. ИСП Приложения. Методы анализа, принципы. Изотопные методы анализа
12 - 14	Источники ионов, применяемые для определения изотопного состава твердых веществ Источники ионов с поверхностной ионизацией. Коэффициент ионизации и степень ионизации. Уравнение Саха-Ленгмюра. ИИ с электронным ударом.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс 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.

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-1	З-ПК-1	КП, Э, УО-8, УО-15
	У-ПК-1	КП, Э, УО-8, УО-15
	В-ПК-1	КП, Э, УО-8, УО-15
ПК-5	З-ПК-5	КП, Э, УО-8, УО-15
	У-ПК-5	КП, Э, УО-8, УО-15
	В-ПК-5	КП, Э, УО-8, УО-15

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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	B	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		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	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 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	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 В 37 Аналитическая химия : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Б 90 Спектрометрия ионизирующих излучений. Основные понятия и терминология : учебно-методическое пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2021
3. ЭИ С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008
4. ЭИ Ф91 Введение в технику физического эксперимента : лабораторный практикум, А. С. Фролов, Т. Г. Моисеева, А. А. Сысоев, Москва: МИФИ, 2009

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. ICP-MS со всеми аспектами
2. Emission features and expansion dynamics of nanosecond laser ablation plumes at different ambient pr (<https://engineering.purdue.edu/CMUXE/Publications/Harilal/2014-JAP-Nazar.pdf>)
3. Bioimaging mass spectrometry of trace elements - recent advance and applications of LA-ICP-MS: A rev (https://www.researchgate.net/profile/Bei_Wu5/publication/261919842_Bioimaging_mass_spectrometry_of_trace_elements_-_Recent_advance_and_applications_of_LA-ICP-MS_A_review/links/55f688a008ae7a10cf8b9c08.pdf)

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

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

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. ИСП Масс-спектрометр ELAN DRC-E (A-109)
2. Лазерный Масс-спектрометр ЛАМАС (A-107)
3. Установка для микроволнового разложения образцов MARS-6 фирмы SEM США (A-109)

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные закономерности, описывающие движение ионов в электромагнитных полях; физические основы работы основных типов масс-анализаторов для разделения ионов по массам/z.

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

- Устный опрос

На выбор преподавателя студенту выдается 2 вопроса из представленного списка вопросов. Время на подготовку – не более 20 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 так же роль и активность отдельных студентов.

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

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

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53Ф91 Моисеева Т.Г.;Сысоев А.А.;Фролов А.С. Введение в технику физического эксперимента : лабораторный практикум, А. С. Фролов, Т. Г. Моисеева, А. А. Сысоев, Москва: МИФИ, 2009.
2. ЭИС56 Фролов А.С.;Сысоева А.А.;Моисеева Т.Г.; ;Сысоев А.А. Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА: Научные статьи ведущих ученых по теме занятия. Рекомендуется на занятиях.

Интернет-ресурсы: <http://icp-ms.ru/> - ИСП-МС со всеми аспектами.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные закономерности, описывающие движение ионов в электромагнитных полях; физические основы работы основных типов масс-анализаторов для разделения ионов по массам/z.

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

- Устный опрос

На выбор преподавателя студенту выдается 2 вопроса из представленного списка вопросов. Время на подготовку – не более 20 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 так же роль и активность отдельных студентов.

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

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

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53Ф91 Моисеева Т.Г.;Сысоев А.А.;Фролов А.С. Введение в технику физического эксперимента : лабораторный практикум, А. С. Фролов, Т. Г. Моисеева, А. А. Сысоев, Москва: МИФИ, 2009.

2. ЭИС56 Фролов А.С.;Сысоева А.А.;Моисеева Т.Г.; ;Сысоев А.А. Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА: Научные статьи ведущих ученых по теме занятия. Рекомендуются на занятиях.

Интернет-ресурсы: <http://icp-ms.ru/> - ИСР-МС со всеми аспектами.

Автор(ы):

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

Потешин Сергей Станиславович, к.т.н.