

Рабочая программа дисциплины «Масс-спектрометрические методы исследования» составлена на основании программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.5 Физическая электроника (далее-программа аспирантуры)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями изучения дисциплины является:

- Получение углубленных знаний по теории и практике масс-спектрометрического исследования:

а) плазменных процессов, и поверхностных явлений в физике, как в условиях лаборатории, так и в космических экспериментах;

б) химического, элементного, изотопного, а также, структурного, состава различных сред в физике, химии, биологии;

в) возможности проведения ранней диагностики заболеваний по сопровождающим человека биологическим маркерам в медицине;

- Приобретение опыта использования масс-спектрометрических методов для исследовательских целей, а также, при решении геофизических, экологических и технологических задач во вне лабораторных исследованиях.

Задачи дисциплины заключаются в изучении:

- Фундаментальных понятий, законов и теорий, относящихся к масс-спектрометрии, а также, включают изучение способов и устройств

- введения образца в вакуумную камеру ионного источника,

- ионизации находящихся в исследуемой пробе соединений,

- сепарации ионов по массе и энергии, а также

- регистрации сигнала,

- идентификации целевых компонентов в исследуемых пробах и определения

концентрации компонентов по регистрируемому детектором масс-спектру

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

2.1. Дисциплина «Масс-спектрометрические методы исследования» входит в обязательную часть образовательного компонента программы аспирантуры и направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена.

2.2. Данная программа строится на преемственности программ в системе высшего

образования и предназначена для аспирантов ФТИ им. А.Ф. Иоффе, прошедших обучение по программе подготовки магистров, прослушавших соответствующие курсы.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Масс-спектрометрические методы исследования» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с Программой аспирантуры.

3.1. Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

3.3. Профессиональные компетенции:

- способность формулировать задачи экспериментальных исследований, планировать и реализовывать постановку экспериментов, направленных на решение поставленных задач (ПК-1);

- способность анализировать и систематизировать научно-техническую информацию о новых разработках систем автоматизации физического эксперимента (ПК-2).

- способность организовывать разработку систем автоматизации физического эксперимента (ПК-3),

- способность к компьютерному моделированию (ПК-4).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Приводимая ниже таблица показывает распределение учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса, согласно учебному плану в 4 и 5 семестрах.

Наименование разделов и тем	Трудоемкость (в ЗЕТ)	Объем работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			лекции	Лаб. / практ.	Самостоятел ьная работа	контроль
Раздел 1. Методы и инструментарий масс-спектрометрии						
Тема 1.1 Экспериментальные методы определения проб и место масс-спектрометрии в ряду этих методов. Историческая справка.		4	2		2	
Тема 1.2. Масс-анализаторы статические и динамические. Ионно-оптические системы.		8	4		4	
Тема 1.3. Способы ионизации и ионные источники.		8	4		4	
Тема 1.4. Системы регистрации.		4	2		2	
Тема 1.5. Обработка результатов измерений.		8	4		4	
Всего по разделу		32	16		16	
Раздел 2. Гибридные методы масс-спектрометрического исследования. Приложения.						
Тема 2.1. Хромато-масс-спектрометрия, электрофорез-масс-спектрометрия, ионная подвижность-масс-		8	4		4	
Тема 2.2. Мембранная масс-спектрометрия		8	4		4	
Тема 2.3. Ускорительная масс-спектрометрия		4	2		2	
Тема 2.4. МС-МС		4	2		2	
Тема 2.5. Приложения: физика, геофизика, медицина, космическим исследования, исследования лабораторной		16	8		8	
Всего по разделу		40	20		20	
Всего по дисциплине	2	72	36		36	

4.2. Содержание разделов и тем

Раздел 1. Методы и инструментарий масс-спектрометрии

Тема 1.1. Экспериментальные методы определения состава проб и место масс-спектрометрии в ряду этих методов. Историческая справка.

Спектроскопия, хроматография, электрофорез, ионная подвижность, масс-

спектрометрия. Первые масс-спектрометры. Развитие метода. Роль метода в развитии науки. Области применения. Масс-анализаторы высокого и низкого разрешения.

Тема 1.2. Масс-анализаторы статические и динамические. Ионно-оптические системы.

Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Электростатические и магнитные линзы. Порядок и кратность фокусировки. Статические масс-анализаторы. Основные характеристики. Разновидности статических приборов. Динамические масс-анализаторы: времяпролетные, квадрупольные, использующие циклотронный эффект, магнитные резонансные, радиочастотные, ловушка Макарова - orbitrap.

Тема 1.3. Способы ионизации и ионные источники.

Выбор источников ионов при изучении летучих и нелетучих соединений. Электронная ионизация, химическая ионизация, ионизация в газовом разряде, фотоионизация, поверхностная ионизация, ионизация электрическим полем, электроспрей ионизация, MALDI и другие.

Тема 1.4. Системы регистрации.

Способы регистрации: фотографическая, электрометрическая и с использованием вторичных электронных умножителей (ВЭУ). Системы для регистрации потока ионов с высоким пространственным разрешением. КЧД. Детекторы для времяпролетных систем.

Тема 1.5. Обработка результатов измерений.

Способы определения состава проб при отсутствии интерференции (наложении пиков спектров масс ионов с близкими значениями отношений массы к заряду): внешняя калибровка, метод внутреннего стандарта, метод стандартной добавки, метод изотопного разбавления. Определение состава проб при интерференции. Учет условий проведения измерений при обработке результатов.

Раздел 2. Гибридные методы масс-спектрометрического исследования. Приложения.

Тема 2.1. Хромато-масс-спектрометрия, электрофорез-масс-спектрометрия, масс-спектрометрия ионной подвижности.

Тема 2.2. Ускорительная масс-спектрометрия (УМС)

Сверхвысокочувствительная масс-спектрометрия. Особенности построения ионно-оптической схемы. Пути понижения фона изобар, ближайших изотопов и ионов фрагментированных молекул. Эффективность метода. Точность измерения. Применение УМС.

Тема 2.3. МС-МС.

Тема 2.4. Мембранная масс-спектрометрия (Membrane Introduction Mass Spectrometry или MIMS).

Диффузионные мембраны. Процесс транспорта летучих веществ через мембрану. Выбор материала мембран. Относительное обогащение пробы соединениями с высокой проникающей способностью. Время установления стационарного потока за мембраной. Система ввода пробы с одним мембранным интерфейсом. Многомембранные системы ввода.

Тема 2.5. Приложения: физика, геофизика, медицина, космическим исследования, исследования лабораторной плазмы и др.

- масс-спектрометры высокого разрешения для уточнения физических констант,
- для изотопных исследований,
- масс-спектрометры для ins-situ, online исследований:
 - в геофизике (поиск полезных ископаемых);
 - медицине (ранняя диагностика заболеваний);
 - в космических исследованиях (состав грунта и атмосфер планет, межпланетной плазмы).

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Масс-спектрометрические методы исследования» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- самостоятельная работа студентов;
- контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию;
- зачет по окончании изучения дисциплины.

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и

выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Масс-спектрометрические методы исследования» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

6.1. Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов организован как выступление на семинарах.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений.

6.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация завершает изучение дисциплины «Масс-спектрометрические методы исследования». Форма аттестации зачет в письменной или устной форме.

На зачете аспирант должен продемонстрировать высокий научный уровень и научные знания по дисциплине «Масс-спектрометрические методы исследования».

Перечень контрольных вопросов для оценки усвоения материала:

1. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
2. Статические и динамические масс-спектрометры.
3. Аналитические характеристики масс-спектрометров.
4. Методы ионизации вещества.
5. Ионные источники.
6. Методы детектирования заряженных частиц и детекторы ионных пучков.
7. Масс-спектры и способы их получения (развёртки).
8. Статические магнитные масс-спектрометры с двойной фокусировкой.
9. Квадрупольные и монопольные масс-спектрометры.
10. Времяпролётная масс-спектрометрия, масс-рефлектроны.
11. Многоотражательный времяпролётный масс-спектрометр.

12. Магнитные резонансные и радиочастотные масс-спектрометры.
13. Спектрометры ионно-циклотронного резонанса с Фурье-преобразованием.
14. Спектрометр с орбитальной ловушкой.
15. Тандемные масс-спектрометры.
16. Способы пробоподготовки, методы выделения, очистки проб.
17. Газовая и жидкостная хроматография.
18. Спектрометры ионной подвижности.
19. Применение МС-методик для контроля технологических процессов.
20. Применение МС-методик для экологических измерений.
21. Применение МС-методик в геологии.
22. Применение МС-методик в геохронологии.
23. Применение МС-методик для космических исследований.
24. Применение МС-методик в медицине и биологии.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. F.A. White, G.M. Wood. //Mass Spectrometry/ Application in Science and Engineering. //John Willey and Sons/1986.860 P. (БАН).
2. А.Т. Лебедев// Масс-спектрометрия в органической химии// Москва. «БИНОМ». 2003. 493 С.
3. В.М. Кельман, С.Я.Явор. //Электронная Оптика// Л. Наука 1968. 488 С.
4. В.М. Кельман и др.// Статические масс-спектрометры// Алма-Ата. Наука. 1985. 264 С.
5. О.А. Быковский, В.Н. Неволин// Лазерная масс-спектрометрия// М. Энергоатомиздат. 1985. 128 С.
6. В.П. Афанасьев, С.Я. Явор. //Электростатические энергоанализаторы для пучков заряженных частиц// М. Наука. 1978. 224 С.
7. Г. Вольник// Оптика заряженных частиц// С.Пб. Энергоатомиздат. 1992. 281 С.
8. .R.K.Marcus, J.A.C.Broekaert.// Glow discharge plasmas in spectroscopy.//Chichester. John Wiley and Sons. 2003.480P.
9. .Encyclopedia of Analytical Chemistry.// John Wiley & Sons Ltd. Chichester. 2000.
10. Материалы школы по масс-спектрометрии// С. Петербург, 2006. Институт аналитического приборостроения.
11. В.Г. Заикин// Масс-спектрометрия синтетических полимеров// М. ВМСО. 2009. 330 с.

12. Ю.А. Пентин, Л.В. Вилков// Физические методы исследования в химии// М. Мир. 2006. с. 683.

7.2. *Дополнительная литература*

1. Mamyrin B.A., Tolstikhin I.N. //Helium Isotopes in Nature. //Elsevier. Amsterdam-London-NewYork-Tokyo, 1984, p.273.

2. Makarov A.A. //Electrostatic Axially Harmonic Orbital trapping: a high – performance technique of mass analysis///Anal.Chem, 2000.v.72, №6, pp.1156-1162.

3. Веренчиков А.Н., Явор М.И. и др. // Многоотражательный планарный времяпролётный масс- анализатор// ЖТФ. 2005, т.75, №1, с.74-88.

7.3. *Интернет-ресурсы*

Отечественные журналы:

1. Известия вузов. Материалы электронной техники
(<http://met.misis.ru/index.php/jour>;

2. Квантовая электроника (<http://www.quantum-electron.ru/pa.phtml?page=onlcont>;

3. Микроэлектроника (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7900;

Отечественные журналы в переводе:

1. Quantum Electronics (<http://iopscience.iop.org/1063-7818/>;

2. Russian Microelectronics (<http://link.springer.com/journal/11180>;

Иностранные журналы:

1. IEEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering
(<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%291931-4981>;

2. Journal of Electronic Materials (<http://link.springer.com/journal/11664>;

3. Microelectronic Engineering (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/01679317>;

4. Microelectronics Journal (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00262692>;

5. Microwave Journal (<http://www.microwavejournal.com/publications/>;

6. Nature Photonics (<http://www.nature.com/nphoton/index.html>;

7. Opto-Electronics Review (<http://link.springer.com/journal/11772>;

8. Progress in Quantum Electronics

(<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00796727>;

9. Solid-State Electronics (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00381101>;

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

- Лекционная аудитория;

- Мультимедийный проектор;

- Персональный компьютер.

Научные лаборатории, в которых находятся действующие: магнитный статический с двойной фокусировкой портативный масс-спектрометр; магнитный резонансный масс-спектрометр; времяпролётный масс-рефлектор с У-образной траекторией движения ионов; малогабаритный масс-рефлектор с линейной траекторией движения ионов.

Программу разработал:

г.н.с., заведующий лабораторией
лаб. атомных столкновений в твердых телах,
д-р физ. мат.-наук Зиновьев А.Н.