

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**

**ФИЗИКА И ТЕХНИКА МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

| Семестр | Трудоемкость,<br>кред. | Общий объем<br>курса, час. | Лекции, час. | Практич.<br>занятия, час. | Лаборат. работы,<br>час. | В форме<br>практической<br>подготовки/В | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы)<br>контроля,<br>экс./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---|-----------|-----------|--|
| 1       | 3                      | 108                        | 16           | 16                        | 0                        |   | 40        | 0         | Э  |
| Итого   | 3                      | 108                        | 16           | 16                        | 0                        | 0                                       | 40        | 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 на лабораторных работах.

### 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, а также дисциплины: электротехника и электроника, метрология и стандартизация.

### 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;<br>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 | Природные и социальные явления и процессы | ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять | З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <p>утвержденными планами и методиками исследований, построение физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений в рамках предметной области по профилю специализации</p> |   | <p>математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.011</p>  | <p>профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ;<br/>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;<br/>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>Проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач</p>   | <p>инновационный;<br/>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>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</p>   |

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  |  | <p><i>Основание:</i><br/>         Профессиональный стандарт: 40.011</p> | <p>новых наукоемких технологий ;<br/>         У-ПК-5[1] - Уметь применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий;<br/>         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</p> |
|--|--|---|---|

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины | Недели | Лекции/ Практик. (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                                 | 1-6    | 8/8/0   |   | 25                            | Зд-8                                | 3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-5,<br>У-ПК-5,<br>В- |

|   |   |      |         |  |    |       |   |
|---|---|------|---------|--|----|-------|---|
| 2 | Часть 2                                     | 6-16 | 8/8/0   |  | 25 | Зд-16 | ПК-5<br>3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-5,<br>У-ПК-5,<br>В-ПК-5 |
|   | <i>Итого за 1 Семестр</i>                   |      | 16/16/0 |  | 50 |       |   |
|   | <b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b> |      |         |  | 50 | Э     | 3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-5,<br>У-ПК-5,<br>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 |
|-------------|---------------------|
| Зд          | Задание (задача)    |
| Э           | Экзамен             |

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели     | Темы занятий / Содержание  | Лек., час.             | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|------------|--|------------------------|----------------|------------|
|            | <i>1 Семестр</i>   | 16                     | 16             | 0          |
| <b>1-6</b> | <b>Часть 1</b>   | 8                      | 8              | 0          |
| 1          | <b>Введение</b><br>Введение. История развития масс-спектрометрии. Характеристики масс-спектрометров. Состав приборов и назначение его элементов. | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 2              | 0          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |
|            |  | 0                      | 0              | 0          |
| 2          | <b>Разделение ионов по времени пролета.</b><br>Разделение ионов по времени пролета. Типы времяпролетных анализаторов: прямопролетные, с          | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 2              | 0          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |

|        |  |                        |   |   |
|--------|--|------------------------|---|---|
|        | отражающими полями, с аксиально-симметричными электрическими полями. Прямопролетные масс-анализаторы: принцип работы, факторы, влияющие на разрешающую способность.  | 0                      | 0 | 0 |
| 3      | <b>Пространственно-временная фокусировка.</b><br>Пространственно-временная фокусировка. Источники ионов времяпролетных анализаторов с импульсным режимом работы и режимом накопления. Способы увеличения чувствительности времяпролетных масс-спектрометров. Стробоскопирование выходных сигналов.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|        |  | 2                      | 2 | 0 |
|        |  | Онлайн                 |   |   |
|        |  | 0                      | 0 | 0 |
| 4      | <b>Источники ионов с электронным ударом.</b><br>Источники ионов с электронным ударом. Принцип построения источников и их конструктивные особенности. Физические процессы в источниках ионов времяпролетных масс-спектрометров. Режимы работы источников: импульсный режим и режим накопления. Достоинства и недостатки разных режимов работы источников. Области применения источников ионов с электронным ударом.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|        |  | 2                      | 2 | 0 |
|        |  | Онлайн                 |   |   |
|        |  | 0                      | 0 | 0 |
| 5      | <b>Временная фокусировка ионов по энергиям во времяпролетных масс-спектрометрах.</b><br>Временная фокусировка ионов по энергиям во времяпролетных масс-спектрометрах. Времяпролетные масс-спектрометры с отражающими полями. Теория временной фокусировки ионов по энергиям. Временная фокусировка по энергиям второго порядка. Масс-анализатор типа масс-рефлектрон.  | Всего аудиторных часов |   |   |
|        |  | 0                      | 0 | 0 |
|        |  | Онлайн                 |   |   |
|        |  | 0                      | 0 | 0 |
| 6-16   | <b>Часть 2</b>   | 8                      | 8 | 0 |
| 6      | <b>Ионные зеркала с однородными и аксиально-симметричными полями.</b><br>Ионные зеркала с однородными и аксиально-симметричными полями. Трансмиссия анализатора и способы ее повышения. Времяпролетные масс-спектрометры с бессеточными зеркалами. Линейный масс-рефлектрон. Масс-рефлектроны фонтанного типа.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|        |  | 2                      | 2 | 0 |
|        |  | Онлайн                 |   |   |
|        |  | 0                      | 0 | 0 |
| 7      | <b>Времяпролетные масс-спектрометры с аксиально-симметричными электрическими полями.</b><br>Времяпролетные масс-спектрометры с аксиально-симметричными электрическими полями. Принцип фокусировки по энергиям. Теория временной фокусировки ионов по энергиям. Временные aberrации анализаторов с аксиально-симметричными электрическими полями.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|        |  | 2                      | 2 | 0 |
|        |  | Онлайн                 |   |   |
|        |  | 0                      | 0 | 0 |
| 8      | <b>Детектирование ионов и регистрация масс-спектров.</b><br>Детектирование ионов и регистрация масс-спектров. Техника измерений масс-спектров во времяпролетных масс-спектрометрах. Способы детектирования ионов, Вторично-электронные умножители и требования к ним. Умножители с дискретными и непрерывными динодами. Микроканальные умножители. Коэффициент усиления, динамический диапазон, мертвое время, время восстановления электронных умножителей. | Всего аудиторных часов |   |   |
|        |  | 2                      | 2 | 0 |
|        |  | Онлайн                 |   |   |
|        |  | 0                      | 0 | 0 |
| 9 - 16 | <b>Выполнение лабораторных работ</b><br>лабораторная работа 1,2,3,4.   | 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>1 Семестр</i>   |
| 1      | <b>Введение</b><br>Введение. История развития времяпролетной масс-спектрометрии. Характеристики времяпролетных масс-спектрометров. Состав времяпролетных приборов и назначение его элементов.  |
| 2      | <b>Разделение ионов по времени пролета.</b><br>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.  |
| 3      | <b>Пространственно-временная фокусировка.</b><br>Пространственно-временная фокусировка. Источники ионов времяпролетных анализаторов с импульсным режимом работы и режимом накопления. Способы увеличения чувствительности времяпролетных масс-спектрометров. Стробоскопирование выходных сигналов.   |
| 4      | <b>Источники ионов с электронным ударом.</b><br>Источники ионов с электронным ударом. Принцип построения источников и их конструктивные особенности. Физические процессы в источниках ионов времяпролетных масс-спектрометров. Режимы работы источников: импульсный режим и режим накопления. Достоинства и недостатки разных режимов работы источников. Области применения источников ионов с электронным ударом. |
| 5      | <b>Временная фокусировка ионов по энергиям во времяпролетных масс-спектрометрах.</b><br>Временная фокусировка ионов по энергиям во   |

|  |   |
|--|---|
|  | времяпролетных масс-спектрометрах. Времяпролетные масс-спектрометры с отражающими полями. Теория временной фокусировки ионов по энергиям. Временная фокусировка по энергиям второго порядка. Масс-анализатор типа масс-рефлектрон.  |
|  | <b>Ионные зеркала с однородными и аксиально-симметричными полями.</b><br>Ионные зеркала с однородными и аксиально-симметричными полями. Трансмиссия анализатора и способы ее повышения. Времяпролетные масс-спектрометры с бессеточными зеркалами. Линейный масс-рефлектрон. Масс-рефлектроны фонтанного типа.  |
|  | <b>Времяпролетные масс-спектрометры с аксиально-симметричными электрическими полями.</b><br>Времяпролетные масс-спектрометры с аксиально-симметричными электрическими полями. Принцип фокусировки по энергиям. Теория временной фокусировки ионов по энергиям. Временные aberrации анализаторов с аксиально-симметричными электрическими полями.  |
|  | <b>Детектирование ионов и регистрация масс-спектров.</b><br>Детектирование ионов и регистрация масс-спектров. Техника измерений масс-спектров во времяпролетных масс-спектрометрах. Способы детектирования ионов, Вторично-электронные умножители и требования к ним. Умножители с дискретными и непрерывными диодами. Микроканальные умножители. Коэффициент усиления, динамический диапазон, мертвое время, время восстановления электронных умножителей. |

## 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              | Э, Зд-8, Зд-16                    |
|             | У-ПК-1              | Э, Зд-8, Зд-16                    |
|             | В-ПК-1              | Э, Зд-8, Зд-16                    |



|      |        |                |
|------|--------|----------------|
| ПК-5 | З-ПК-5 | Э, Зд-8, Зд-16 |
|      | У-ПК-5 | Э, Зд-8, Зд-16 |
|      | В-ПК-5 | 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-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 Г 19 Аналитическая химия. Методы разделения веществ и гибридные методы анализа : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Б 90 Методы и достижения современной аналитической химии : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2021
3. ЭИ С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008
4. 543 С56 Современные методы масс-спектрометрии : лабораторный практикум, А. С. Фролов [и др.], Москва: МИФИ, 2008
5. 53 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:

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

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

## **8. 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)
4. Дрейфовый спектрометр ионной подвижности (А-107)

## **9. 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.

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

#### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Курс разбит на 2 раздела, включающие в себя такие темы, как: Основные направления и этапы развития масс-спектрометрии. Принцип работы масс-спектральных устройств. Разделяющие свойства электрических и магнитных полей. Методы ионизации и источники ионов, предъявляемые к ионным источникам. Основные характеристики источников. Источники ионов с электронным ударом. Принцип Франка-Кондона. Физические процессы, протекающие в ионных источниках с электронным ударом. Формирование ионных пучков. Магнитные анализаторы ионных пучков. Секторные анализаторы с ортогональным и неортогональным входом ионных пучков, прямолинейными и криволинейными границами. Ионно-оптические параметры и характеристики магнитных анализаторов. Разрешающая способность. Масс-спектрометры с двойной фокусировкой. Принцип фокусировки по энергиям ионов. Ионно-оптические характеристики анализаторов. и др.

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.

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

#### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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

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

Автор(ы):

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

Потешин Сергей Станиславович, к.т.н.