

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Физические методы исследований
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Системная и синтетическая биология Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра физической химии
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 240 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 120 час.

Самостоятельная работа: 225 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 495, всего зач. ед.: 11

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составили:

И.А. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

А.В. Максимычев, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

С.И. Ткаченко, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор

Е.Н. Кукаев, канд. физ.-мат. наук, доцент

В.В. Бревнов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физической химии 04.06.2020

## Аннотация

Курс является связующим звеном между общеинститутским и факультетским образовательными циклами, наглядно демонстрирующим возможности применения знаний из общей и теоретической физики, прикладной математики к практическим задачам исследования молекулярных систем, нано- и биотехнологии. Дисциплина включает в себя лекции, семинары и лабораторный практикум. На занятиях студенты знакомятся с масс-спектрометрией, газо-адсорбционной и жидкостной хроматографией, молекулярной спектроскопией, лазерной техникой, спектроскопией электронного и ядерного магнитного резонанса, атомно-силовой микроскопией. Проводится практическая подготовка к дальнейшей самостоятельной работе в области физики живых систем, биофизики, биоинформатики, энергетики, физики плазмы, материаловедении, технологии наноматериалов.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- ознакомление обучающихся с основными принципами современных физических методов исследования молекулярных систем и их практическая подготовка к дальнейшей самостоятельной работе в области энергетики, физики живых систем, материаловедении, технологии наноматериалов;
- ознакомление студентов с основными физическими и физико-химическими методами количественных и качественных исследований объектов (веществ, молекулярных систем, материалов, сред, плазмы и др.)

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний и представлений о фундаментальных законах и основных методах исследования физико-химических свойств и структуры сложных веществ, в том числе смесей биологического происхождения, а также овладение методологией основных методов физических исследований физических химических и биологических объектов;
- ознакомление студентов с принципами и подходами современных физических методов исследования молекулярных систем;
- приобретение студентами теоретических знаний, практических умений и навыков в области современных физических методов исследования молекулярных систем;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований различных систем.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)

ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- базовую терминологию, относящуюся к физико-химическим методам исследования,
- классификацию физических методов исследования,
- основные понятия и законы, лежащие в основе различных методов,
- основные характеристики измеряемых величин и измерительных систем,
- численные порядки величин, характерные для различных разделов физики, химии, химической физики,
- принципы и методы построения сложных измерительных систем,
- понятия "шум", "помеха", "погрешность измерения", виды шумов и погрешностей, стратегии измерения,
- различные физические распределения,
- технические основы создания измерительных систем в рамках программы дисциплины,
- методы обработки экспериментальных данных,
- методы исследования равновесных и неравновесных систем,
- основные физические методы исследования молекулярных систем, их характеристики.

уметь:

- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- использовать статистические методы расчёта термодинамических величин;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- обеспечить и оценить достоверность получаемых результатов;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
- планировать оптимальное проведение сложного эксперимента;
- получить наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- выяснить источники погрешностей проведённых измерений и рассчитать погрешность окончательных результатов;
- на этапе измерений, до обработки результатов измерений современными компьютерными методами, от руки быстро и грамотно построить необходимые графики, которые покажут, правильно ли работала аппаратура, разумно ли выбран диапазон измерений и т.п.;
- пользоваться справочной литературой по химической физике научного и прикладного характера для быстрого поиска необходимых физико-химических данных и понятий;
- определять количественные параметры химических реакций, процессов и объектов в зависимости от заданных экспериментальных условий.

владеть:

- навыками самостоятельной работы в лаборатории на сложном экспериментальном оборудовании;
- навыками освоения большого объёма информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- элементарными навыками работы в современной физико-химической лаборатории;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления их с теоретическими и табличными данными.
- основными статистическими методами определения термодинамических величин различных систем для решения задач макроскопической физики;
- методами составления и решения кинетических уравнений для реагирующих систем.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост.

		лекции	семинары	лаборат. работы	работа
1	Общие проблемы измерений	6	4	5	22
2	Электрические цепи для передачи импульсных сигналов	6	3	10	22
3	Хроматография	6	8	15	20
4	Измерение давления и вакуумная техника	6	7	15	20
5	Масс-спектрометрия	6	8	15	21
6	Оптическая спектроскопия	10	10	15	34
7	Лазерная спектроскопия	6	6	15	28
8	Измерение температуры	4	4	15	24
9	Радиоспектроскопия	10	10	15	34
Итого часов		60	60	120	225
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		495 час., 11 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 6 (Весенний)

##### 1. Общие проблемы измерений

Методы измерений: отклонений, разностный, нулевой. Стратегии измерений: когерентные и случайные выборки, мультиплексирование. Погрешности аналоговых и цифровых измерительных устройств. Систематические и случайные ошибки. Источники ошибок. Помехи, шумы. Характеристики измерительных систем: чувствительность, порог обнаружения, разрешающая способность, динамический диапазон, нелинейность, полоса пропускания. Статистические и спектральные характеристики случайных величин. Функция распределения случайной величины. Преобразование сигналов. Частотный спектр. Преобразование Фурье.

##### 2. Электрические цепи для передачи импульсных сигналов

Цепи с сосредоточенными и распределенными параметрами. Импеданс. Описание распространения сигналов в длинных линиях, телеграфные уравнения. Волновые процессы в линии передачи без потерь. Фазовая скорость. Волновое сопротивление. Линия с малыми потерями. Неискажающая линия. Коэффициент отражения. Интерференция падающей и отраженной волн. Согласование линий. Аналог закона Ома для длинных линий. Распространение волн в идеальных линиях и в линиях с потерями, коэффициент затухания и фазовая постоянная. Длинные линии для передачи сигналов различной частоты. Электрические и диэлектрические волноводы.

##### 3. Хроматография

Хроматографическое разделение смеси веществ. Физическая и химическая адсорбция. Адсорбционно-десорбционное равновесие. Изотермы адсорбции. Изотермы Ленгмюра, Генри, полислоной адсорбции. Кинетика адсорбции-десорбции в потоке газа-носителя. Концепция теоретических тарелок. Закон распределения Нернста. Ширина и форма хроматографического пика. Принципиальное устройство и схема работы хроматографа. Аналитические характеристики хроматографической системы и отдельных её элементов. Набивные и капиллярные хроматографические колонки, их параметры. Оптимальные размеры и разрешение хроматографической колонки. Устройство газового хроматографа. Детекторы. Зависимость времени удерживания от температуры. Хроматография с программируемым нагревом.

Жидкостная хроматография. Градиентное элюирование. Устройство жидкостного хроматографа. Детекторы в жидкостной хроматографии.

#### 4. Измерение давления и вакуумная техника

Физические границы низкого, высокого и сверхвысокого вакуума. Различные режимы течения газа. Процессы переноса при различных давлениях и температурах: диффузия, эффузия (температурная транспирация), вязкость, теплопроводность. Проводимость элементов вакуумных систем. Методы получения вакуума.

Классификация вакуумных насосов по принципу их действия. Напуск газа в вакуумную камеру. Измерение давления в вакуумных системах. Механические, пьезоэлектрические, тепловые и ионизационные манометры, принципы их действия. Физические ограничения диапазонов применимости различных манометров. Течи в вакуумной системе. Влияние натекания на скорость откачки и предельный вакуум. Методы обнаружения течей. Стационарные и импульсные методы получения высоких давлений. Методы измерения высоких давлений.

#### 5. Масс-спектрометрия

Метод масс-спектрометрического анализа. Единицы измерения массы, применяемые в масс-спектрометрии. Блок-схема масс-спектрометра. Аналитические характеристики масс-спектрометра: точность измерения масс, разрешающая способность, динамический диапазон, порог детектирования, чувствительность. Методы ионизации: ионизация электронным ударом, химическая ионизация, фотоионизация, полевая ионизация, полевая десорбция, бомбардировка быстрыми атомами, матричная лазерная ионизация десорбцией (MALDI), электроспрей. Молекулярные, осколочные, квазимолекулярные ионы. Метастабильные ионы. Методы детектирования ионов. Масс-анализаторы: принципы действия, разрешающая способность. Секторный магнитный масс-анализатор, квадрупольный масс-анализатор, квадрупольные ионные ловушки, времяпролетный масс-анализатор, масс-спектрометр ионно-циклотронного резонанса с преобразованием Фурье. Решение структурных задач методами масс-спектрометрии. Tandemная масс-спектрометрия. Селекция ионов. Методы фрагментации ионов. Комбинации масс-спектрометра с жидкостным и газовым хроматографами. Применения масс-спектрометрии для решения задач биологии, химии, анализа окружающей среды, фармакологии, построения систем безопасности.

Семестр: 7 (Осенний)

#### 6. Оптическая спектроскопия

Поглощение света веществом. Закон Ламберта–Бугера–Бэра. Спектры поглощения, испускания и рассеяния. Радиационное время жизни и истинное время жизни возбужденного состояния. Интенсивность спектральных линий. Форма и ширина спектральной линии. Естественное, доплеровское и столкновительное уширение спектральных линий. Аппаратная ширина линии. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка. Яркостная, цветовая и радиационная пирометрия. Источники излучения в различных спектральных диапазонах. Примеры источников равновесного и неравно-весного излучения.

Приемники излучения на основе внешнего фотоэффекта. Принцип действия фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Приемники излучения на основе внутреннего фотоэффекта. Шумы и порог чувствительности детекторов электромагнитного излучения. Квантовый выход. Приемники излучения для различных спектральных диапазонов. Классы спектральных приборов: спектроскопы, спектрографы, монохроматоры, полихроматоры. Диспергирующие элементы спектральных приборов: призма, дифракционная решетка, интерферометр. Разрешающая способность спектральных приборов.

Спектральные диапазоны и соответствующие им степени свободы в молекулярных системах. Вращательные спектры и микроволновая спектроскопия. Модель жесткого ротатора. Колебательные спектры и инфракрасная спектроскопия. Гармонический и ангармонический осцилляторы. Колебания многоатомных молекул. Колебательно-вращательные переходы в двухатомной молекуле. Электронные переходы и спектроскопия в видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Диссоциационный предел спектра. Определение энергии диссоциации. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Спектральные методы измерения температуры в неравновесных системах.

## 7. Лазерная спектроскопия

Когерентное оптическое усиление в активной среде. Пороговая инверсная заселенность уровней. Устройство лазера. Газовые, твердотельные, жидкостные лазеры. Модовый состав лазерного излучения. Перестройка частоты лазерного излучения. Генерация коротких импульсов: методы модуляции добротности и самосинхронизации мод. Преимущества применения лазеров в качестве источников света в спектроскопии. Абсорбционный, внутривибраторный, оптико-акустический и флуоресцентный методы лазерной спектроскопии.

## 8. Измерение температуры

Понятие температуры. Диапазон температур в химической физике. Первичные термометры. Контактные методы измерения температуры (термометры расширения, термометр сопротивления, термопара). Бесконтактные методы измерения температуры. Равновесное излучение. Формула Планка. Яркостная, цветовая и радиационная пирометрия. Понятие температуры в неравновесных системах на примере плазмы тлеющего разряда. Методы измерения температуры электронов и тяжелых частиц.

## 9. Радиоспектроскопия

Магнитные моменты электрона, ядер и атомов. ЯМР-активные ядра. Спин в постоянном магнитном поле. Магнитный момент и Ларморова прецессия. Поглощение энергии ВЧ-поля системой ядерных спинов. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса. Химический сдвиг: константа экранирования, единицы измерения, эквивалентные ядра. Спин-спиновое взаимодействие, спектры первого порядка, простые правила интерпретации сверхтонкой структуры. Применение метода ЯМР для исследования структуры молекул. Обменные явления: медленный и быстрый обмен. Принципиальная схема ЯМР-спектрометра. Требования к однородности постоянного магнитного поля; способы минимизации аппаратурного уширения линий. Интенсивность и ширина линий спектра ЯМР. Продольная (спин-решеточная) и поперечная (спин-спиновая) релаксация. Основы динамических методов ЯМР: 90°- и 180°-импульсы; фурье-спектроскопия ЯМР.

Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса. Сверхтонкая структура спектра ЭПР. Структурные и динамические характеристики вещества, определяемые методами ЭПР. Принципиальная схема ЭПР-спектрометра. Особенности регистрации сигналов ЭПР: волноводы и резонаторы, низкочастотная модуляция поляризуемого магнитного поля, запись спектров в виде производной. Сопоставление частотных диапазонов ЭПР и ЯМР.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

Учебные лаборатории, оснащенные средствами измерений и вспомогательным оборудованием:

- Спектрофотометр SPECORD UV-VIS, термостат
- Спектрофотометр BRUKER IFS-42
- Экспериментальная установка на основе масс-спектрометра MKS-Instruments E-Vision
- Экспериментальная установка на основе ЭПР спектрометра
- Атомно-силовой микроскоп NT-MDT
- Экспериментальная установка, включающая газоразрядную трубку, насос 2НВР-5ДМ, вольтметр, амперметр, источник питания УИП-2
- Экспериментальная установка, включающая газоразрядную трубку, насос 2НВР-5ДМ, вольтметр, манометр, систему питания разряда, систему охлаждения, монохроматор с системой управления
- Газовый хроматограф "Цвет-800"
- Установка «СОРБИ»
- Весы, дистиллятор, шкаф сушильный, шкаф вытяжной.

Самостоятельная работа студента обеспечивается доступностью всех учебных пособий по курсу на сайте факультета и наличием компьютеров в каждой комнате общежития, а также наличием учебных пособий и методической литературы в библиотеке МФТИ и в лабораторном практикуме департамента молекулярной и биологической физики.

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Методы исследования свойств физико-химических систем [Текст] : учеб.пособие / Е.Л. Франкевич; М-во высш. и сред.обр. РСФСР; Моск. физико-техн. ин-т (гос.ун-т .— М. : Изд-во МФТИ, 1980 .— 52 с.
2. Физические методы исследования [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. Л. Франкевич ; М-во высш. и сред. обр. РСФСР ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Изд-во МФТИ, 1978 .— 119 с.
3. Физические методы исследования [Текст] : учеб.пособие / Е.Л. Франкевич; М-во высш. и сред.обр. РСФСР; Моск. физико-техн. ин-т (гос.ун-т.) .— М. : Изд-во МФТИ, 1986 .— 92с.

### Дополнительная литература

1. Основы молекулярной спектроскопии [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Кудрявцев ; М-во образования РФ, МФТИ .— М. : ВЭПИ, 1990 .— 158 с.
2. Методы магнитного резонанса [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Родин ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2004 .— 95 с.
3. Физика газового разряда [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Ю. П. Райзер .— 3-е изд., перераб. и доп. — Долгопрудный : Интеллект, 2009 .— 736 с.
4. Лекции по квантовой электронике [Текст] / Н. В. Карлов .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1988 .— 336 с.
5. Введение в физику плазмы [Текст] / Б. М. Смирнов; учеб. пособие для вузов - М.Наука,1982
6. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса [Текст]. Ч. 1, Вводный курс / Ю. А. Устынюк - М.Техносфера,2016
7. Методы исследований в экспериментальной физике [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. И. Пергамент .— М. : Интеллект, 2010 .— 304 с.
8. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды [Текст]/А. Т. Лебедев , -М., Техносфера, 2013



Рекомендованная литература для самостоятельного изучения:

- Бенуэлл К. Основы молекулярной спектроскопии / пер. с англ. Е. Б. Гордона. М.: Мир, 1985. 384 с.
- Драго Р. Физические методы в химии: в 2 т.; пер. с англ. А. А. Соловьянова ; под ред. О. А. Реутова. М.: Мир, 1981 . 422 с.
- Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера, 2007.
- Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: КомКнига, 2006.
- Звелто О. Принципы лазеров. СПб.: Издательство «Лань», 2008.
- Демтредер В. Современная лазерная спектроскопия. Долгопрудный: Интеллект, 2014.
- Лебедева В.В. Экспериментальная оптика: Оптические материалы. Источники, приемники, фильтрация оптического излучения. Спектральные приборы. Лазеры, лазерная спектроскопия М.: Изд-во МГУ, 1994. 368 с.
- Курбатов Л.Н. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра. М.: Физматкнига, 2013. 400 с.
- Сердюк И., Заккаи Н., Заккаи Дж. Методы в молекулярной биофизике. Структура, функция, динамика: уч. пособие. В 2-х томах. Красноярск: Издательство КДУ, 2009.
- Сысоев Ф.Ф., Чупахин М.С. Введение в масс-спектрометрию. М.: Атомиздат, 1977.
- Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2009 . 493 с.
- Розанов Л.Н. Вакуумная техника. М.: Высшая школа, 1990. 320 с.
- Айвазов Б.В. Основы газовой хроматографии. М.: Высшая школа, 1977.
- Дероум Э. Современные методы ЯМР для химических исследований. М.: Мир, 1992.
- Попов В.П. Основы теории цепей. М.: Высшая школа, 2007 . 575 с.
- Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 1988. 440 с.
- Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Гардарики, 1999. 638 с.
- Харкевич А.А. Теоретические основы радиосвязи. М.: Гостехиздат, 1957.
- Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. М.Мир, 1985.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

База данных Национального института стандартизации и технологии США по свойствам соединений. - <http://webbook.nist.gov/chemistry/>.

Материалы к лекциям и семинарским занятиям <http://mipt.ru/dmcp/student/files/fizmetody/>.

Материалы к лекциям и семинарским занятиям <http://fizmetody.mozello.ru/>.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

При подготовке и чтении лекций может потребоваться следующее программное обеспечение: MS Word, MS Power Point, MS Visio, MathCad. При самостоятельном изучении учебного материала необходимо наличие установленных: Acrobat Reader, DJVU Reader.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

Для самостоятельной работы и подготовки к экзамену обучающимся рекомендуется для изучения следующая литература:

1. Чижик В.И. Ядерная магнитная релаксация. СПб.: Изд. С.-Петербургского университета, 2004.
2. Бенуэлл К. Основы молекулярной спектроскопии. М: Мир, 1985.
3. Сердюк И., Заккаи Н., Заккаи Дж. Методы в молекулярной биофизике. Структура, функция, динамика (комплект из 2 книг) КДУ, 2009.
4. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды. Техносфера, 2013.
5. Устынюк Ю.А. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса. Часть 1 (вводный курс). Техносфера, 2016.
6. Конюхов В.Ю. Хроматография Лань, 2016.
7. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. М.: Постмаркет, 2000.
8. Дубнищев Ю.Н. Колебания и волны. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2004.
9. Семенов К.Н. Проблемы и перспективы современной химии высоких давлений. СОЖ, 2000, №5, с.58-64.
10. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: КомКнига, 2006.
11. Отто М. Современные методы аналитической химии. Т. 1, 2. М.: Техносфера, 2004.

Для самостоятельной работы обучающимся рекомендуется для изучения следующая дополнительная литература по разделам:

#### ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ

1. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. М.: Мир, 1985.
2. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Т. 1. М.: Мир, 1983.

#### ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЦЕПЯМ

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т. 1. М.: Мир, 1993.
2. Харкевич А.А. Теоретические основы радиосвязи. М.: ГИТТЛ, 1957.
3. Дубнищев Ю.Н. Колебания и волны. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2004.
4. Шимони К. Физическая электроника М. Энергия, 1977.
5. Рамо С., Уиннери В.Д. Поля и волны в современной радиотехнике. М. Гостехиздат, 1948.

#### ИЗМЕРЕНИЕ И ГЕНЕРАЦИЯ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

1. Драбович К.Н. Плененные атомные частицы в действии. //УФН. 1989. Т.158, С. 500.

2. Тошек П.Э. Атомные частицы в ловушках. //УФН. 1989. Т.158, С. 451.

#### ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

1. Грошковский Я. Техника высокого вакуума. М.: Мир, 1975.
2. Пипко А.И., Плисковский В.Я. Основы вакуумной техники. М.: Энергоатом-издат, 1992.
3. Бахтизин Р.З. Сканирующая туннельная микроскопия – новый метод изучения поверхности твердых тел. СОЖ, 2000, №11, 83-89.
4. Вакуумная техника. Справочник. М.: ``Машиностроение'', 1992.

#### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

1. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных измерений. М.: Энергоатомиздат, 1992.
2. Смирнов Б.М. Введение в физику плазмы. М.: Наука, 1982.
3. Методы исследования плазмы. Спектроскопия, лазеры, зонды / под ред. В. Лохте-Хольгрёвен. М.: Мир, 1971.
4. Кинджери В. Измерения при высоких температурах. М.: Metallurgizdat, 1963.

#### МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ

1. Сысоев Ф.Ф., Чупахин М.С. Введение в масс-спектрометрию. М.: Атомиздат, 1977.
2. Бернард Дж. Современная масс-спектрометрия. М.: ИЛ, 1957.

#### ХРОМАТОГРАФИЯ

1. Лейбниц Э., Штруппе Х.Г. Руководство по газовой хроматографии. Т. 1, 2. М.: Мир, 1988.
2. Айвазов Б.В. Основы газовой хроматографии. М.: Высшая школа, 1977.
3. Жуховицкий О.А. Основы жидкостной хроматографии. М.: Мир, 1973.

#### МАГНИТНАЯ РАДИОСПЕКТРОСКОПИЯ

1. Маклочан К.А. Магнитный резонанс. М.: Химия, 1976.
2. Фаррар Т., Беккер Э. Импульсная и фурье–спектрометрия ЯМР. М.: Мир, 1973.
3. Сликтер Ч. Основы теории магнитного резонанса. М.: Мир, 1967.
4. Вертц Дж., Болтон Дж. Теория и практические приложения метода ЭПР. М.: Мир, 1975.
5. Гюнтер Х. Введение в курс спектроскопии ЯМР. М.: Мир, 1984.
6. Воловенко Ю.М., Карцев В.Г., Комаров И.В., Туров А.В., Хиля В.П. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса для химиков. М.: МБФНП, 2011.

#### ОПТИЧЕСКАЯ (В ТОМ ЧИСЛЕ ЛАЗЕРНАЯ) СПЕКТРОСКОПИЯ

1. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.: Мир, 1986.
2. Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1969.
3. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера, 2007.
4. Звелто О. Принципы лазеров. 4-е изд. СПб.: Издательство «Лань», 2008.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Системная и синтетическая биология Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра физической химии
<b>курс:</b>	<u>3</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

7 (осенний) - Экзамен

**Разработчики:**

И.А. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

А.В. Максимычев, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

С.И. Ткаченко, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор

Е.Н. Кукаев, канд. физ.-мат. наук, доцент

В.В. Бревнов, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины

данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физические методы исследований» обучающийся должен:

### знать:

- базовую терминологию, относящуюся к физико-химическим методам исследования,
- классификацию физических методов исследования,
- основные понятия и законы, лежащие в основе различных методов,
- основные характеристики измеряемых величин и измерительных систем,
- численные порядки величин, характерные для различных разделов физики, химии, химической физики,
- принципы и методы построения сложных измерительных систем,
- понятия "шум", "помеха", "погрешность измерения", виды шумов и погрешностей, стратегии измерения,
- различные физические распределения,
- технические основы создания измерительных систем в рамках программы дисциплины,
- методы обработки экспериментальных данных,
- методы исследования равновесных и неравновесных систем,
- основные физические методы исследования молекулярных систем, их характеристики.

### уметь:

- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- использовать статистические методы расчёта термодинамических величин;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- обеспечить и оценить достоверность получаемых результатов;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
- планировать оптимальное проведение сложного эксперимента;
- получить наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- выявить источники погрешностей проведённых измерений и рассчитать погрешность окончательных результатов;
- на этапе измерений, до обработки результатов измерений современными компьютерными методами, от руки быстро и грамотно построить необходимые графики, которые покажут, правильно ли работала аппаратура, разумно ли выбран диапазон измерений и т.п.;
- пользоваться справочной литературой по химической физике научного и прикладного характера для быстрого поиска необходимых физико-химических данных и понятий;
- определять количественные параметры химических реакций, процессов и объектов в зависимости от заданных экспериментальных условий.

### владеть:

- навыками самостоятельной работы в лаборатории на сложном экспериментальном оборудовании;
- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- элементарными навыками работы в современной физико-химической лаборатории;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления их с теоретическими и табличными данными.
- основными статистическими методами определения термодинамических величин различных систем для решения задач макроскопической физики ;
- методами составления и решения кинетических уравнений для реагирующих систем.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

Текущий контроль состоит в решении и сдаче домашних заданий, написании контрольных работы, выполнении и защите лабораторных работ.

**Порядок проведения защиты домашнего задания**

Для допуска к защите задания обучающийся должен решить все задачи из задания. Процедура защиты задания проходит специально отведенное время в форме коллоквиума по темам избранных задач. В процессе пояснения решения задач из задания преподаватель может задавать уточняющие вопросы из соответствующего раздела по программе курса.

**Порядок выполнения и защиты лабораторной работы**

Для начала выполнения лабораторной работы обучающийся в начале занятия обязан пройти процедуру допуска с обязательной проверкой теоретических основ изучаемого метода исследования и правил техники безопасности. В случае, если обучающийся не продемонстрировал необходимый минимум знаний, то он не допускается к выполнению лабораторной работы, а продолжает теоретическую подготовку к выполнению работы.

Процедура защиты лабораторных работ осуществляется в период лабораторных занятий по расписанию. В процессе защиты лабораторной работы преподаватель может задавать уточняющие вопросы из соответствующего раздела по программе курса.

Более подробные критерии оценивания, методические рекомендации и перечень типовых контрольных заданий приведен в прикрепленном файле.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Примеры задач и вопросов контрольных работ и домашних заданий, вопросов к экзамену приведены в прикрепленном файле.

**Пример экзаменационного билета:**

1. Измерение давления в вакуумных системах. Принципы действия манометров различного типа. Физические ограничения применимости различных манометров.
2. Неравновесные системы. Спектральные методы измерения температуры в неравновесных системах.
3. В масс-сепараторе, представляющим собой масс-спектрометр с секторным магнитным полем производится разделение изотопов  $^{235}\text{U}^{+}/^{238}\text{U}^{+}$ . Ускоряющая разность потенциалов равна 10 кВ. Магнитное поле в масс-сепараторе равно 1 кГс. В область ионного источника производится напуск из балластного объема, давление в котором равно  $P_0=10^{-3}$  Торр. Какая должна быть объемная скорость откачки у насоса, откачивающего вакуумную камеру масс-анализатора, если он подключен к вакуумной камере через трубопровод, диаметр которого равен 10 см, длина – 60 см. Проводимость всей системы, через которую происходит натекание газа в вакуумную камеру, можно считать равной.

1. Принципиальная схема ЯМР-спектрометра. Требования к однородности постоянного магнитного поля. Способы минимизации аппаратного уширения линий. Интенсивность и ширина линий в спектрах ЯМР.
2. Виды жидкостной хроматографии. Изократическое и градиентное элюирование. Устройство жидкостного хроматографа. Детекторы в жидкостной хроматографии.
3. Оцените разрешающую способность времяпролетного масс-спектрометра в диапазоне молекулярных масс 100 а. е. м., если длина дрейфового пространства  $L = 50$  см, ускоряющая разность потенциалов  $U = 2$  кВ, а для детектирования сигналов используется ВЭУ с временным разрешением 1 нс. Какой фактор в действительности будет ограничивать разрешение масс-спектрометра?

Критерии оценивания

См. прикрепленный файл

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Оценки по дифференцированным зачетам в 6 и 7 семестрах выставляются на основе усреднения оценок за домашние задания, семестровую контрольную работу и среднюю оценку по лабораторным работам.

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса из программы курса и одну задачу.

Для подготовки к устному ответу обучающемуся отводится от 45 до 60 минут. Во время подготовки к ответу студенту запрещено чем-либо пользоваться кроме письменных принадлежностей. Использование электронных устройств (в том числе средств сотовой радиосвязи) не допускается.

В процессе ответа разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде. Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.



### 3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физические методы исследований» в **6 семестре** осуществляется в форме дифференциального зачёта.

Зачёт выставляется в конце семестра по результатам текущей работы. Текущая работа в течение семестра включает в себя следующие этапы:

- защита домашних заданий и проверка теоретических знаний студента (список задач для самостоятельного решения выдается обучающимся в начале семестра на первом семинарском занятии),
- выполнение и защита лабораторных работ,
- семестровая контрольная работа.

Процедура защиты заданий проходит в специально отведенное время в форме коллоквиума по темам избранных задач. В процессе пояснения решения задач из задания преподаватель может задавать уточняющие вопросы из соответствующего раздела по программе курса.

Примеры задач из домашнего задания и дополнительных теоретических и уточняющих вопросов приведены ниже.

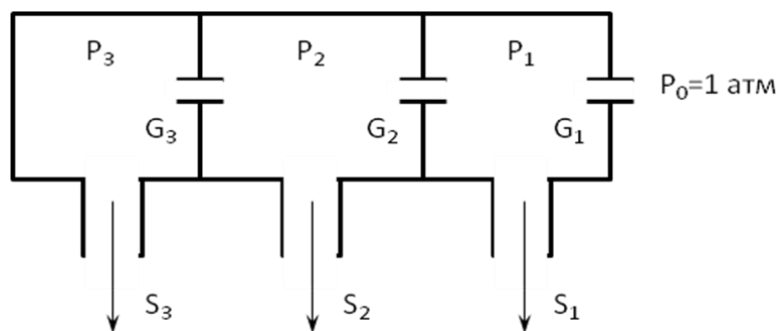
1. Определите минимальную мощность излучения, которую еще можно зарегистрировать с помощью фотоячейки без учета ее собственных шумов. Можно считать, что один фотон выбивает один электрон. Сопротивление резистора  $R = 100$  Ом. Паразитная емкость  $C = 1$  пФ, длина волны падающего света 500 нм. Фотокатод изготовлен из материала, работа выхода и постоянная Ричардсона для которого равны 0,85 эВ и  $1,3 \text{ A}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^2)$ ; площадь фотокатода равна  $1 \text{ cm}^2$ .

*Примеры вопросов:*

- Изобразите электрическую схему подключения фотоячейки, реализуемую в рамках данной задачи.
  - Какие виды электрических шумов могут существовать в элементах данной электрической схемы?
  - Какова природа шума Шоттки?
2. Многократное определение энергии адсорбции молекул дало результаты: 46, 48, 44, 38, 45, 47, 58, 65, 44, 45, 43 кДж/моль. Значения 58 и 65 кДж/моль кажутся в этом ряду неправдоподобно большими. Считая распределение результатов нормальным, определите, следует ли эти величины исключить из статистики как ошибочные, если мы задаемся уровнем значимости 10%.

*Примеры вопросов:*

- В чем состоит правило  $3\sigma$ ?
  - Что такое дисперсия и математическое ожидание случайной величины?
  - Запишите распределение Пуассона. Какие события описывает распределение Пуассона? Приведите пример.
3. В системе транспорта ионов масс-спектрометра используется так называемая *постадийная откачка*, которая представляет собой последовательность вакуумных камер, разделённых диафрагмами.



В вакуумной камере 1 давление равно  $P_1 = 1$  Торр. Камеры 1 и 2 разделяются диафрагмой, проводимость которой при рабочем давлении  $G_2 = 0,3$  л/с. Камеры 2 и 3 разделяются диафрагмой, диаметр отверстия которой равен  $d_3 = 2,5$  мм. Производительности насосов, откачивающих камеры 3 и 2, соответственно равны  $S_3 = 270$  л/с,  $S_2 = 40$  л/с. Объем первой камеры 3 л, второй и третьей – по 0,7 л. Определите давление в камерах 2 и 3. Насосы какого типа могут использоваться в этой установке?

*Примеры вопросов:*

- Объясните принцип работы и пределы применимости термопарного вакуумметра.
  - Какие величины связывает между собой основное уравнение вакуумной техники?
4. Оцените время жизни адсорбированной молекулы на поверхности сорбента при комнатной температуре для двух случаев: теплота адсорбции  $Q_1 = 20$  кДж/моль и  $Q_2 = 100$  кДж/моль. Какой из случаев отвечает физической сорбции, а какой – химической?

*Примеры вопросов:*

- Изобразите изотерму полислойной адсорбции.
  - Как зависит константа адсорбционно-десорбционного равновесия от температуры в случае ленгмюровской адсорбции?
5. Для разделения изомеров  $C_8H_{18}$  используется капиллярная хроматографическая колонка длиной 10 м, на внутреннюю поверхность которой нанесен слой жидкой неподвижной фазы (НФ) толщиной 0,1 мкм, через колонку при комнатной температуре продувается газ-носитель со скоростью 2 мл/мин. Коэффициенты диффузии изомеров одинаковы и составляют  $10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с и 0,1 см<sup>2</sup>/с в НФ и газовой фазе соответственно. Определите различие времен выхода изомеров из колонки, если теплоты их растворения в НФ равны 15,47 кДж/моль и 15,72 кДж/моль.

*Примеры вопросов:*

- Как продольная диффузия влияет на разрешающую способность хроматографа?
  - Как зависит высота эквивалентной теоретической тарелки от температуры?
6. Оцените разрешающую способность времяпролетного масс-спектрометра в диапазоне молекулярных масс  $\sim 100$  а. е. м., если длина дрейфового пространства  $L = 50$  см, ускоряющая разность потенциалов  $U = 2$  кВ, а для детектирования сигналов используется ВЭУ с временным разрешением  $\tau = 1$  нс. Какой фактор в действительности будет ограничивать разрешение масс-спектрометра?

*Примеры вопросов:*

- Принцип работы времяпролетного масс-анализатора.
- Способы детектирования ионов в масс-спектрометрах.

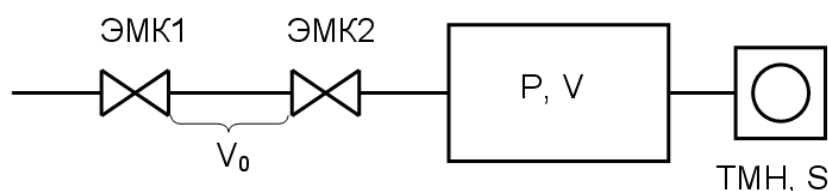
7. Постройте эскиз масс-спектра пептида ангеотензин I (Asp-Arg-Val-Tyr-Ile-His-Pro-Phe-His-Leu,  $C_{62}H_{89}N_{17}O_{14}$ ) на масс-спектрометре с ионизацией MALDI и ESI. Каков будет вид масс-спектра при а) высоком и б) низком разрешениях?

*Примеры вопросов:*

- Ионизация электронным ударом, химическая ионизация.
- Объясните принцип работы ионного источника MALDI.
- При каком давлении работает электроспрей?
- Предложите способ атмосферного ввода ионов в масс-спектрометр.

Пример семестровой контрольной работы приведен ниже:

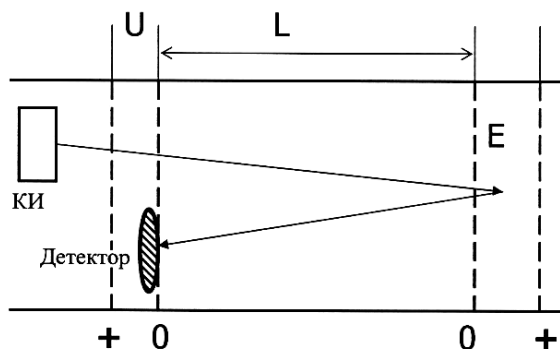
1. Для измерения большого числа навесок по 1 г взяли аналитические весы, техническая точность которых равна 6 мг. Запишите функцию распределения масс навесок. Какая часть навесок будет отличаться по массе от требуемой более чем на 3 мг?
2. Для проведения кинетических исследований в вакуумную камеру производится импульсный напуск азота. Для этого собрали систему импульсного напуска, которая представлена на рисунке.



Напуск в вакуумную камеру, объем которой равен  $V = 5$  литров, и давление в которой поддерживается равным  $P = 10^{-6}$  Торр осуществляется посредством пары электромагнитных клапанов ЭМК1 и ЭМК2. Сначала открывается клапан ЭМК2 (клапан ЭМК1 закрыт) и пространство между клапанами вакуумируется. После чего клапан ЭМК2 закрывается и открывается клапан ЭМК1, через который в пространство между клапанами напускается азот при давлении  $P_0 = 5 \cdot 10^{-3}$  Торр. После этого клапан ЭМК1 закрывают и открывают клапан ЭМК2 для того чтобы напустить порцию газа в вакуумную камеру. Объем пространства между клапанами  $V_0 = 100$  мл. Вакуумная камера откачивается турбомолекулярным насосом (ТМН), объемная скорость откачки которого  $S = 70$  л/сек. Найдите время, которое потребуется для того, чтобы турбомолекулярный насос откачал газ, напускаемый за один цикл и вернул систему в исходное состояние.

3. Оцените время удерживания молекул в колонке (радиусом 0.3 мм) газового хроматографа при комнатной температуре, если теплота адсорбции равна: 1) 20 кДж/моль и 2) 60 кДж/моль. Время выхода несорбирующихся компонентов 100 с.

4. Ионы детектируются времяпролетным масс-анализатором с рефлектроном. Ионы ускоряются разностью потенциалов  $U = 2$  кВ и периодически вталкиваются в бесполеное пространство порциями с частотой 20 Гц. Напряженность поля рефлектрона составляет  $E = 10$  В/см. Длина бесполевого пространства  $L = 2$  м.



Определите, какой диапазон масс можно анализировать данным масс-спектрометром, так чтобы сигналы от ионов одной серии не накладывались на сигнал от ионов другой серии. Минимальная измеряемая масса должна быть 1 Да.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физические методы исследований» в **7 семестре** осуществляется в форме дифференцированного зачета и устного экзамена по билетам, которые формируются согласно содержанию программы курса. Процедура выставления дифференцированного зачета и текущий контроль в 7 семестре аналогична процедуре выставления зачета и текущей работе в 6 семестре за исключением семестровой контрольной работы. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и одну расчетную задачу.

Пример одного экзаменационного билета:

1. Измерение давления в вакуумных системах. Принципы действия манометров различного типа. Физические ограничения применимости различных манометров.
2. Неравновесные системы. Спектральные методы измерения температуры в неравновесных системах.
3. В масс-сепараторе, представляющим собой масс-спектрометр с секторным магнитным полем производится разделение изотопов  $^{235}\text{U}^+ / ^{238}\text{U}^+$ . Ускоряющая разность потенциалов равна 10 кВ. Магнитное поле в масс-сепараторе равно 1 кГс. В область ионного источника производится напуск из балластного объема, давление в котором равно  $P_0 = 10^{-3}$  Торр. Какая должна быть объемная скорость откачки у насоса, откачивающего вакуумную камеру масс-анализатора, если он подключен к вакуумной камере через трубопровод, диаметр которого равен 10 см, длина – 60 см. Проводимость всей системы, через которую происходит натекание газа в вакуумную камеру, можно считать равной  $G = 9,4 \cdot 10^{-2}$  л/сек.

#### 4. Критерии оценивания

По результатам защиты домашних заданий за каждое задание выставляется оценка по 10-балльной шкале.

По результатам защиты выполненных лабораторных работ за каждую работу выставляется оценка по 10-балльной шкале.

Решение контрольной работы оценивается в целом по 10-балльной шкале.

Оценка за дифференциальный зачет учитывает оценку за все домашние задания, оценку за все выполненные и сданные лабораторные работы, а также оценку за семестровую контрольную работу.

Оценка за устный экзамен учитывает ответ на вопросы экзаменационного билета и решение задачи, ответы на уточняющие вопросы по билету и дополнительные вопросы по программе курса.

Оценка **«отлично (10)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания в рамках программы курса и за её пределами, умение решать задачи по физическим методам исследования, умение уверенно делать обоснованный выбор в пользу определенного и/или комбинированного метода исследования при решении сложной нестандартной задачи с проведением всех необходимых оценок.

Оценка **«отлично (9)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания в рамках программы курса, умение решать задачи по физическим методам исследования, умение делать обоснованный выбор в пользу определенного и/или комбинированного метода исследования при решении нестандартной задачи с проведением всех необходимых оценок.

Оценка **«отлично (8)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие в рамках программы курса, умение решать задачи по физическим методам исследования, умение делать выбор в пользу определенного метода исследования с проведением все необходимых оценок, однако при решении нестандартных задач допустившему некоторые несущественные неточности.

Оценка **«хорошо (7)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять теоретические основы физических методов исследования на практике при решении типовых задач, однако при решении нестандартных задач допустил некоторые неточности.

Оценка **«хорошо (6)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять теоретические основы физических методов исследования на практике при решении типовых задач.

Оценка **«хорошо (5)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять теоретические основы физических методов исследования на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд несущественных неточностей.

Оценка **«удовлетворительно (4)»** выставляется студенту, показавшему владение основными знаниями, необходимыми для правильного подхода к решению типовых задач в объеме программы и продемонстрировавшему общее понимание теоретических основ физических методов исследования, однако демонстрируемые знания имеют разрозненный характер, что не препятствует дальнейшему обучению.

Оценка **«удовлетворительно (3)»** выставляется студенту, показавшему владение основными знаниями, необходимыми для правильного подхода к решению типовых задач в объеме программы и продемонстрировавшему общее понимание теоретических основ физических методов исследования, однако демонстрируемые знания могут содержать некоторые пробелы и иметь несистемный разрозненный характер, что не препятствует дальнейшему обучению.

Оценки **«неудовлетворительно (2)»** или **«неудовлетворительно (1)»** выставляется студенту, если у него отсутствуют знания базовой составляющей дисциплины, либо допускаются грубые ошибки в изложении материала, либо отсутствует владение терминологией,

отсутствует умение находить правильные подходы к решению типовых задач в объеме программы курса. 5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

#### Порядок проведения защиты домашнего задания

Для допуска к защите задания обучающийся должен решить все задачи из задания. Процедура защиты задания проходит специально отведенное время в форме коллоквиума по темам избранных задач. В процессе пояснения решения задач из задания преподаватель может задавать уточняющие вопросы из соответствующего раздела по программе курса.

#### Порядок выполнения и защиты лабораторной работы

Для начала выполнения лабораторной работы обучающийся в начале занятия обязан пройти процедуру допуска с обязательной проверкой теоретических основ изучаемого метода исследования и правил техники безопасности. В случае, если обучающийся не продемонстрировал необходимый минимум знаний, то он не допускается к выполнению лабораторной работы, а продолжает теоретическую подготовку к выполнению работы.

Процедура защиты лабораторных работ осуществляется в период лабораторных занятий по расписанию. В процессе защиты лабораторной работы преподаватель может задавать уточняющие вопросы из соответствующего раздела по программе курса.

#### Порядок проведения семестровой контрольной работы

К семестровой контрольной работе допускаются все обучающиеся. Обычно семестровая контрольная работа проводится на зачетной неделе в время, отведенное для лекции согласно расписанию.

Каждый семинарист может «автоматически» поставить оценку «отлично (8)» за СКР не более, чем двум лучшим студентам из группы, получившим за каждое из заданий не менее, чем «отлично (8)».

Время проведения семестровой контрольной составляет 2 академических часа. Студентам предлагаются для решения 4—5 оригинальных задач. Темы соответствуют темам семинарских занятий. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также промежуточные численные результаты и численный ответ. Разрешается пользоваться любыми записями и учебными пособиями в бумажном виде. Категорически запрещается включать любые устройства, которые могут служить средствами связи – ноутбуки, планшеты, телефоны и т.п. Нарушители удаляются с экзамена с оценкой «неудовлетворительно». Разрешается пользоваться калькуляторами. Запрещается пользоваться калькуляторами в мобильных телефонах, ноутбуках и т.п.

#### Порядок проведения дифференциального зачета

К промежуточной аттестации в **6 семестре** (дифференциальному зачету) допускаются обучающиеся, успешно (не менее, чем на оценку «удовлетворительно (3)») защитившие домашние задания, выполнившие и успешно защитившие все лабораторные работы и успешно выполнившие СКР. Оценка за дифференциальный зачет учитывает оценку за все домашние задания, среднюю оценку по лабораторным работам и оценку за семестровую контрольную работу.

К промежуточной аттестации в **7 семестре** (дифференциальному зачету) допускаются обучающиеся, успешно (не менее, чем на оценку «удовлетворительно (3)») защитившие домашние задания и выполнившие и успешно защитившие все лабораторные работы. Оценка за дифференциальный зачет учитывает оценку за все домашние задания и среднюю оценку по лабораторным работам.

#### Порядок проведения устного экзамена

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса из программы курса и одну задачу.

Для подготовки к устному ответу обучающемуся отводится от 45 до 60 минут. Во время подготовки к ответу студенту запрещено чем-либо пользоваться кроме письменных принадлежностей. Использование электронных устройств (в том числе средств сотовой радиосвязи) не допускается.

В процессе ответа разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде. Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух академических часов.