

Документ подписан электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 12.07.2024 11:20:03  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю:



Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«21»

мая

2024 г.

Рабочая программа дисциплины

## **Физический практикум по молекулярной физике**

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Закреплена за кафедрой:   | <b>Общей физики</b>   |
| Направление подготовки:   | <b>03.03.03 Радиофизика</b>   |
| Направленность (профиль): | <b>Материалы и устройства радиоэлектроники (беспилотные системы, программно-аппаратные)</b> |
| Квалификация:             | <b>Бакалавр</b>   |
| Форма обучения:           | <b>очная</b>  |
| Семестр:                  | <b>2</b>  |

Программу составил(и):

*старший преподаватель Котомкин Алексей Викторович*

Тверь, 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины (модуля):

Целью освоения дисциплины является:  
создать фундаментальную базу знаний и навыков для более углубленного проведения экспериментальных исследований при решении практических задач.

### Задачи:

Задачами освоения дисциплины являются:

- Обучение методам анализа и объяснения наблюдаемых в лабораторном практикуме физических явлений;
- Обучение работе с приборами и оборудованием физической лаборатории, с современной измерительной аппаратурой;
- Освоение различных методик физических измерений и экспериментов;
- Привить навыки экспериментального исследования физических явлений и процессов;
- Освоение процесса обработки экспериментальных данных, оценивания порядка изучаемых величин, определение точности и достоверности полученных результатов;
- Обучение основным принципам автоматизации и компьютеризации физического эксперимента, процессов сбора и обработки физической информации;
- Привить навыки оформления результатов эксперимента и составления отчетной документации;
- Изучение основных элементов техники безопасности при проведении экспериментальных исследований.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.О

### Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Механика

Физический практикум по механике

Математический анализ

**Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**

Физический практикум по физике атомного ядра и элементарных частиц

Термодинамика и статистическая физика

Физический практикум по атомной физике

Физический практикум по оптике

Физический практикум по электричеству и магнетизму

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| <b>Общая трудоемкость</b> | 3 ЗЕТ |
| Часов по учебному плану   | 108   |
| <b>в том числе:</b>       |       |
| аудиторные занятия        | 54    |
| самостоятельная работа    | 54    |

## 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ОПК-1.1: Обладает базовыми знаниями в области физики и радиофизики

ОПК-1.3: Владеет экспериментальным аппаратом для ведения профессиональной деятельности: разработки и эксплуатации радиоэлектронных устройств, проведения научных исследований в области радиофизики

ОПК-2.1: Планирует и проводит экспериментальные исследования по заданной теме с учетом имеющейся экспериментальной базы

ОПК-2.3: Обрабатывает экспериментальные данные с применением специализированных программных продуктов

ОПК-2.4: Проводит анализ экспериментальных данных используя базовые знания по физике

ОПК-2.5: Представляет экспериментальные данные в форме развернутого отчета

УК-1.3: Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов

УК-1.5: Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

## 5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Виды контроля в семестрах: |   |
| зачеты                     | 2 |

## 6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

## 7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Код занят. | Наименование разделов и тем   | Вид занятия | Семестр / Курс | Часов | Источники                     | Примечание |
|------------|---|-------------|----------------|-------|-------------------------------|------------|
|            | Раздел 1. 1. Термометрия  |             |                |       |                               |            |
| 1.1        | Термометрия. Тепловое расширение. Уравнение состояния идеальных газов. ЛР № 7, 5, 6, 2. | Лаб         | 2              | 6     | Л1.1<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2      |            |
| 1.2        | Самостоятельная работа по теме "Уравнение состояния идеальных газов"                    | Ср          | 2              | 6     | Л1.1<br>Л1.2Л2.1<br>Л2.2      |            |
|            | Раздел 2. 2. Первое начало термодинамики.   |             |                |       |                               |            |
| 2.1        | Первое начало термодинамики. ЛР № 5, 6.   | Лаб         | 2              | 7     | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |            |
| 2.2        | Самостоятельная работа по теме "Первое начало термодинамики"                            | Ср          | 2              | 8     | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |            |
|            | Раздел 3. 3. Свойства жидкостей   |             |                |       |                               |            |
| 3.1        | Свойства жидкостей. ЛР № 1, 2, 3, 4, 7, 8.  | Лаб         | 2              | 9     | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |            |

|     |  |     |   |   |                               |  |
|-----|--|-----|---|---|-------------------------------|--|
| 3.2 | Самостоятельная работа по теме "Свойства жидкостей"                  | Ср  | 2 | 9 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |  |
|     | Раздел 4. 4. Процессы переноса в газах.                              |     |   |   |                               |  |
| 4.1 | Процессы переноса в газах. ЛР № 9, 12, 14.                           | Лаб | 2 | 7 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |  |
| 4.2 | Самостоятельная работа по теме "Процессы переноса в газах"           | Ср  | 2 | 6 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |  |
|     | Раздел 5. 5. Тепловые процессы в твердых телах.                      |     |   |   |                               |  |
| 5.1 | Тепловые процессы в твердых телах.<br>ЛР № 10, 11, 13, 15.           | Лаб | 2 | 9 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |  |
| 5.2 | Самостоятельная работа по теме "Тепловые процессы в твердых телах"   | Ср  | 2 | 9 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |  |
|     | Раздел 6. 6. Фазовые переходы.                                       |     |   |   |                               |  |
| 6.1 | Фазовые переходы. ЛР № 4, 8, 15.                                     | Лаб | 2 | 8 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |  |
| 6.2 | Самостоятельная работа по теме "Фазовые переходы"                    | Ср  | 2 | 8 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |  |
|     | Раздел 7. 7. Распределения Максвелла и Больцмана.                    |     |   |   |                               |  |
| 7.1 | Распределения Максвелла и Больцмана. ЛР № 16, 17.                    | Лаб | 2 | 8 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |  |
| 7.2 | Самостоятельная работа по теме "Распределения Максвелла и Больцмана" | Ср  | 2 | 8 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2 |  |

### Список образовательных технологий

|   |  |
|---|--|
| 1 | Методы группового решения творческих задач (метод Дельфи, метод б–б, метод развивающей кооперации, мозговой штурм (метод генерации идей), нетворкинг и т.д.) |
| 2 | Выполнение лабораторных работ  |

### 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И

## ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

См. Приложение 1

### 8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

См. Приложение 1

### 8.3. Требования к рейтинг-контролю

Изучение курса заканчивается зачетом.

На первый модуль отводится 50 баллов, которые распределяются следующим образом:

- текущий контроль – до 45 баллов;
- рубежный контроль – 5 баллов.

На второй модуль отводится 50 баллов, которые распределяются следующим образом:

- текущий контроль – до 45 баллов;
- рубежный контроль – 5 баллов.

Текущий контроль проводится в форме выполнения и сдачи лабораторных работ.

Обучающемуся, набравшему 40 баллов и выше по итогам работы в семестре, выставляется «зачет». Обучающийся, набравший до 39 баллов, сдает зачет.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### 9.1.1. Основная литература

| Шифр | Литература   |
|------|--|
| Л1.1 | Яворский, Пинский, Основы физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика, Москва: Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2017, ISBN: 978-5-9221-1754-8,<br>URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=369170">https://znanium.com/catalog/document?id=369170</a> |
| Л1.2 | Савельев И. В., Курс общей физики. В 3 томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика, Санкт-Петербург: Лань, 2023, ISBN: 978-5-507-48093-7,<br>URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/341150">https://e.lanbook.com/book/341150</a>  |
| Л1.3 | Савельев И. В., Курс физики. В 3 томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика, Санкт-Петербург: Лань, 2023, ISBN: 978-5-507-47075-4,<br>URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/324407">https://e.lanbook.com/book/324407</a>  |

#### 9.1.2. Дополнительная литература

| Шифр | Литература   |
|------|--|
| Л2.1 | Новоселов, Медведева А. Г., Грушичев Ю. Г., Пастушенков, Лекции по общей физике. Молекулярная физика и термодинамика, Тверь: Тверской государственный университет, 2022, ISBN: ,<br>URL: <a href="http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5462818">http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5462818</a> |
| Л2.2 | Семенова, Ляхова А. В., Зубкова А. Р., Новоселов, Молекулярная физика и термодинамика, Тверь: Тверской государственный университет, 2022, ISBN: ,<br>URL: <a href="http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5462727">http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5462727</a>                                |

#### 9.3.1 Перечень программного обеспечения

|   |  |
|---|--|
| 1 | Adobe Acrobat Reader                       |
| 2 | Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows |
| 3 | OpenOffice                                 |

|   |              |
|---|--------------|
| 4 | Foxit Reader |
|---|--------------|

### 9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

|   |   |
|---|---|
| 1 | ЭБС «ZNANIUM.COM»                       |
| 2 | ЭБС «ЮРАИТ»                             |
| 3 | ЭБС «Университетская библиотека онлайн» |
| 4 | ЭБС IPRbooks                            |
| 5 | ЭБС «Лань»                              |
| 6 | ЭБС BOOK.ru                             |
| 7 | ЭБС ТвГУ                                |

### 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Аудит-я | Оборудование   |
|---------|--|
| 3-211   | комплект учебной мебели, принтер, экраны настенные, компьютеры, установка для определения коэффициента диффузии воздуха и водяного пара, |

### 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

- список лабораторных работ  
Лабораторные работы по курсам «Молекулярная физика»
- 1. Определение вязкости жидкости методом Стокса.
- 2. Определение теплоты испарения жидкости по температурной зависимости упругости насыщенного пара.
- 3. Определение отношения  $C_p / C_v$  для воздуха методом Клемана и Дезорма.
- 4. Определение  $C_p / C_v$  по скорости звука в газе.
- 5. Определение коэффициента поверхностного натяжения методом пластинки Вильгельми.

– методические указания к выполнению и оформлению лабораторных работ.  
В ходе выполнения общего физического практикума следует руководствоваться следующими правилами, предписывающими единую форму оформления отчетов студентами и порядок выполнения ими лабораторных работ. Эти правила распространяются при работе студентов в лаборатории «Молекулярная физика».

- Так, порядок выполнения лабораторных работ включает в себя следующие пункты:
1. Регистрация и получение учебного задания (преподаватель).
  2. Ознакомление с основами теории исследуемого явления (описание лабораторной работы и рекомендуемая литература).
  3. Изучение экспериментальной установки, правил работы с приборами, правил техники безопасности на рабочем месте (инженер лаборатории).
  4. Изучение порядка выполнения работы (преподаватель).
  5. Получение допуска к выполнению работы (контрольные вопросы Приложения 1) (преподаватель).
  6. Выполнение измерений или задания и проверка на «разумность» полученных результатов.
  7. Проверка расчетов и согласование результатов с преподавателем.
  8. Оформление работы (письменный отчет) в отдельной тетради или двойном тетрадном листе бумаги в клеточку по установленной форме.
  9. «Сдача» лабораторной работы преподавателю.
  10. Оценивание. 1-ая оценка - экспериментальная часть работы, 2-ая – теоретическая часть работы и ее оформление или общий зачет.

Письменный отчет о проделанной лабораторной работе должен содержать:

1. Регистрационный номер и название работы.
2. Цель работы.
3. Приборы и оборудование.
4. Краткая теория (основная формула, закон и т.д.).
5. Схема (рис.) экспериментальной установки (с краткими пояснениями).
6. Результаты измерений (таблица, график и т.п.).
7. Вычисления (цифровая подстановка).
8. Расчет погрешности.
9. Вывод (с записью найденного значения физической величины с указанием

погрешности).

– *требования к рейтинг-контролю*. В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

- сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач,

- ответить на вопросы. Пример вопросов:

1. Как объяснить с точки зрения молекулярно-кинетической теории тепловое расширение тел?
2. Обоснуйте закон Дюлонга и Пти.
3. Сформулируйте закон равномерного распределения кинетической энергии по степеням свободы.
4. Назовите процессы, приводящие к остыванию нити накаливания лампочки при снятии тока.
5. Почему  $C_p$  и  $C_v$  для твердых тел близки друг к другу?
6. Каков физический смысл числа Рейнольдса?
7. Напишите и объясните формулу Ньютона для внутреннего трения.
8. Напишите формулу для коэффициента вязкости идеального газа.
9. На чем основан метод нагретой нити для определения коэффициента теплопроводности газов?
10. Выведите расчетную формулу для определения коэффициента теплопроводности методом нагретой нити.
11. Как оценить среднюю длину свободного пробега и эффективный диаметр молекулы газа, используя явление теплопроводности?
12. От чего зависит скорость понижения температуры тела при охлаждении?
13. Покажите, что коэффициенты объемного расширения  $\alpha$  и линейного расширения  $\beta$  однородного изотропного вещества связаны соотношением  $\alpha = 3\beta$ .
14. Как, зная коэффициент объемного расширения  $\alpha$  и изотермический модуль объемной упругости  $K_T = -V(\partial P/\partial V)_T$  однородного и изотропного вещества, определить температурный коэффициент давления  $\lambda = (1/P)(\partial P/\partial T)_V$ ? Давление  $P$  предполагается известным.
15. Какова область применимости закона Дюлонга и Пти.
16. Выведите соотношение между  $C_v$  и  $C_p$  для общего случая.
17. Почему при строительстве магистральных газопроводов используют трубы большого диаметра, а не увеличивают давление газа при его транспортировании.

### Для проведения текущей и промежуточной аттестации:

**УК-1.** Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:

УК-1.3. Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов;

УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.

Для всех индикаторов один способ аттестации:

**Задание:** дайте ответы на вопросы.

1. Дайте определение коэффициенту Пуассона.
2. От чего зависит время протекания жидкости в капиллярном вискозиметре?
3. Как определить энергию активации по температурной зависимости вязкости жидкости?
4. Оцените время установления скорости падения шарика в жидкости.
5. Как связана теплота испарения жидкости с температурной зависимостью упругости насыщенного пара.
6. Что называется показателем адиабаты?
7. Получите выражение для скорости звука в газах.
8. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения?
9. Покажите эквивалентность энергетической и силовой трактовки поверхностного натяжения.
10. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности? В каких единицах СИ измеряется эта величина?
11. Напишите формулу для коэффициента теплопроводности идеального газа.
12. От чего зависит теплоемкость вещества?
13. Что такое коэффициент внешней теплоотдачи? От чего он зависит?

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:** •

- ответ полный, указаны и учтены все факторы, признаки и т.д. – 2 балла за вопрос
- аргументация допустимая, но имеются неточности – 1 балл
- допущены грубые ошибки, свидетельствующие о непонимании темы – 0 баллов



ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности:

ОПК-1.1. Применяет базовые знания в области физико-математических наук для решения задач профессиональной деятельности;

**Задание:**

1. Найдите установившуюся скорость всплывания пузырька воздуха в жидкости.
2. Что такое относительная влажность воздуха? Как можно измерить эту величину?
3. На чем основан метод определения коэффициента взаимной диффузии воздуха и водяного пара по скорости испарения жидкости из капилляра?
4. Как учесть неполное смачивание пластинки Вильгельми?

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

- ответ полный, указаны и учтены все факторы, признаки и т.д. – 2 балла за вопрос
- аргументация допустимая, но имеются неточности – 1 балл
- допущены грубые ошибки, свидетельствующие о непонимании темы – 0 баллов

ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные:

ОПК-2.1. Планирует и проводит экспериментальные исследования по заданной теме с учетом имеющейся экспериментальной базы;

ОПК-2.3. Обрабатывает экспериментальные данные с применением специализированных программных продуктов;

ОПК-2.4. Проводит анализ экспериментальных данных, используя базовые знания по физике;

**Задание:** дайте ответ на вопросы.

5. Какие измерения называются прямыми, а какие косвенными?

6. На какие группы делятся погрешности? Охарактеризовать каждую группу.
7. Как оценить погрешность определения вязкости жидкостей капиллярным вискозиметром?
8. От каких факторов зависит установившаяся скорость падения шарика в жидкости?
9. Чем обусловлена адиабатичность процесса в опыте Клемана и Дезорма?
10. Как влияет влажность воздуха на результаты опыта Клемана и Дезорма?
11. Что называется числом Рейнольдса?
12. Почему у всех веществ поверхностное натяжение уменьшается с температурой?
13. Напишите формулу для коэффициента диффузии в идеальном газе.
14. На чем основан метод нагретой нити для определения коэффициента теплопроводности газов?

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

- ответ полный, указаны и учтены все факторы, признаки и т.д. – 2 балла за вопрос
- аргументация допустимая, но имеются неточности – 1 балл
- допущены грубые ошибки, свидетельствующие о непонимании темы – 0 баллов

ОПК-2.5. Представляет экспериментальные данные в форме развернутого отчета.

**Задание:** оформление отчета по лабораторной работе согласно методическим указаниям.

**Способ аттестации:** письменный.

**Критерии оценивания:**

- работа оформлена согласно требованиям, представлены все разделы, проведены расчеты, построены графики, сформулирован грамотный вывод – 5 баллов
- работа оформлена небрежно, есть ошибки в вычислениях, сформулирован вывод – 3 балла

- работа оформлена небрежно, есть грубые ошибки, вывод неясно сформулирован и не согласуется с результатом работы – 1 балл
- работа оформлена частично, содержит много ошибок – 0 баллов