

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего  
профессионального образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
*Физический факультет*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Молекулярная физика  
(Физический практикум)**

**Кафедра Магнетизма и физики фазовых переходов  
Физического факультета**

**Образовательная программа**

**03.03.02 ФИЗИКА**

Профиль подготовки – Медицинская физика

Уровень высшего образования – Бакалавриат

Форма обучения – очная

Статус дисциплины: базовая

Махачкала 2017 год



Рабочая программа дисциплины «Молекулярная физика (физический практикум)» составлена в 2016 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 – Физика (уровень: бакалавриат) от «7» августа 2014г. № 937.

Разработчик: кафедра Магнетизма и физики фазовых переходов Хизриев Камал Шахбанович. к.ф.-м.н., доцент.

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры МиФФП от «29» марта 2017 г., протокол № 7

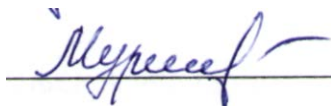
Зав. кафедрой



Камилов И.К.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «30» марта 2017 г., протокол № 7.

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением

«3» апреля 2017 г.



Гасангаджиева А.Г.

Дисциплина Молекулярная физика входит в *базовую* часть образовательной программы *бакалавриата* по направлению 03.03.02 «Физика»

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой Магнетизма и физики фазовых переходов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением свойств тел, обусловленных внутренним строением и состоянием этих тел, силами взаимодействия между частицами тел.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: *Общепрофессиональных: ОПК-3*

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: *лабораторные занятия, самостоятельная работа.*

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме – *устный опрос*. И промежуточный контроль в форме – *зачет*.

Объем дисциплины 2 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий – 36 часов.

Семестр	Учебные занятия						СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	
	в том числе								
	Контактная работа обучающихся с преподавателем								
	Всего	из них							
Лекции		Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации				
2	72		34		38			зачет	

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Молекулярная физика-физический практикум» является создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и целеустремленное изучение разделов физики в рамках теоретической физики – специализированных дисциплин. Молекулярная физика является одним из разделов общей физики, которая является основным в общей системе современной подготовки физиков – профессионалов.

Задачами дисциплины являются: во-первых, эта мировоззренческая и методологическая направленность курса. Необходимо формировать у студентов единую, стройную, логически непротиворечивую физическую картину окружающего нас мира природы. Для этого обобщить экспериментальные данные и на их основе произвести построение моделей наблюдаемых явлений со строгим обоснованием приближений и рамок, в которых эти модули действуют. Во вторых, в рамках единого подхода классической физики необходимо рассматривать все основные явления и процессы происходящие в природе, установить связь между ними, вывести основные законы и получить их выражение в виде математических уравнений, в третьих, необходимо научить студентов основам постановки и проведения физического эксперимента с последующим анализом и оценкой полученных данных.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата**

Дисциплина «**Молекулярная физика – физический практикум**» входит в базовую часть образовательной программы бакалавриата по направлению 03.03.02 «Физика» и является обязательной для изучения.

Дисциплина изучается на 1 курсе во 2 семестре.

**Для изучения дисциплины «Молекулярная физика – физический практикум» студент должен знать:** основные понятия и методы математического анализа, линейной алгебры, дискретной математики; дифференциальное и интегральное исчисления; гармонический анализ; дифференциальные уравнения; численные методы; функции комплексного переменного; элементы функционального анализа; вероятность и статистику; случайные процессы; статистическое оценивание и проверку гипотез; статистические методы обработки экспериментальных данных. Понятие информации; программные средства организации информационных процессов; модели решения функциональных и вычислительных задач; языки программирования; базы данных; локальные и глобальные сети ЭВМ; методы защиты информации.

### **Описание логической и содержательно-методической взаимосвязи с другими частями ООП (дисциплинами, модулями, практиками)**

Являясь самостоятельной учебной дисциплиной, курс молекулярной физики- физический практикум не оторван от других дисциплин. Наоборот,

существует междисциплинарная связь. Например, история физики, как науки, дает много прекрасных примеров такого рода.

Ниже следуют некоторые разъяснения, которые являются важными для понимания того, какие чисто физические моменты особенно отмечаются при прохождении того или иного раздела.

Важнейшей частью "Динамика" являются разбор уравнения движения в ньютоновской форме в декартовой системе координат и демонстрация его решения на ряде простых примеров: замедление движения материальных точек под действием сухого и вязкого трения и т.д. Элементарных знаний по математическому анализу, которыми студенты обладают, для этого вполне достаточно.

При формулировании закона сохранения импульса надо подчеркнуть, что этот закон является более общим, чем третий закон Ньютона, и выполняется, в частности, и в квантовой механике, где понятие силы теряет свой смысл. Следует также обратить внимание на то, что введение физической величины - импульс - позволяет записать дифференциальные уравнения движения как для малых, так и для больших скоростей в единой форме.

В рамках **лабораторного практикума** используется умение студентов производить расчеты с помощью средств вычислительной техники. Это позволяет существенно приблизить уровень статистической культуры обработки результатов измерений в практикуме к современным стандартам, принятым в науке и производственной деятельности. На этих занятиях студенты уже на I курсе приобретают опыт общения с ЭВМ и использования статистических методов обработки результатов наблюдений, что совершенно необходимо для работы в специальных учебных и производственных лабораториях.

На **самостоятельную работу** студентов выносятся подготовка к лабораторно-практическим занятиям и обработка их результатов и составление отчетов.

Освоение дисциплины «молекулярная физика – физический практикум» является как предшествующее для общепрофессиональных дисциплин и решения профессиональных задач.

### **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).**

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
-------------	-------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------

ОПК-3	<p>способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p><b>Знать:</b> основные понятия, законы и модели молекулярной физики; основополагающие представления о тепловых явлениях, физических величинах, характеризующих тепловые явления и их измерения; вероятностный характер поведения больших молекулярных систем, статистический и термодинамический способы их описания, элементарные математические представления о вероятности, различных способах ее расчета, понятий математического ожидания и дисперсии, функций распределения, законы термодинамики и их статистическое обоснование, понятие энтропии, термодинамической температуры, функции состояния системы, базовые понятия об уравнениях переноса, фазовых переходах.</p> <p><b>Уметь:</b> применять законы молекулярной физики к решению различных задач на междисциплинарных границах молекулярной физики с другими областями знаний, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи по молекулярной физике; понимать, излагать и критически оценивать базовую общефизическую информацию в области тепловых явлений в макросистемах; использовать законы молекулярной физики для решения типичных задач и оценивать полученные результаты; ставить и решать простейшие экспериментальные задачи по молекулярной физике</p> <p><b>Владеть:</b> методами наблюдения явлений, обусловленных тепловым молекулярным движением, методологическими вопросами теоретического описания тепловых явлений; физическими и математическими методами обработки и анализа информации в области тепловых явлений в макросистемах; методами и приемами экспериментального исследования тепловых явлений.</p>
-------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 78 академических часов.

#### 4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
Модуль 1. Предмет молекулярной физики. Статистический подход									
1	Вводное занятие					2		2	Устный опрос, проверка домашнего задания, самостоятельная работа, контрольная работа, коллоквиум.
2	Определение коэффициента вязкости воздуха капиллярным методом.	2	1			2		2	
3	Определение коэффициента теплопроводности методом нагретой нити	2	2			2		2	
4	Определение коэффициента взаимной диффузии воздуха и водяного пара.	2	3			2		2	
5	Определение отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объеме.	2	4			2		4	
6	Получение и измерение высокого вакуума	2	5-6			4		4	
7	определение теплоемкости твердых тел.	2	7-8			3		3	
	<i>Итого по модулю 1:</i>					17		19	
	Вводное занятие		9			2		2	



	Определение теплоты парообразования воды.	2	10-11			4		4
8	Определение изменения энтропии при нагревании и плавлении олова.	2	12			2		2
9	Определение молярной массы и плотности газа методом откачки.	2	13			2		2
	Определение скрытой теплоты кристаллизации и плавления вещества.	2	14-15			4		4
	Определение термодинамического коэффициента давления с помощью газового термометра.	2	16			2		2
	Измерение коэффициента поверхностного натяжения.	2	17			3		3
	<i>Итого по модулю 2:</i>					17		19

#### 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

№ и названия разделов и тем	Цель и содержание лабораторной работы	Результаты лабораторной работы
<b>Лабораторная работа №1.</b> Определение коэффициента вязкости воздуха капиллярным методом	Изучение внутреннего трения – вязкости воздуха, как одного из явлений переноса в газах	Численно вычислить вязкость воздуха в лаборатории
<b>Лабораторная работа №2.</b> Определение коэффициента теплопроводности методом нагретой нити.	Изучение теплопроводности воздуха как одного из явлений переноса воздуха	Найти численное значение теплопроводности воздуха в лаборатории
<b>Лабораторная работа №3.</b> Определение коэффициента взаимной диффузии воздуха и водяного пара.	Изучение диффузии как одного из явлений переноса	Вывод расчетной формулы для определения коэффициента взаимной диффузии. Найти численное значение коэффициента взаимной диффузии.

<b>Лабораторная работа №4.</b> Определение отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объеме.	Определение отношения $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	Вывести формулу для определения $\gamma$ и вычислить экспериментально.
<b>Лабораторная работа №5.</b> Получение и измерение высокого вакуума.	Изучить принцип работы вакуумной установки (форвакуумной и диффузионной) и приборов для изучения	Получить вакуум $\sim 10^{-4}$ мм.рт.ст. Определить скорость откачки
<b>Лабораторная работа №6.</b> Определение теплоемкости твердых тел.	Определение теплоемкости образцов металлов колориметрическим методом	Вывести формулу для экспериментального определения теплоемкости ТТ и экспериментально найти зависимость теплоемкости от темп-ры
<b>Лабораторная работа №7.</b> Определение теплоты парообразования воды.	Определение удельной и молярной теплоты парообразования воды	Вывести основную рабочую формулу, используемую в данной работе и вычислить теплоту парообразования воды и насыщенного пара
<b>Лабораторная работа №8.</b> Определение изменения энтропии при нагревании и плавлении олова.	Ознакомление с понятием энтропии	Измерить изменения энтропии при увеличении температуры. Вывести расчетную формулу
<b>Лабораторная работа №9.</b> Определение молярной массы и плотности газа методом откачки.	Ознакомление с методом определения молярной массы и плотности газа	Вывести расчетную формулу для определения молярной массы методом взвешивания
<b>Лабораторная работа №10.</b> Определение скрытой теплоты кристаллизации и плавления вещества.	Ознакомиться с определением удельной скрытой теплоты кристаллизации	Вывести формулу измерения удельной открытой теплоты кристаллизации и вычислить эту величину для олова
<b>Лабораторная работа №11.</b> Определение термодинамического коэффициента давления с помощью газового термометра	Определение термического коэффициента давления и абсолютной температуры таящего льда	Вывести формулу для определения термического коэффициента давления при любой температуре на этом основании найти абсолютную температуру
<b>Лабораторная работа №12.</b> Измерение коэффициента поверхностного натяжения.	Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости	Найти жидкость с наименьшим коэффициентом поверхностного натяжения.

### **Модуль 1. Предмет молекулярной физики. Статистический подход**

#### **Тема 1. Предмет молекулярной физики**

Предмет молекулярной физики. Основные экспериментальные факты, свидетельствующие о дискретном строении вещества. Тепловое движение с точки зрения молекулярных представлений. Масштабы физических величин

в молекулярной теории. Массы и размеры молекул. Число Авогадро. Особенности межмолекулярного взаимодействия. Агрегатные состояния и характер теплового движения в газах, жидкостях и твердых телах.

*Тема 2..Определение коэффициента вязкости воздуха.*

**Цель работы:** изучение внутреннего трения - вязкости воздуха как одного из явлений переноса в газах.

Явления переноса – это процессы установления равновесия в системе путем переноса массы (диффузия), энергии (теплопроводность) и импульса молекул (внутреннее трение или вязкость). Все эти явления обусловлены тепловым движением молекул.

1. Для каждого режима определить по формуле Пуазейля коэффициент вязкости

$$\text{воздуха } \eta = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8Vl}.$$

Найти среднее значение коэффициента вязкости.

2. По формуле  $\bar{v}_T = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$  вычислить среднюю арифметическую скорость

теплового движения молекул воздуха, учитывая, что молярная масса воздуха  $\mu=29\text{кг/к}\cdot\text{моль}$ , а универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж/ (кмоль} \cdot \text{К)}$ .

3. По формуле  $\bar{\lambda} = \frac{3\eta}{\rho v_T}$  вычислить среднюю длину свободного пробега

молекул. При этом плотность воздуха найти по таблице для известных значений температуры и давления в лаборатории в процессе проведения эксперимента.

4. Оценить погрешность результатов измерения.

Явление переноса в газах.

2. Объясните явление внутреннего трения в идеальном газе с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

3. Напишите и объясните формулу Ньютона для внутреннего трения.

4. Каков физический смысл коэффициента вязкости? В каких единицах в системе СИ измеряется эта величина?

5. Напишите формулу для коэффициента вязкости идеального газа.

6. Дать определение средней арифметической скорости теплового движения молекул идеального газа? От каких физических величин она зависит?

7. Дать определение средней длины свободного пробега молекул. От каких физических величин она зависит?

8. Напишите формулу Пуазейля. При каких условиях ее применяют?

9. В чем заключается капиллярный метод определения коэффициента вязкости газов?

10. Как изменяется скорость движения газа по радиусу канала при ламинарном режиме течения?

11. Как оценить среднюю длину свободного пробега, используя явление внутреннего трения в газах?

12. Почему при строительстве магистральных газопроводов используют трубы большого диаметра, а не увеличивают давление газа при его транспортировании?

### Тема 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ НАГРЕТОЙ НИТИ

**Цель работы:** изучение теплопроводности воздуха как одного из явлений переноса в газах.

**Теплопроводность.** Если один слой газа нагрет, а в другом слое температура ниже, то наблюдается выравнивание температуры, если система предоставлена сама себе. Это происходит, как и в случае диффузии, в результате потока тепла от горячего слоя (области) в холодный слой. Явление возникновения потока тепла в газе называется теплопроводностью. При этом происходит непосредственная передача тепловой энергии от молекул с большей энергией (молекул в области высокой температуры) к молекулам с меньшей энергией. В результате, температура газа выравнивается.

1. Для каждого измерения по формуле

$$T_1 - T_0 = \Delta T = \frac{\left(\frac{U_{нт}}{U_{pt}} - \frac{U_{н0}}{U_{p0}}\right)(1 + \alpha t_0)}{\frac{U_{н0}}{U_{p0}} \alpha}$$

рассчитать разность температур

$$\Delta T, \text{ а по формуле } \chi = \frac{U_p U_n \ln \frac{R_2}{R_1}}{2\pi L R_p (T_1 - T_0)} \quad (2.7) \quad - \text{ коэффициент}$$

теплопроводности  $\chi$  и занести полученные значения в таблицу.

2. Найти среднее значение коэффициента теплопроводности воздуха  $\bar{\chi}$ .

3. Оценить погрешность результатов измерения.

### Тема 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЗАИМНОЙ ДИФФУЗИИ ВОЗДУХА И ВОДЯНОГО ПАРА

**Цель работы:** изучение диффузии как одного из явлений переноса; определение коэффициента взаимной диффузии воздуха и водяного пара по скорости испарения жидкости в капилляре.

Диффузией называется явление проникновения соприкасающихся веществ друг в друга. Диффузия в газах возникает, если он неоднороден по

составу или концентрации. Каждая из компонент смеси переходит из области с большей концентрацией в область с меньшей концентрацией.

Очевидно, плотность потока массы компоненты газа, который переносится вследствие диффузии, будет тем больше, чем больше градиент плотности данной компоненты.

$$m \sim -\frac{d\rho}{dx} \quad \text{или} \quad m = -D \frac{d\rho}{dx}.$$

Тогда масса вещества  $dM$ , переносимого через площадь  $S$  за время  $dt$  равна:  $dM = -D \frac{d\rho}{dx} S dt$  - закон Фика, (3.1)

где  $D$  – коэффициент диффузии, численно равный массе вещества переносимой через единицу площади за единицу времени при единичном градиенте плотности, измеряется в системе СИ в единицах  $\text{м}^2/\text{с}$ ,  $\rho$  – плотность газа.

$$\text{Для идеального газа} \quad D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{v} \quad (3.2)$$

где  $\bar{\lambda}$  – средняя длина свободного пробега;  $\bar{v}$  – средняя арифметическая скорость теплового движения,  $\bar{v} = \sqrt{8RT/\pi\mu}$ .

### **Тема 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ВОЗДУХА ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ОБЪЕМЕ**

**Цель работы:** изучение процессов в идеальных газах, определение отношения теплоемкостей  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ .

Теплоемкостью данного тела называется количество теплоты, которую необходимо сообщить массе вещества для увеличения температуры на один градус, т. е.

$$C = dQ/dT. \quad (4.1)$$

Для характеристики теплоемкости данного вещества вводится величина удельной теплоемкости, которая равна количеству теплоты, которую необходимо сообщить единице массы вещества для увеличения ее температуры на один градус

$$c = \frac{dQ}{mdT}. \quad (4.2)$$

Вводится еще понятие молярной теплоемкости, равной количеству теплоты которую необходимо сообщить одному молю вещества для увеличения ее температуры на один градус.

$$C_{\mu} = \frac{dQ}{\nu dT}, \quad (4.3)$$

где  $\nu$  – число молей, равное  $\frac{m}{\mu}$ ,  $\mu$  – масса одного моля вещества.

Значение теплоемкости газов зависит от условия их нагревания. Согласно первому закону термодинамики количество теплоты  $dQ$ , сообщенное системе, расходуется на увеличение внутренней энергии  $dU$  и на выполнение системой работы  $dA$  против внешних сил.

$$dQ = dU + dA, \text{ где } dA = PdV.$$

Тогда согласно (4.3)  $C_{\mu} = \frac{dU + PdV}{\nu dT} = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dU}{dT} + \frac{PdV}{dT} \right)$ , а теплоемкость одного моля газа  $C = \frac{dU}{dT} + \frac{PdV}{dT}$ .

При изохорном процессе  $dV = 0$ , следовательно,  $dA = PdV = 0$ . Все тепло, сообщаемое системе, идет на увеличение ее внутренней энергии. Поэтому

$$C_v = \frac{dU}{dT}, \quad (4.4)$$

т. е. изменение внутренней энергии одного моля идеального газа при изменении его температуры на  $dT$  равно

$$dU = \frac{i}{2} R dT, \text{ то } C_v = \frac{i}{2} R, \quad (4.5)$$

где  $C_v$  – молярная теплоемкость одного моля газа при постоянном объеме.

Если газ нагрет при постоянном давлении  $P = \text{const}$ , то полученное газом количество теплоты расходуется на увеличение внутренней энергии и выполнение работы, так как газ, расширяясь при нагревании, совершает работу. Тогда

$$C_p = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU + PdV}{dT} = \frac{dU}{dT} + P \frac{dV}{dT} = C_v + P \frac{dV}{dT}. \quad (4.6)$$

Используя уравнение Менделеева – Клапейрона для одного моля идеального газа  $PV = RT$ , найдем  $\frac{dV}{dT} = \frac{R}{P}$ .

$$(4.7)$$

подставив 4.7 в 4.6 получим

$$C_p = C_v + R = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R \text{ – уравнение Майера.}$$

Отношение теплоемкостей будет равно

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}, \quad (4.8)$$

### Тема 6. ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКОГО ВАКУУМА

**Цель работы:** изучение принципа работы вакуумных насосов (форвакуумный и диффузионный), приборов для измерения вакуума и методики получения высокого вакуума.

**Вакуум.** Поскольку средняя длина свободного пробега  $\lambda$  обратно пропорциональна давлению газа  $P$  ( $\lambda \sim \frac{1}{P}$ ), то при достаточно малых давлениях длина свободного пробега молекул может достигнуть величины, превышающей размеры сосуда  $L$ , в котором содержится газ. Например: при  $P = 10^{-6}$  мм рт. ст. или  $10^{-3}$  Па  $\lambda$  может стать равным нескольким десяткам метров. При данном давлении молекулы газа в сосуде практически не сталкиваются между собой, сталкиваются лишь со стенками сосуда. Такое разрежение (состояние) газа, при котором  $\lambda > L$ , называется вакуумом.

1. Понятие вакуума, т.о., является условным, так как он зависит от размеров сосуда. Например: в газе находящемся под атмосферным давлением условие вакуума выполняется в пористых веществах, где размеры пор  $\leq 10^{-5}$  см.

2. Вакуум условно делится на три степени: низкий вакуум, когда  $\lambda \approx L$ , средний вакуум, когда  $\lambda > L$  (давление  $\sim 10^{-2}$  мм рт. ст.), высокий вакуум, когда  $\lambda \gg L$  (давление ниже  $10^{-5}$  мм рт. ст.).

3. Каким же образом можно получить высокий вакуум, или самое низкое давление?

### Тема 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

**Цель работы:** определение теплоемкости образцов металлов калориметрическим методом с использованием электрического нагрева.

Кристаллическая решетка это правильная пространственная решетка, в узлах которой расположены атомы. Атомы совершают тепловые колебания около положения равновесия. Энергия каждого атома складывается из кинетической и потенциальной энергий. На каждую степень свободы приходится кинетическая энергия равная  $\frac{1}{2} kT$  и такая же потенциальная энергия. Таким образом, полная энергия, приходящаяся на одну колебательную степень свободы равна  $kT$ . Атомы кристаллической решетки имеют три колебательные степени свободы. Поэтому тепловая энергия одного атома равна  $3kT$ , а внутренняя энергия одного моля твердого тела равна

$$U = 3N_a kT = 3RT, \text{ т. к. } N_a k = R,$$

Тогда теплоемкость одного моля твердого тела, называемой атомной теплоемкостью, будет  $C_V = \frac{dU}{dT} = 3R$ ,

где  $C_V$  - молярная теплоемкость при постоянном объеме. Так как коэффициент теплового расширения твердых тел мал по сравнению с газами можно считать, что процесс в твердом теле протекает при постоянном объеме. Из выражения  $C_V = 3R$  вытекает, что теплоемкость твердых тел не зависит от природы вещества, и она одна и та же для всех твердых тел и не зависит от температуры.

### Тема 8. Определение теплоты парообразования воды.

**Цель работы:** определение удельной и молярной теплоты парообразования воды при фазовом переходе первого рода по экспериментально полученной зависимости давления насыщенных паров от температуры.

Фазой называется однородная часть вещества, имеющая границу с другими частями системы, в которой она находится, и которая может быть отделена от этой системы. Например, вода - пар, вода- лед - эти три фазы одного и того же вещества. Переход вещества из одного фазового состояния в другое называется фазовым переходом. Фазовый переход первого рода всегда сопровождается поглощением и выделением скрытой теплоты  $Q$  и изменением удельного объема и молярного объема вещества. Скрытой теплотой парообразования или конденсации называется количество теплоты, которое надо сообщить массе вещества, чтобы превратить его в пар или конденсировать пар в жидкость при постоянной температуре.

Для определения теплоты парообразования жидкости воспользуемся уравнением Клапейрона – Клаузиуса

$$\ln P = -\frac{q}{RT} + const$$

Полученная формула устанавливает связь между молярной теплотой парообразования воды, давлением и температурой водяного пара, так как процесс парообразования рассчитывается для одного моля газа.. Изменяя температуру пара  $T$ , необходимо построить график зависимости  $\ln P = f\left(\frac{1}{T}\right)$ , по угловому коэффициенту которого  $K_\alpha = \frac{q}{R}$  можно определить молярную теплоту парообразования воды.

### Тема 9. Определение изменения энтропии при нагревании



### и плавлении олова

**Цель работы:** ознакомление с понятием энтропии и определение изменения энтропии при фазовом переходе первого рода на примере плавления олова.

Функция  $S$  называется энтропией. Таким образом,

$$dS = \left( \frac{dQ}{T} \right)_{\text{обр}} \quad (8.3)$$

Наряду с энергией энтропия является важной характеристикой состояния системы. По характеру изменения энтропии можно изучить, в каком направлении происходит теплообмен. При нагревании тела ( $dQ > 0$ ) его энтропия возрастает ( $dS > 0$ ). Если тело охлаждается ( $dQ < 0$ ), то его энтропия убывает ( $dS < 0$ ). Энтропия изолированной системы при любых происходящих в ней процессах не убывает:  $\Delta S \geq 0$ . Знак равенства соответствует обратимому процессу, а знак больше необратимому. Реальные процессы необратимы, поэтому все процессы в конечной изолированной системе ведут к увеличению энтропии. Таким образом, энтропией называется функция состояния термодинамической системы, дифференциал которой  $dS$  при обратимом процессе равен отношению бесконечно малого количества теплоты  $dQ$ , сообщенного системе, к термодинамической температуре  $T$  системы:

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Абсолютное значение энтропии не возможно определить. Энтропия определяется с точностью до постоянной величины.

### Тема 10. Определение молярной массы и плотности газа методом откачки.

**Цель работы:** ознакомление с одним из методов определения молярной массы и плотности газа и вычисление этих величин для газа.

При не очень высоких давлениях, но достаточно высоких температурах газ можно считать идеальным. Состояние такого газа описывается уравнением Менделеева – Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad (9.1)$$

Давление  $P$ , объем  $V$  и температура  $T$  газа измеряются датчиками установки. Но вычислить абсолютную величину массы газа невозможно. Поэтому сперва взвешивают колбу с газом, потом после откачки газа из нее.

Состояние газа в колбе до и после откачки характеризуется двумя комбинациями параметров  $V, P_1, T, m_1$  до откачки и  $V, P_2, T, m_2$  после откачки. Напишем уравнения этих состояний  $P_1 V = \frac{m_1}{\mu} RT$  и

$$P_2 V = \frac{m_2}{\mu} RT .$$

Отсюда

$$\mu = \frac{m_1 - m_2}{P_1 - P_2} \frac{RT}{V}$$

Плотность газа – это масса единицы объема газа:  $\rho = \frac{m}{V}$ .

Определив  $\frac{m}{V}$  из уравнения Менделеева – Клапейрона, получим

$$\rho = \frac{P\mu}{RT}$$

### Тема 11. Определение скрытой теплоты кристаллизации и плавления вещества

**Цель работы:** определение удельной скрытой теплоты кристаллизации и плавления олова.

Расчетная формула для определения удельной скрытой теплоты кристаллизации (плавления).

$$q = \frac{\tau}{2M} \left[ (m_T c_T + M c_{жс}) \frac{\Delta t_{жс}}{\Delta \tau_{жс}} + (m_T c_T + M c_{ТВ}) \frac{\Delta t_{ТВ}}{\Delta \tau_{ТВ}} \right]$$

Для подсчета скорости изменения температуры тигля с жидким и твердым оловом  $\Delta t_{жс} / \Delta \tau_{жс}$  и  $\Delta t_{ТВ} / \Delta \tau_{ТВ}$  нужно на нижнем и верхнем наклонных участках кривой плавления построить прямоугольные треугольники. Лучше всего это сделать так, чтобы горизонтальные катеты были равны  $\Delta t_{жс} = \Delta t_{ТВ} = 1 \text{ мВ}$ . Тогда длина соответствующих вертикальных катетов определяется измерительным инструментом (линейкой, штангенциркулем). Для подсчета характерных времен  $\Delta \tau_{ТВ}, \tau, \Delta \tau_{жс}$  необходимо длину соответствующего вертикального катета на диаграммной бумаге разделить на скорость ее перемещения  $v$  (обычно  $v = 720 \text{ мм/ч} = 0,2 \text{ мм/с}$ ):

$$\Delta \tau_{ТВ} = \frac{\Delta L_{ТВ}}{v},$$

$$\Delta \tau_{жс} = \frac{\Delta L_{жс}}{v}, \quad \tau = \frac{L}{v}$$

## Тема 12. Определение термического коэффициента давления с помощью газового термометра

**Цель работы:** Определение термического коэффициента давления  $\alpha$  и на этой основе определение абсолютной температуры таящего льда  $T_0$ . Проверка справедливости закона Шарля.

Определить термический коэффициент давления можно следующим образом:

$$\alpha = \frac{P - P_H}{P_H(T - T_H)} \quad (11.7)$$

где  $P_H$  и  $T_H$  - начальные давления и температура газа,  $P$  и  $T$  - параметры произвольного состояния газа.

В частности при температуре таящего льда  $T_0$  термический коэффициент давления газа  $\alpha_0$  согласно (11.6) равен

$$T_0 = \alpha_0^{-1} \quad (11.8)$$

Таким образом, определив  $\alpha_0$ , мы находим температуру таящего льда по абсолютной шкале.

## Тема 13. Измерение коэффициента поверхностного натяжения

**Цель работы:** измерение силы и коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом отрыва кольца от ее поверхности.

Получаем для коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  выражение

$$\sigma = \frac{F}{\pi(d_1 + d_2)}$$

Это основная расчетная формула, используемая в данной работе, где  $F$  – сила упругости,  $d_1$  и  $d_2$  – внутренний и внешний диаметр кольца.

## 5. Образовательные технологии

Курс построен на принципах системного подхода к отбору программного материала и определению последовательности его изучения студентами, что предусматривает глубокое изучение предметов за счет объединения занятий в блоки, т.е. реализуется технология концентрированного обучения. Для контроля усвоения программного материала учитывается работа студентов на лабораторных занятиях (результаты устного опроса, выполнение экспериментальной части работы, обработка результатов и отчет по результатам).

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

Для выполнения физического практикума изданы учебно-методические пособия и разработки по курсу общей физики, которые в сочетании с внеаудиторной работой способствуют формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

В рамках *лабораторного практикума* используется умение студентов производить расчеты с помощью средств вычислительной техники. Это позволяет существенно приблизить уровень статистической культуры обработки результатов измерений в практикуме к современным стандартам, принятым в науке и производственной деятельности. На этих занятиях студенты уже на I курсе приобретают опыт общения с ЭВМ и использования статистических методов обработки результатов наблюдений, что совершенно необходимо для работы в специальных учебных и производственных лабораториях.

В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций ведущих ученых из центральных вузов и академических институтов России.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Студентам предоставляется раздаточный материал: методическое пособие и литература по выполнению лабораторных работ, методическое пособие подготовленное сотрудниками, указанное в дополнительной литературе.

Учебно-методический комплекс по дисциплине, размещенный на сайте факультета.

## 7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Компетенция	Знания, умения, навыки	Процедура освоения
ОПК-3	<i>Знать:</i> основные понятия, законы и	Устный опрос,

	<p>модели молекулярной физики; основополагающие представления о тепловых явлениях, физических величинах, характеризующих тепловые явления и их измерения; вероятностный характер поведения больших молекулярных систем, статистический и термодинамический способы их описания, элементарные математические представления о вероятности, различных способах ее расчета, понятий математического ожидания и дисперсии, функций распределения, законы термодинамики и их статистическое обоснование, понятие энтропии, термодинамической температуры, функции состояния системы, базовые понятия об уравнениях переноса, фазовых переходах.</p> <p><b>Уметь:</b> применять законы молекулярной физики к решению различных задач на междисциплинарных границах молекулярной физики с другими областями знаний, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи по молекулярной физике; понимать, излагать и критически оценивать базовую общефизическую информацию в области тепловых явлений в макросистемах; использовать законы молекулярной физики для решения типичных задач и оценивать полученные результаты; ставить и решать простейшие экспериментальные задачи по молекулярной физике</p> <p><b>Владеть:</b> методами наблюдения явлений, обусловленных тепловым молекулярным движением, методологическими вопросами теоретического описания тепловых явлений; физическими и математическими методами обработки и анализа информации в области тепловых явлений в макросистемах; методами и приемами экспериментального исследования тепловых явлений.</p>	<p>письменный опрос, проверка домашнего задания, самостоятельная работа, контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

### Критерии оценок на курсовых экзаменах

В экзаменационный билет рекомендуется включать не менее 3 вопросов, охватывающих весь пройденный материал, также в билетах могут быть задачи и примеры.

Ответы на все вопросы оцениваются максимум **100 баллами**.

**Критерии оценок следующие:**

- **100 баллов** – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности.

- **90 баллов** – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.

- **80 баллов** – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера.

- **70 баллов** – студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.

- **60 баллов** – студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.

- **50 баллов** – в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.

- **40 баллов** – ответ студента правилен лишь частично, при разъяснении материала допускаются серьезные ошибки.

- **20-30 баллов** – студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.

- **10 баллов** – студент имеет лишь частичное представление о теме.

- **0 баллов** – нет ответа.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

### Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:

«0 – 50» баллов – неудовлетворительно

«51 – 65» баллов – удовлетворительно

«66 - 85» баллов – хорошо

«86 - 100» баллов – отлично

«51 и выше» баллов – зачет

### ОПК-3

Схема оценки уровня формирования компетенции «способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач»

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворитель но	Хорошо	Отлично
Пороговы й	Должен обладать способностью	Имеет не полное представление о	Допускает не точности	Демонстрирует четкое

использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов молекулярной физики и термодинамики для решения профессиональных задач	способности использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов молекулярной физики и термодинамики для решения профессиональных задач	способности использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов молекулярной физики и термодинамики для решения профессиональных задач	представление о способности использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов молекулярной физики и термодинамики для решения профессиональных задач
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценки по дисциплине быть не может.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

### **Примерная оценка по 100 бальной шкале форм текущего и промежуточного контроля**

Весомость текущего и промежуточного контроля – 50% (коэффициент 0,5)  
и итогового контроля по дисциплине – 50% (коэффициент 0,5):

#### **Лекции - Текущий и промежуточный контроль включает:**

- посещение занятий \_\_3\_\_ бал.
- активное участие на лекциях \_\_5\_\_ бал.
- устный опрос, тестирование, коллоквиум \_\_27\_\_ бал.
- и др. (доклады, рефераты) \_\_5\_\_ бал.

#### **Практика (р/з) и семинар - Текущий контроль включает:**

- посещение занятий \_\_3\_\_ бал.
- активное участие на практических занятиях \_\_5\_\_ бал.
- выполнение домашних работ \_\_5\_\_ бал.
- выполнение самостоятельных работ \_\_7\_\_ бал.
- выполнение контрольных работ \_\_10\_\_ бал.

#### **Физический практикум - Текущий контроль включает:**

- посещение занятий и наличие конспекта \_\_3\_\_ бал.
- получение допуска к выполнению работы \_\_5\_\_ бал.
- выполнение работы и отчета к ней \_\_10\_\_ бал.
- защита лабораторной работы \_\_12\_\_ бал.

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.**

а) основная литература:

1. Кикоин И.К., Кикоин А.К. «Молекулярная физика», М., Наука, 1976 г.
2. Матвеев А.Н. «Молекулярная физика», М., Высшая школа, 1987 г.
3. Сивухин Д.В. «Общий курс физики, т.2, М., Наука, 1976 г.
4. Свитков Л.П. «Термодинамика и молекулярная физика», М., Просвещение, 1986 г.

б) дополнительная литература:

1. Гольдин Л.Л., Лабораторные занятия по физике. – М.: Наука, 1983.
2. Деденко Л.Г., Керженцев В.В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента / Под ред. А.Н. Матвеева. – М.: Издательство московского университета, 1977.
3. Деденко Л.Г., Д.Ф. Киселев, В.К. Петросян Общий физический практикум
4. Мойсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. – М.: Росучиздат, 1963.
5. Сивухин Д.Б. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Наука, 1990.
6. Физический практикум/Под ред. Проф. В.И. Ивероновой – М.: Наука, 1967.
7. Магомедов Х. А. Учебное пособие по выполнению лабораторных работ по молекулярной физике. Часть 1, часть2, 2004г.
8. Магомедов Х. А. Методическое пособие по выполнению лабораторных работ по молекулярной физике, часть1, часть2, 2003г.
9. Магомедов Х. А. Опорный конспект по молекулярной физике, 2003г.
10. Магомедов Х. А. Тесты по молекулярной физике, 2005г.
11. Магомедов Х. А. Опорный конспект по молекулярной физике, 2005г.
12. Магомедов Х. А. Рабочая программа УМК по молекулярной физике, 2006г.

## **9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
3. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства ([www.fepo.ru](http://www.fepo.ru)).
4. Физика [Электронный ресурс]: реф. журн. ВИНТИ. № 7 - 12, 2008 / Всерос. ин-т науч. и техн. информ. - М.: [Изд-во ВИНТИ], 2008. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - 25698-00.
5. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>



6. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета  
<http://edu.icc.dgu.ru>
7. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета  
<http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу **Научной электронной библиотеки elibrary.ru**).
8. Федеральный центр образовательного законодательства.  
<http://www.lexed.ru>

## **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

### **по подготовке к практическим занятиям**

Для лабораторных занятий по дисциплине «Молекулярная физика» у студента должна быть отдельная тетрадь. При подготовке к лабораторному занятию студент должен проработать теоретический материал, относящийся к теме занятия. При этом необходимо выяснить физический смысл всех величин, встречающихся в конспекте по данной работе. Должен составить конспект, ответить письменно на все контрольные вопросы. Должен знать установку, выполнение работы и ожидаемые результаты.

### **по организации самостоятельной работы**

Рабочей программой дисциплины «Молекулярная физика – физический практикум» предусмотрена самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа предполагает: чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины; подготовку к практическим занятиям; работу с Интернет-источниками; выполнение тестовых и индивидуальных заданий, подготовку к сдаче экзаменов.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе дисциплины. По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе дисциплины, следует сначала прочитать рекомендованную литературу и, при необходимости, составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса. Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы, материалы сайта физического факультета ДГУ и обучающих программ, предложенных преподавателем.

## **Методические рекомендации для преподавателя**

**1.** Изучив глубоко содержание учебной дисциплины, целесообразно разработать матрицу наиболее предпочтительных методов обучения и форм самостоятельной работы студентов, адекватных видам лекционных и семинарских занятий.

**2.** Необходимо предусмотреть развитие форм самостоятельной работы, выводя студентов к завершению изучения учебной дисциплины на её высший уровень.

**3.** Пакет заданий для самостоятельной работы следует выдавать в начале семестра, определив предельные сроки их выполнения и сдачи. Задания для самостоятельной работы желательно составлять из обязательной и факультативной частей.

**4.** Организуя самостоятельную работу, необходимо постоянно обучать студентов методам такой работы.

**5.** Вузовская лекция - главное звено дидактического цикла обучения. Её цель - формирование у студентов ориентировочной основы для последующего усвоения материала методом самостоятельной работы. Содержание лекции должно отвечать следующим дидактическим требованиям:

- изложение материала от простого к сложному, от известного к неизвестному;

- логичность, четкость и ясность в изложении материала;

- возможность проблемного изложения, дискуссии, диалога с целью активизации деятельности студентов;

- опора смысловой части лекции на подлинные факты, события, явления,

- статистические данные;

- тесная связь теоретических положений и выводов с практикой и будущей

- профессиональной деятельностью студентов.

Преподаватель, читающий лекционные курсы в вузе, должен знать существующие в

педагогической науке и используемые на практике варианты лекций, их дидактические и воспитывающие возможности, а также их методическое место в структуре процесса обучения.

**6.** При проведении аттестации студентов важно всегда помнить, что систематичность, объективность, аргументированность - главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний студентов. Проверка, контроль и оценка знаний студента, требуют учета его индивидуального стиля в осуществлении учебной деятельности. Знание критериев оценки знаний обязательно для преподавателя и студента.

**11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

Графики по полученным данным строятся с помощью различных компьютерных программ.