

**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>	Общая физика: лабораторный практикум
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Термоядерная энергетика и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра общей физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет
- 3 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 4 (весенний) - Дифференцированный зачет
- 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 300 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 300 час.

Самостоятельная работа: 375 час.

Всего часов: 675, всего зач. ед.: 15

Программу составили:

В.В. Усков, доцент

П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 04.04.2024

## Аннотация

В лабораторном практикуме по общей физике студенты выполняют лабораторные работы по всем основным разделам курса общей физики: «Механика», «Термодинамика и молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика» и «Квантовая микрофизика». В лаборатории кафедры представлено достаточное количество установок по каждому разделу курса. Лабораторные установки группируются по темам раздела. Темы лабораторных работ организованы в маршруты, по которым проводится выполнение работ студентами. Для каждой лабораторной работы подготовлены специальные описания: описание темы работы, описание эксперимента, проводимого в лабораторной работе и техническое описание лабораторной установки. В лабораторном практикуме рассматриваются ключевые понятия экспериментальной физики, студенты обучаются элементарным экспериментальным методам, а также навыкам работы с оборудованием.

Практическая работа в лаборатории позволяет студентам разобраться в базовых физических вопросах, без которых невозможно глубокое понимание общей физики. Для успешного освоения лабораторного практикума слушателю необходимо владеть базовыми навыками проведения эксперимента, полученными в школе, владеть основами математического анализа, знать основы линейной алгебры, теории вероятностей, а также применять знания, полученные на лекционных и семинарских занятиях по общей физике.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по физике и умения работать в лаборатории для дальнейшего использования в других дисциплинах естественнонаучного содержания; формирование культуры эксперимента, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

#### Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний по физике;
- формирование культуры эксперимента: умение работать в лаборатории, знать основные методы эксперимента, устанавливать логические связи между понятиями;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для постановки эксперимента, самостоятельного анализа полученных результатов.

### 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-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
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- методику проведения эксперимента;
- методику обработки полученных результатов.

уметь:

- работать с современным измерительным оборудованием;
- правильно обрабатывать полученные экспериментальные данные.

владеть:

- навыками работы с современным измерительным оборудованием;
- основными математическими инструментами, характерными для задач механики.

#### 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. работа
1	Вводные работы 1			4	5
2	Вводные работы 2			4	5
3	Защита работ.			4	5
4	Изучение электронного осциллографа			4	5
5	Определение моментов инерции твердых тел с помощью трифилярного подвеса.			4	5
6	Защита работ.			4	5
7	Экспериментальная проверка закона вращательного движения на крестообразном маятнике Обербека.			4	5
8	Определение ускорения свободного падения при помощи обратного маятника. Изучение физического маятника.			4	5
9	Определение модуля Юнга.			4	5
10	Защита работ.			4	5
11	Исследование прецессии уравновешенного гироскопа.			4	5
12	Изучение колебаний струны.			4	5
13	Определение скорости полета пули.			4	5
14	Исследование свободных колебаний связанных маятников.			4	5
15	Защита работ.			4	5
16	Стационарное течение (Бернулли, Пуазейль).			4	5
17	Вязкость жидкости, энергия активации.			4	5
18	Вакуум.			4	5
19	Диффузия.			4	5
20	Теплопроводность.			4	5
21	Молекулярные явления.			4	5
22	Защита работ			4	7
23	Определение $CP/CV$ газов.			4	5
24	Фазовые переходы.			4	5
25	Защита работ			4	5
26	Реальные газы.			4	5
27	Поверхностное натяжение.			4	5

28	Теплоемкость.			4	5
29	Защита работ			8	8
30	Магнитометр .Абсолютный вольтметр. Моделирование электрических полей.			4	5
31	Спектры электрических сигналов. Волновод. Синтез электрических сигналов.			4	5
32	Магнетрон (и фокусировка). Закон трёх вторых. Опыт Милликена.			4	5
33	Сдвиг фаз в цепи переменного тока. Резонанс напряжений.Резонанс токов.			4	5
34	Эффект Холла в полупроводниках . Эффект Холла в металлах. Магнетосопротивление полупроводников.			4	5
35	Свободные колебания . Вынужденные колебания . Дробовой шум . Колеб. контур с нелинейной ёмкостью.			4	5
36	Диа- и парамагнетики. Диа- и парамагнетики. Диа- и парамагнетики.Скин-эффект.			4	5
37	Баллистический гальванометр.			4	5
38	Релаксационный генератор. Тлеющий разряд . Высокочастотный разряд.			4	5
39	Петля гистерезиса (динамический метод) .Петля гистерезиса (статический метод). Параметрон.Двойное ярмо.			4	5
40	Защита работ			20	25
41	Кольца Ньютона. Интерферометр Жамена. Интерферометр Релея.			4	4
42	Центрированные оптические системы. Моделирование оптических приборов.Рефрактометр Аббе.			4	4
43	Изучение лазера.			4	4
44	Дифракция света.			4	4
45	Поляризация.			4	4
46	Интерференция волн СВЧ.			4	4
47	Дифракционные решётки (гониометр).			4	4
48	Двойное лучепреломление.			4	4
49	Дифракция на ультразвуковых волнах.			4	4
50	Разреш. способность микроскопа (метод Аббе).			4	4
51	Защита работ.			16	31
52	Эффект Поккельса.			4	4
53	Эффект Месбауэра. Исследование резонансного поглощения $\gamma$ квантов.			4	5
54	Исследование эффекта Комптона.			4	5
55	Магнитный момент легких ядер /ЯМР/.			4	5
56	Спектрометрия $\gamma$ – излучения с помощью сцинтилляционного спектрометра. Измерение абсолютной активности препарата Со методом $\gamma$ – $\gamma$ совпадений.			4	5
57	Определение энергии $\alpha$ частиц по величине их пробега в воздухе.			4	5

58	Измерение времени жизни мюонов на основании углового распределения интенсивности космических лучей.			4	5
59	Сцинтилляционный счетчик для детектирования космического излучения.			4	5
60	Обсуждение теоретических вопросов по предыдущим темам.			4	5
61	Изучение законов теплового излучения.			4	5
62	Фотоэффект.			4	5
63	Атом водорода.			4	5
64	Эффект Рамзауэра.			4	5
65	Измерение коэффициента ослабления потока $\gamma$ -лучей в веществе и определение их энергии. Работа по радиационной безопасности.			4	5
66	Исследование энергетического спектра -частиц и определение их минимальной энергии.			4	5
67	Опыт Франка-Герца.			4	5
Итого часов				300	375
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		675 час., 15 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Вводные работы 1

Изучаются систематические и случайные погрешности приборов на примере измерения удельного сопротивления нихромовой проволоки. Исследуются инструментальные погрешности аналоговых и цифровых приборов, законы сложения погрешностей, погрешность при получении прямой методом наименьших квадратов.

##### 2. Вводные работы 2

На примере космического излучения, регистрируемого счетчиком Гейгера, изучаются основные методы статистической обработки данных. Изучаются основные свойства нормального распределения и распределения Пуассона. Исследуется зависимость среднеквадратичного отклонения данных от числа измерений.

##### 3. Защита работ.

Проверяется знание студентами основ обработки результатов экспериментов. Защита работ.

##### 4. Изучение электронного осциллографа

Изучается устройство и принцип работы электронного осциллографа. Измеряются параметры простейших колебаний --- амплитуда, фаза и частоты. Исследуется влияние амплитудно-частотной и фазово-частотной характеристик на результат измерений с помощью осциллографа.

##### 5. Определение моментов инерции твердых тел с помощью трифилярного подвеса.

С помощью трифилярного подвеса измеряются периоды крутильных колебаний тел различной формы. По измеренным периодам вычисляются моменты инерции тел, значения которых сравниваются с полученными из расчетов по их геометрическим размерам. Экспериментально проверяется аддитивность моментов инерции и теорема Гюйгенса—Штейнера.

#### 6. Защита работ.

Проверяется знание студентами основ обработки результатов экспериментов. Защита работ.

#### 7. Экспериментальная проверка закона вращательного движения на крестообразном маятнике Обербека.

С помощью крестообразного маятника, к оси которого подвешиваются грузы различной массы, исследуется основной закон вращательного движения. Экспериментально проверяются соотношения для моментов инерции цилиндров и зависимости момента инерции от расстояния до оси вращения. Исследуется влияние сопротивления воздуха на искажение результатов опыта.

#### 8. Определение ускорения свободного падения при помощи оборотного маятника. Изучение физического маятника.

С помощью физического маятника в форме длинного стержня и оборотного маятника с подвижными грузами исследуются основные законы колебательного движения. Измеряются периоды колебаний маятников, исследуются зависимость периода от амплитуды колебаний и затухания. По значению периода измеряется ускорение свободного падения с высокой точностью.

#### 9. Определение модуля Юнга.

Исследуются малые упругие деформации растяжения/сжатия, изгиба и кручения для различных материалов (сталь, латунь, различные породы дерева). По значению деформации вычисляется модуль соответствующего материала различными способами.

#### 10. Защита работ.

Проверяется знание студентами основ обработки результатов экспериментов. Защита работ.

#### 11. Исследование прецессии уравновешенного гироскопа.

Исследуются законы движения быстровращающихся осесимметричных тел (гироскопов). По скорости прецессии гироскопа под действием постоянного момента сил определяется скорость вращения ротора. Момент инерции ротора определяется методом крутильных колебаний при сравнении с эталонным телом. По опускании оси гироскопа измеряется момент силы трения в оси гироскопа.

#### 12. Изучение колебаний струны.

Исследуются стоячие волны, возбуждаемые на натянутой стальной струне с закрепленными концами. Измеряются резонансные частоты в зависимости от силы натяжения нити, из чего определяется скорость распространения волн на струне и её линейная плотность. Регистрация колебаний проводится с помощью электромагнитного датчика, подключенного к электронному осциллографу. По ширине резонанса измеряется добротность колебательной системы.

#### 13. Определение скорости полета пули.

Скорость полета пули из пневматического ружья измеряется с помощью баллистического метода. Скорости вычисляются по амплитуде отклонения баллистического и крутильного маятников с использованием законов сохранения импульса, энергии и момента импульса.

#### 14. Исследование свободных колебаний связанных маятников.

Исследуются особенности колебаний системы из двух связанных маятников. Измеряются собственные частоты колебаний и исследуются собственные моды колебаний. Исследуется зависимость характера колебаний от константы связи маятников.

#### 15. Защита работ.

Проверяется знание студентами основ обработки результатов экспериментов. Защита работ.

### Семестр: 2 (Весенний)

#### 16. Стационарное течение (Бернулли, Пуазейль).

Изучаются свойства стационарных течений жидкостей и газов. Расход жидкости измеряется расходомерами Пито и Вентури. По зависимости расхода газа от перепада давления на участке трубы измеряется вязкость газа. По отклонению от закона Пуазейля определяется критическое число Рейнольдса, соответствующее переходу от ламинарного течения к турбулентному.

#### 17. Вязкость жидкости, энергия активации.

По вертикальному падению пробных шариков в вертикальной колбе, заполненной глицерином, измеряется коэффициент вязкости жидкости в зависимости от температуры. По установившейся скорости падения проверяется формула Стокса для силы сопротивления в вязкой жидкости. По температурной зависимости вязкости определяется энергия активации для молекул жидкости. Энергия активации сравнивается с энергией связи, теплотой испарения и энергией поверхностного натяжения.

#### 18. Вакуум.

Изучаются основные методы получения и измерения вакуума. Исследуется закон откачки в вязкостном режиме при откачке форвакуумным насосом и закон откачки в кнудсеновском режиме при высоком вакууме (с помощью диффузионного масляного или турбомолекулярного насосов). Измерение низкого вакуума проводится масляным, термпарным и терморезисторным вакуумметрами. Высокий вакуум измеряется ионизационным и магнетронным вакуумметрами.

#### 19. Диффузия.

Исследуется взаимная диффузия воздуха и гелия через тонкую трубку, соединяющую два сосуда. Концентрации газов измеряются терморезисторным датчиком по разности теплопроводности смеси. Исследуется применимость закона Фика и зависимость коэффициента взаимной диффузии от давления.

#### 20. Теплопроводность.

Исследуется зависимость коэффициента теплопроводности воздуха от температуры и давления. Измерения проводятся по нагреву проволоки, заключенной в цилиндрическую воздушную оболочку. Температура внешней оболочки контролируется термостатом, температура проволоки определяется по зависимости сопротивления материала проволоки от температуры. При низком давлении исследуется явление температурного скачка вблизи проволоки.

#### 21. Молекулярные явления.

Исследуются молекулярные процессы в сильно разреженных газах. Изучается процесс электрооткачки --- поглощения частиц газа анодом в результате ионизации электронным ударом. Измеряется давление насыщенных паров тугоплавких металлов по изменению давления при нагреве током образца в вакууме.

## 22. Защита работ

Проверяется знание студентами основ обработки результатов экспериментов. Защита работ.

## 23. Определение $CP/CV$ газов.

Измеряется показатель адиабаты методами Клемана-Дезорма и акустического резонанса. Вычисляется значение скорости звука. Измеряются параметры и их зависимость от температуры для воздуха и углекислого газа.

## 24. Фазовые переходы.

С помощью ртутного манометра и термостата измеряется зависимость давления насыщенных паров от температуры для воды и спирта. По полученной зависимости вычисляется теплота парообразования соответствующих жидкостей.

## 25. Защита работ

Проверяется знание студентами основ обработки результатов экспериментов. Защита работ.

## 26. Реальные газы.

Исследуется эффект Джоуля—Томсона просачивания газа через пористую перегородку для углекислого газа. Разность температур измеряется термопарой. Вычисляются коэффициенты Джоуля—Томсона и параметры газа Ван-дер-Ваальса. По измеренным параметрам производится оценка критических параметров газа и температуры инверсии эффекта.

## 27. Поверхностное натяжение.

Измеряется коэффициент поверхностного натяжения различных жидкостей (воды и спирта) в зависимости от температуры методом Ребиндера. Определяется полная свободная энергия поверхности и теплота образования единицы поверхности.

## 28. Теплоемкость.

Измеряется теплоёмкость твердых тел и теплоемкость газов при постоянном давлении для различных расходов. Температура твердого тела измеряется по зависимости сопротивления нагревателя от температуры. Температура газа измеряется термопарой.

## 29. Защита работ

Проверяется знание студентами основ обработки результатов экспериментов. Защита работ.

## Семестр: 3 (Осенний)

## 30. Магнитометр .Абсолютный вольтметр. Моделирование электрических полей.

Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли, и установление количественного соотношения между единицами электрического тока и напряжения в системах СИ и СГС. Изучение электростатических полей прямоугольного кабеля, плоского конденсатора, четырех заряженных цилиндров на электропроводной бумаге.



### 31. Спектры электрических сигналов. Волновод. Синтез электрических сигналов.

Изучение спектрального состава периодических электрических сигналов. Изучение возможности синтеза периодических электрических сигналов при ограниченном наборе спектральных компонент. Ознакомление с особенностями распространения электромагнитных волн в волноводе, аппаратурой и методами измерения основных характеристик протекающих при этом процессов.

### 32. Магнетрон (и фокусировка). Закон трёх вторых. Опыт Милликена.

Определение отношения заряда электрона к его массе методом магнитной фокусировки и методом магнетрона. Определение удельного заряда электрона на основе закона «трёх вторых» для вакуумного диода. Измерение элементарного заряда методом масляных капель по их движению в воздухе под действием силы тяжести и вертикального электрического поля.

### 33. Сдвиг фаз в цепи переменного тока. Резонанс напряжений. Резонанс токов.

Изучение влияния активного сопротивления, индуктивности и ёмкости на сдвиг фаз между током и напряжением в цепи переменного тока. Исследование резонансов напряжений и токов в последовательном и в параллельном колебательном контурах с изменяемой ёмкостью, получение амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик, определение основных параметров контуров.

### 34. Эффект Холла в полупроводниках . Эффект Холла в металлах. Магнетосопротивление полупроводников.

Исследование зависимости ЭДС Холла от величины магнитного поля при различных токах через образец для определения константы Холла. Измерение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках и металлах. Измерение зависимости сопротивления полупроводниковых образцов различной формы от индукции магнитного поля.

### 35. Свободные колебания . Вынужденные колебания . Дробовой шум . Колеб. контур с нелинейной ёмкостью.

Исследование свободных и вынужденных колебаний в электрическом колебательном контуре. Измерение заряда электрона по дробовому шуму. Изучение резонансных свойств нелинейного колебательного контура.

### 36. Диа- и парамагнетики. Диа- и парамагнетики. Диа- и парамагнетики. Скин-эффект.

Измерение магнитной восприимчивости диа- и парамагнитных образцов. Изучение температурной зависимости магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри. Исследование проникновения переменного магнитного поля в медный полый цилиндр.

### 37. Баллистический гальванометр.

Изучение работы высокочувствительного зеркального гальванометра магнитоэлектрической системы в режимах измерения постоянного тока и электрического заряда.

### 38. Релаксационный генератор. Тлеющий разряд . Высокочастотный разряд.

Исследование релаксационного генератора на стабилитроне. Изучение вольт-амперной характеристики нормального тлеющего разряда. Изучение свойств плазмы высокочастотного газового разряда в воздухе методом зондовых характеристик.

### 39. Петля гистерезиса (динамический метод) . Петля гистерезиса (статический метод). Параметрон. Двойное ярмо.

Изучение петель гистерезиса различных ферромагнитных материалов в переменных полях. Измерение начальной кривой намагничивания ферромагнетиков и предельной петли гистерезиса для образцов тороидальной формы, изготовленных из чистого железа или стали. Изучение параметрических колебаний в электрической цепи.

#### 40. Защита работ

Обработка полученных экспериментальных данных. Анализ причин, приводящих к ошибкам измерения, и расчет погрешностей измерения исследуемых величин. Представление проделанной работы в виде научного отчета. Защита полученных результатов. Обсуждение вопроса по выбору.

### Семестр: 4 (Весенний)

#### 41. Кольца Ньютона. Интерферометр Жамена. Интерферометр Релея.

Интерференционное измерение кривизны стеклянной поверхности с помощью колец Ньютона. Интерференционные измерения показателей преломления газов с помощью интерферометров Жамена и Релея.

#### 42. Центрированные оптические системы. Моделирование оптических приборов. Рефрактометр Аббе.

Изучение методов определения фокусных расстояний линз и сложных оптических систем. Определение характеристик оптической системы, составленной из тонких линз. Изучение сферической и хроматической аберраций. Изучение моделей зрительных труб Кеплера и Галилея и модели микроскопа. Измерение показателей преломления твёрдых и жидких тел в монохроматическом свете с помощью рефрактометра Аббе.

#### 43. Изучение лазера.

Изучение основных принципов работы гелий-неонового лазера, свойств лазерного излучения и измерение усиления лазерной трубки. Исследование состояния поляризации излучения лазера на исследуемой трубке. Наблюдение модовой структуры лазерного излучения.

#### 44. Дифракция света.

Исследование явления дифракции Френеля и Фраунгофера на щели. Изучение влияния дифракции на разрешающую способность оптических инструментов.

#### 45. Поляризация.

Ознакомление с методами получения и анализа поляризованного света. Определение показателя преломления эбонита через угол Брюстера. Исследование характера поляризации света в преломлённом и отражённом от стопы лучах. Исследование интерференции поляризованных лучей. Определение направления вращения светового вектора в эллиптически поляризованной волне.

#### 46. Интерференция волн СВЧ.

Изучение интерференции электромагнитных волн миллиметрового диапазона с применением двух оптических интерференционных схем. Экспериментальное определение длины волны излучения и показателя преломления диэлектрика. Экспериментальная проверка закона Малюса.

#### 47. Дифракционные решётки (гониометр).

Знакомство с работой и настройкой гониометра и определение спектральных характеристик амплитудной решётки. Исследование спектра ртутной лампы. Определение спектральных характеристик фазовой решётки (эшелетта).

48. Двойное лучепреломление.

Изучение зависимости показателя преломления необыкновенной волны от направления в двоякопреломляющем кристалле. Определение главных показателей преломления в кристалле.

49. Дифракция на ультразвуковых волнах.

Изучение дифракции света на синусоидальной акустической решётке и наблюдение фазовой решётки методом тёмного поля.

50. Разреш. способность микроскопа (метод Аббе).

Определение дифракционного предела разрешения объектива микроскопа методом Аббе. Определение периода решёток по их пространственному спектру, по изображению, увеличенному с помощью модели микроскопа, а также, по оценке разрешающей способности микроскопа. Пространственная фильтрация и мультиплицирование.

51. Защита работ.

Обработка полученных экспериментальных данных. Анализ причин, приводящих к ошибкам измерения, и расчет погрешностей измерения исследуемых величин. Представление проделанной работы в виде научного отчета. Защита полученных результатов. Обсуждение вопроса по выбору.

52. Эффект Поккельса.

Исследование интерференции рассеянного света, прошедшего кристалл. Наблюдение изменения характера поляризации света при наложении на кристалл электрического поля.

Семестр: 5 (Осенний)

53. Эффект Мессбауэра. Исследование резонансного поглощения  $\gamma$  квантов.

С помощью метода доплеровского сдвига в мессбауэровской линии поглощения исследуется резонансное поглощение  $\gamma$ -квантов, испускаемых ядрами олова. Определяется положение максимума резонансного поглощения, его величина, а также экспериментальная ширина линии.

54. Исследование эффекта Комптона.

С помощью сцинтилляционного спектрометра исследуется энергетический спектр  $\gamma$ -квантов, рассеянных на графите. определяется энергия рассеянных  $\gamma$ -квантов в зависимости от угла рассеяния, а также энергия покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние.

55. Магнитный момент легких ядер /ЯМР/.

Методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) измеряются g-факторы протона, дейтрона и ядра фтора и вычисляются их магнитные моменты. Результаты сравниваются с вычисленными на основе кварковой модели адронов и одночастичной оболочечной модели ядер.

56. Спектрометрия  $\gamma$  – излучения с помощью сцинтилляционного спектрометра. Измерение абсолютной активности препарата Со методом  $\gamma$  –  $\gamma$  совпадений.

Методом - совпадений измеряется абсолютная активность препарата Со. После этого определяется энергия -квантов неизвестного радиоактивного препарата.

#### 57. Определение энергии $\alpha$ частиц по величине их пробега в воздухе.

Измеряется пробег -частиц в воздухе двумя способами: с помощью торцевого счетчика Гейгера и сцинтилляционного счетчика. По полученным величинам определяется энергия частиц.

#### 58. Измерение времени жизни мюонов на основании углового распределения интенсивности космических лучей.

С помощью телескопа из двух сцинтилляторов измеряется угловое распределение жесткой компоненты космического излучения. На основе полученных данных оценивается время жизни мюона.

#### 59. Сцинтилляционный счетчик для детектирования космического излучения.

Измеряется зависимость вероятности образования ливней вторичных заряженных частиц в свинце от лубины уровня наблюдения (каскадная кривая). По результатам оценивается средняя энергия частиц в ливне.

#### 60. Обсуждение теоретических вопросов по предыдущим темам.

Проверяется знание студентами основ обработки результатов экспериментов, методов регистрации частиц и конструкций фотоумножителей. После этого излагаются основные модели взаимодействия излучения с веществом и элементы физики высоких плотностей энергии.

#### 61. Изучение законов теплового излучения.

Оптическим пирометром с исчезающей нитью и термопарой исследуется излучение накаливаемых тел. В модели абсолютно черного тела вычисляются значения постоянных Планка и Стефана-Больцмана.

#### 62. Фотоэффект.

Исследуется зависимость фототока от величины задерживающего потенциала и частоты падающего излучения. По результатам вычисляется значение постоянной Планка.

#### 63. Атом водорода.

Исследуются закономерности в оптическом спектре атома водорода. По результатам вычисляются постоянная Ридберга для двух изотопов, их потенциалы ионизации, изотопические сдвиги линий.

#### 64. Эффект Рамзауэра.

Исследуется энергетическая зависимость вероятности рассеяния медленных электронов атомами ксенона. По результатам измерений оценивается размер внешней электронной оболочки атома.

#### 65. Измерение коэффициента ослабления потока $\gamma$ -лучей в веществе и определение их энергии. Работа по радиоационной безопасности.

С помощью сцинтилляционного счетчика измеряются линейные коэффициенты ослабления потока  $\gamma$ -лучей в свинце, железе и алюминии. По результатам определяется энергия -квантов.

66. Исследование энергетического спектра -частиц и определение их минимальной энергии.

С помощью магнитного спектрометра исследуется энергетический спектр -частиц при распаде ядер цезия. Калибровка спектрометра осуществляется по энергии электронов внутренней конверсии.

67. Опыт Франка-Герца.

Методом электронного возбуждения измеряется энергия первого уровня атома гелия. Сравниваются результаты, полученные в динамическом и статическом режимах.

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

Семестр: 1 (Осенний) Механика:

Лаборатория 501 ГК.

1.1.1 Определение систематических и случайных погрешностей на примере измерения удельного сопротивления нихромовой проволоки -11 установок.

1.3.1 Определение модуля Юнга на основе исследования деформаций растяжения и изгиба - 6 установок.

(Лабораторный стенд 6 шт.)

1.3.2 Определение модуля кручения стержней статическим и динамическим способами - 3 установки

1.4.2 Определение ускорения свободного падения при помощи оборотного маятника - 6 установок.

1.4.4 Исследование свободных колебаний связанных маятников - 1 установка.

Лаборатория 502 ГК.

1.1.1 Определение систематических и случайных погрешностей на примере измерения удельного сопротивления нихромовой проволоки -12 установок.

1.2.3 Определение момента инерции твёрдых тел с помощью трифилярного подвеса – 9 установок

1.4.5 Изучение колебания струны

Лаборатория 503 ГК.

1.1.4 Измерение интенсивности радиационного фона – 12 установок.

1.1.6 Изучение электронного осциллографа – 18 установок.

Лаборатория 505 ГК.

1.1.3 Статистическая обработка результатов многократных измерений физических величин – 7 установок.

1.1.4 Измерение интенсивности радиационного фона – 12 установок.

1.2.5 Исследование прецессии уравновешенного гироскопа 8 установок.

1.4.1 Изучение физического маятника -4 установки.

1.4.2 Определение ускорения свободного падения при помощи оборотного маятника 1 установка.

Лаборатория 506 ГК.

1.2.1 Определение скорости полета пули 8 установок.

1.1.5 Исследование упругих столкновений протонов с электронами - 4 установки.

Лаборатория 507 ГК.

1.2.2 Экспериментальная проверка закона вращательного движения на крестообразном маятнике Обербека - 10 установок.

1.2.4 Определение главных моментов инерции твердых тел с помощью крутильных колебаний – 4 установки.

1.1.1 Измерение удельного сопротивления нихромовой проволоки. – 8 установок

Лаборатория 324а ГК

1.4.8 Определение модуля Юнга методом акустического резонанса. – 8 установок.

Семестр: 2 (Весенний) Термодинамика и молекулярная физика

Лаборатория 315 ГК.

2.3.1 Получение и измерение в вакууме 6 установок.

2.2.2 Измерение теплопроводности газов при разных давлениях 2 шт.

2.2.3 Измерение теплопроводности газов при атмосферном давлении 4 установки.

2.2.4 Теплопроводность твердого тела 4 установки.

Лаборатория 317 ГК.

2.2.1 Исследование взаимной диффузии газов 6 установок.

2.2.7 Исследование диффузии газов в пористой среде 1 установка.

2.1.6 Эффект Джоуля-Томсона 4 установки.

2.1.5 Исследование термических эффектов, возникающих при упругих деформациях 3 установки.

Лаборатория 319 ГК.

1.3.3 Определение вязкости воздуха по скорости течения через тонкие трубки 6 установок.

2.2.5 Определение вязкости жидкости по скорости истечения через капилляр 4 установки.

2.2.6 Определение энергии активизации по температурной зависимости вязкости жидкости 5 установок.

2.5.1 Измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости -8 установок.

Лаборатория 320 ГК,

2.1.2 Определение  $\gamma_P/\gamma_V$  методом адиабатического расширения газов 4 установок

2.1.3 Определение  $\gamma_P/\gamma_V$  по скорости звука в газе. 3 установок.

Лаборатория 324 ГК.

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 1 : Механика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 4-е изд., стереотип. — М. : Физматлит , 2002, 2006, 2010, 2014 .— 560 с. — 560 с.
2. Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм. Колебания и волны, волновая оптика / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов ; под ред. А. С. Кингсеп. — 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007 .— 704 с.
3. Общая физика. Механика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. А. Кириченко, К. М. Крымский ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2013 .— 290 с.
4. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 1 : Механика : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Д. Гладуна ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., испр. — М. : МФТИ, 2012 .— .— 292 с.
5. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 2 : Термодинамика и молекулярная физика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 5-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2005, 2006, 2011, 2014 .— 544 с.
6. Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 2 : учебник для вузов. Квантовая и статистическая физика. Термодинамика / В. Е. Белонучкин, Д. А. Заикин, Ю. М. Ципенюк ; под ред. Ю. М. Ципенюка .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007 .— 608 с.
7. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. А. Кириченко .— 4-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2012 .— 192 с.
8. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 1 : Термодинамика и молекулярная физика : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Д. Гладуна ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 3-е изд., испр. — М. : МФТИ, 2012 .— 292 с.
9. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 3, Ч. 1 : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1996. — 320 с.
10. Основы физики. Курс общей физики [Текст] : в 2 т. Т. 1 : Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика : учебник для вузов / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов .— М. : Физматлит, 2001 .— 560 с.
11. Электричество и магнетизм [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. А. Кириченко ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2011 .— 420 с.
12. Квантовая микро- и макрофизика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ципенюк .— М. : Физматкнига, 2006 .— 640 с.
13. Начальные главы квантовой механики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко .— М. : Физматлит, 2004,2006 .— 360 с.
14. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 5 : Атомная и ядерная физика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 2-е изд., стереотип. — М. : Физматлит : МФТИ, 2002, 2006,2008 .— 784 с.
15. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 2 : Оптика : учеб. пособие для вузов / под ред. А. В. Максимычева ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2014 .— 446 с.
16. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 3 : Квантовая физика : учеб. пособие для вузов / Ф. Ф. Игошин, Ю. А. Самарский, Ю. М. Ципенюк ; под ред. Ю. М. Ципенюка ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2005 .— 432 с.
17. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 2 : Электричество и магнетизм : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Д. Гладуна ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Изд-во МФТИ, 2007 .— 280 с.
18. Калашников Н.П., Смондырев М.А./Основы физики в 2-х томах М.-Лаборатория знаний, 2017

### Дополнительная литература

1. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] : учеб. пособ. для вузов / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц .— 2-е изд., испр. — М. : Наука, 1969 .— 400 с.
2. Методы решения задач в общем курсе физики. Механика [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Корявов .— 2-е изд., испр. — М. : Студент, 2012 .— 382 с.

3. Молекулярная физика и термодинамика [Текст] : Основные положения и решение задач : учеб. пособие для вузов / П. Ф. Коротков ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : МФТИ, 2009 .— 168 с.
4. Методы решения задач в общем курсе физики. Термодинамика и молекулярная физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Корявов .— 2-е изд., испр. — М. : Студент, 2013 .— 358 с.
5. Электричество [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов : доп. М-вом образования Рос. Федерации / С. Г. Калашников .— 6-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 1985, 2004, 2008 .— 624 с.
6. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. С. Горелик ; под ред. С. М. Рытова .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2007 .— 656 с.
7. Оптика [Текст] : учеб. пособие для физ. спец. вузов / Г. С. Ландсберг .— 6-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2003 , 2006, 2010 .— 848 с.
8. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / И. Ф. Щеголев .— 2-е изд., испр. — Долгопрудный : Интеллект, 2008 .— 208 с.
9. Молекулярная физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин .— 2-е изд., перераб. — М. : Наука, 1976 .— 480 с.
10. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. С. Горелик ; под ред. С. М. Рытова .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2007 .— 656 с.



Рекомендованная литература для самостоятельного изучения.

Физические основы механики : учеб. пособие для вузов / С. Э. Хайкин .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1971 .— 752 с.

Механика / Ч.Киттель,В.Найт,М.Рудерман ; пер.с англ.под ред.А.И.Шальникова,А.С.Ахматова .— 3-е изд.,испр. — М. : Наука, 1983 .— 448с.

Фейнмановские лекции по физике. Вып. 1 - 2 : [учеб. пособие для вузов]. Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; пер. с англ. А. В. Ефремов [и др.] .— 3-е изд. — М. : Мир, 1976 .— 440 с.

Элементы релятивистской механики : учеб. пособие для вузов / А. Д. Гладун ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т .— М. : МФТИ, 2003 .— 47 с.

Относительно относительности: [учеб. - метод. пособие для студентов 1 курса МФТИ] / В. Е. Белонучкин ; Моск. физико-техн. ин-т (гос.ун-т .— Долгопрудный : МФТИ, 1996 .— 32 с.

Статистическая физика : Т. 5 / Ф. Рейф ; пер. с англ. ; под ред. А. И. Шальникова, А. О. Вайсенберга .— М. : Наука, 1972 .— 352 с.

Термодинамика : учебник для ун-тов / И. П. Базаров .— 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1991 .— 376 с.

Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур [Текст] : [учебник для вузов] / И. Пригожин, Д. Кондепуди ; пер. с англ. Ю. А. Данилова, В. В. Белого ; под ред. Е. П. Агеева .— М. : Мир, 2002 .— 461 с.

Энтропия : уч. пособие для вузов : рек. УМО Моск. физико-техн. ин-та / Д. А. Заикин ; М-во образов. РФ, Моск. физико-техн. ин-т .— М. : МФТИ, 2003 .— 56 с.

Основы теории электричества : учеб.пособие для ун-тов;доп.Гос.ком.СССР / И.Е.Тамм .— 10-е изд.,испр. — М. : Наука, 1989 .— 504с.

Электричество и магнетизм: [учеб. пособие для вузов] / Э. Парселл ; пер. с англ. под ред. А. И. Шальникова, А. О. Вайнсберга .— / 3-е изд., испр. — М. : Наука, 1983 .— 416 с.

Фейнмановские лекции по физике. Вып. 5 : [учеб. пособие для вузов]. Электричество и магнетизм / Р. Фенман, Р. Лейтон, М. Сэндс .— 2-е изд. — М. : Мир, 1977 .— 300 с.

Фейнмановские лекции по физике. Вып. 6 : Электродинамика : [учеб. пособие для вузов] / Р. Фейнман, Р.Лейтон, М. Сэндс ; пер. с англ. А. В. Ефремова [и др.] ; под ред. Я. А. Смородинского .— 2-е изд. — М. : Мир, 1977 .— 347 с.

Фейнмановские лекции по физике [Текст]. Вып. 7 : Физика сплошных сред : [учеб. пособие для вузов] / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; пер.с англ. А. В. Ефремова [и др.] ; под ред. Я. А. Смородинского .— 2-е изд. — М. : Мир, 1977 .— 228 с.

Оптика: учеб. пособие для вузов / Е. И. Бутиков ; под ред. Н. И. Калитеевского .— М. : Высшая школа, 1986 .— 512 с.

Основы оптики: [учеб. пособие для вузов] / М. Борн, Э. Вольф ; пер. с англ. С. Н. Бреуса, А. И. Головашкина, А. А. Шубина ; под ред. Г. П. Мотулевич .— М. : Наука, 1970 .— 855 с.

Физическая оптика: учебник для вузов / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин .— М : Изд-во МГУ, 2004 .— 656 с.

Введение в когерентную оптику и голографию [Текст] : учебно-метод. пособие по курсу : Общая физика / сост. С. М. Козел [и др.] ; М-во образования РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т), Каф. общей физики .— М. : МФТИ, 2000 .— 42 с.

Дополнительная литература:

1. Прут Э.В. Теплофизические свойства твёрдых тел. — М.: МФТИ. 2012.

2. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра.М.: ЛКИ, 2007.

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

1. <http://mipt.ru/education/chair/physics/index.php> Сайт кафедры общей физики
2. <http://lib.mipt.ru/catalogue/94/?t=748>- электронная библиотека Физтеха, раздел «Физика».
3. <http://www.physics.ru>- образовательный сайтс элементарными сведениями по физике.
4. <http://www.edu.ru>- федеральный портал «Российское образование».
5. <http://benran.ru>-библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
6. <http://www.i-exam.ru>- единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

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

На данных компьютерах используются ОС MSWindows, FreeDOS, программа MathCAD, а также программы, разработанные программистами учебно-методического центра кафедры.

В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Scilab, Originи др.

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

Студент, изучающий курс общей физики, 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:

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к лабораторным занятиям, коллоквиумам, дифференцированному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения. Значительно облегчить решение задачи может хорошо выполненный чертеж, если он соответствует условию задачи (прямой угол нарисован прямым, равнобедренный треугольник - равнобедренным и т. д.). При подготовке к практическим занятиям необходимо повторять ранее изученные основные определения, формулировки теорем. В начале занятия, как правило, проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме. Обычно придерживаются следующей схемы: изучение материала лекции по конспекту в тот же день, когда была прослушана лекция (10-15 минут); повторение материала накануне следующей лекции (10-15 минут), проработка учебного материала по конспектам лекций, учебной и научной литературе, подготовка ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения (1 час неделю), подготовка к практическому занятию, решение задач (1 час). Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору или преподавателю, ведущему практические занятия.

Обязательным требованием является выполнение домашних работ, которые оформляются в специально отведённой для этого тетради и систематически сдаются на проверку.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Термоядерная энергетика и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра общей физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет
- 3 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 4 (весенний) - Дифференцированный зачет
- 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

В.В. Усков, доцент

П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент

## 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-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
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: лабораторный практикум» обучающийся должен:

### знать:

- методику проведения эксперимента;
- методику обработки полученных результатов.

### уметь:

- работать с современным измерительным оборудованием;
- правильно обрабатывать полученные экспериментальные данные.

### владеть:

- навыками работы с современным измерительным оборудованием;
- основными математическими инструментами, характерными для задач механики.

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

1. С какой точностью измерять длину стержня и сопротивление термометра при достигнутой точности  $\Delta L$ ?
2. Какой вклад в ошибку измерения  $\alpha$  вносят погрешности и измерения цены деления окулярной шкалы, в определении положения метки, в измерении комнатной температуры и погрешность температурного коэффициента сопротивления?
3. Близорукие и дальнозоркие наблюдатели настраивают микроскоп так, что изображение  $I_2$  оказываются на очень малом или, наоборот, очень большом расстоянии от глаза. Какое из увеличений – линейное или угловое – при этом меньше меняется?

Работа 1.1.5. Исследование упругих столкновений протонов с электронами.

Контрольные вопросы

1. Выведите формулы, связывающие угол вылета электрона с его импульсом, в нерелятивистской и релятивистской механике.
2. Получите зависимость скорости частиц в релятивистской механике от их импульса и энергии.
3. Выведите формулу, связывающую импульс электрона с радиусом его траектории в магнитном поле. Покажите, что эта формула справедлива как в нерелятивистской механике, так и релятивистской

Работа 1.2.1. Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника.

I. Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

Контрольные вопросы

1. В каком случае маятник называется баллистическим и для чего он может быть использован?
2. При каких условиях начальный импульс баллистического маятника равен импульсу пули?
3. Почему необходимо использовать неупругое соударение пули с маятником?
4. Оцените время соударения пули с маятником в проводимых опытах.

5. От чего зависит точность выполнения закона сохранения импульса при соударении тел?
6. Каковы требования к установке оружия?
7. Что влияет на затухание колебаний баллистического маятника?
8. Какие допущения, сделанные при выводе формулы (5), могут быть проверены экспериментально?
9. Для чего нити подвеса разведены в поперечном направлении?

## II. Метод крутильного баллистического маятника

### Контрольные вопросы

1. Как сказывается на применимости данного метода отличие угла, под которым направлена скорость пули к поверхности мишени, от прямого?
2. При каких амплитудах колебаний маятника следует измерять периоды?
3. Как влияет импульс пули на колебания маятника?
4. Какая доля энергии пули переходит в тепло в I и II опыте в результате соударения с маятником?

Работа 1.2.2. Экспериментальная проверка закона вращательного движения на крестообразном маятнике.

### Контрольные вопросы

1. Почему стремятся уменьшить величину момента сил трения в оси маятника?
2. Какова роль толщины и упругости нити в опыте?
3. Какую величину в данном эксперименте следует измерять с наибольшей точностью?
4. Сформулируйте и докажите теорему Гюйгенса-Штейнера.

Работа 1.2.3. Определение моментов инерции твердых тел с помощью трифилярного подвеса.

### Контрольные вопросы

1. При каких упрощающих предположениях выведена формула (10).
2. Можно ли пользоваться предложенным методом для определения моментов инерции тел в том случае, когда ось вращения платформы не проходит через центр массы?
3. Выведите формулу Гюйгенса-Штейнера.

Работа 1.2.4. Определение главных моментов инерции твердых тел с помощью крутильных колебаний.

### Контрольные вопросы

1. Что такое главные моменты инерции твердого тела?
2. Как выглядит эллипсоид инерции кубика?
3. Как происходит свободное (в отсутствие внешних моментов сил) вращение твердого тела?

Работа 1.2.5. Исследование вынужденной регулярной прецессии гироскопа.

### Контрольные вопросы

1. Что такое гироскоп? Каковы его основные свойства?
2. От чего зависит скорость регулярной прецессии гироскопа?
3. Какова размерность модуля кручения, входящего в формулу для определения периода крутильных колебаний?
4. Получите формулу (9) из формулы (8).
5. Чем объяснить, что монета, катящаяся по полу, поворачивается на сторону, в которую она наклонена?

Работа 1.3.1. Определение модуля Юнга на основе исследования деформаций растяжения и изгиба.

### Контрольные вопросы

1. Какие основные источники погрешности измерений? Каким образом можно уменьшить погрешности?
2. Оцените максимальную точность, с которой при данных условиях целесообразно измерять удлинение проволоки и стрелку прогиба бруска.
3. В чем различие между одноосным напряженным состоянием и одноосным деформируемым состоянием?
4. При каких напряжениях и относительных деформациях выполняется закон Гука?
5. Какие отклонения от закона Гука возможны при деформировании твердых тел?
6. Что такое коэффициент Пуассона?
7. Какие предположения сделаны, чтобы получить связь максимального прогиба балки с модулем Юнга?

8. В какой зависимости  $y(x)$  описывается форма средней линии балки при чистом изгибе?

9. Для чего в приборе Лермантова нужна площадка М?

Работа 1.3.2. Определение модуля кручения.

Контрольные вопросы

1. Как трение в осях блоков Б влияет на результаты измерений статическим методом? Как можно уменьшить это влияние?
2. Как меняется период колебаний при увеличении их затухания?
3. Какой метод предпочтительнее на практике: статический или динамический?
4. Как оценить погрешность измерения модуля кручения при определении его из графика в координатах  $I_2, T_2$ ?

Работа 1.3.3. Определение вязкости воздуха по скорости течения через тонкие трубки.

Контрольные вопросы

1. Какой формулой описывается профиль скорости ламинарного потока в трубке? Как соотносятся средняя по сечению и максимальная скорости?
2. Что такое число Рейнольдса? Как его можно определить из экспериментальных данных?
3. Как графически надо обработать результаты измерений по п.8, чтобы из них достоверно было видно различие участков со сформированным и несформированным течениями?

Работа 1.3.4. Исследование стационарного потока жидкости в трубе.

Контрольные вопросы

1. При каких предположениях получено уравнение Бернулли?
2. В какую сторону изменяет показания расходомеров Пито и Вентури наличие вязкости?
3. При каких уровнях воды Н в резервуаре 1 течение в трубе Т ламинарное, при каких - турбулентное?
4. В некотором опыте происходит ламинарное течение жидкости по трубе. Как будет изменяться течение, если использовать все менее вязкую жидкость, оставляя неизменным диаметр трубы, скорость течения и плотность жидкости?
5. При каком течении - турбулентном или ламинарном – получается лучшее согласие скорости, определенной по расходомерам Пито и Вентури, со скоростью, найденной с помощью резервуара П?
6. Выведите формулу Торричелли. Используя формулу Торричелли, оцените скорости вытекания воды из очень короткой трубы при различных уровнях Н. Почему реальные скорости вытекания из длинной трубы значительно меньше? В расходомерах Пито и Вентури оцените разницу уровней воды  $\Delta h_v$  левых измерительных трубках, присоединенных к трубе Т в местах одинакового сечения. Как можно объяснить наличие разницы давлений? Какие получатся результаты, если с помощью линейного экстраполирования попытаться найти давления на концах трубы Т?

Работа 1.4.1. Изучение физического маятника.

Контрольные вопросы

1. При каких упрощающих предположениях выведена формула (4)?
2. При каком расстоянии от центра масс до точки подвеса период колебаний маятника минимален?
3. Как будет вести себя физический маятник, если совместить точку его подвеса с центром масс?
4. С какой целью в данной работе математический маятник подвешивается на двух нитях?
5. Сформулируйте и докажите теорему Гюйгенса-Штейнера?

Работа 1.4.2. Определение ускорения свободного падения при помощи обратного маятника.

Контрольные вопросы

1. Как влияют на точность эксперимента колебания температуры, сила трения, амплитуда колебаний маятника?
2. При каком расстоянии от опорной призмы до центра масс период колебаний маятника минимален?
3. Покажите, что точка опоры маятника и его центр качания лежат по разные стороны от центра масс.
4. Сформулируйте и докажите теорему Гюйгенса-Штейнера.
5. Покажите, что при перемещении оси качаний в центр качаний период колебаний маятника не должны изменяться,

Работа 1.4.3. Исследование нелинейных колебаний длиннопериодного маятника.

#### Контрольные вопросы

1. Как меняется период колебания маятника при увеличении затуханий?
2. Как устроен длиннопериодный маятник, имеющий большие периоды колебаний при небольших размерах? Можно ли в работе вместо него использовать обычный маятник?
3. Как изменяется период колебания маятника при увеличении амплитуды колебаний?

Работа 1.4.4. Исследование свободных колебаний связанных маятников.

#### Контрольные вопросы

1. Приведите примеры колебательных систем с двумя степенями свободы.
2. Что такое нормальное колебания (моды)?
3. Какие колебания называются парциальными?
4. При каком начальном условии возникает поочередная раскачка маятника?
5. Выведите формулу (17).

Работа 1.4.5. Изучение колебаний струны.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое продольные и поперечные волны? Напишите уравнение бегущей волны.
2. Выведите уравнение стоячей волны. Дайте определение пучности и узла стоячей волны. Как происходит передача энергии по струне?
3. Покажите, что скорость распространения поперечных волн по струне равна. Чему равна эта скорость в ваших измерениях?
4. Как происходит отражение бегущей волны от жестко закрепленного конца струны и от конца, который может свободно двигаться в направлении, перпендикулярном к направлению натяжению струны? Как меняется фаза отраженной волны?
5. При каком условии влиянием бегущей волны на картину колебаний струны можно пренебречь? Как это условие можно проверить при проведении эксперимента?

Работа 1.4.6. Измерение скорости ультразвука в жидкости с помощью ультразвукового интерферометра.

#### Контрольные вопросы

1. Какие механические колебания называются ультразвуковыми?
2. Что такое продольные и поперечные волны и какова их природа? В каких веществах они могут распространяться?
3. Напишите выражение для бегущей волны.
4. При каких условиях возможна интерференция волн?
5. Выведите формулу, определяющую условия возникновения резонанса в интерферометре. Как влияют граничные условия на эту формулу?
6. При каких условиях возникает стоячая волна? Что такое узлы и пучности? Как происходит передача энергии в волне?
7. Почему в растворах электролитов скорость распространения ультразвука больше, чем в чистой воде?
8. Какие изменения следовало бы сделать в интерферометре, чтобы можно было производить измерения в газах?

Работа 1.4.7. Определение упругих констант жидких и твердых тел по скорости распространения ультразвука.

#### Контрольные вопросы

1. При определении скорости распространения ультразвука с помощью дефектоскопа на экране помимо последовательно отраженных импульсов наблюдаются побочные импульсы. Какие причины приводят к появлению этих импульсов? Как от них избавиться?
2. При измерении скорости ультразвука с помощью щупа в результат вносится систематическая погрешность, возникающая из-за того, что между излучателем и исследуемым материалом находится клиновидная часть плексигласового щупа. Оцените величину этой погрешности, исходя из размеров щупа и образца.
3. Покажите, что коэффициент отражения ультразвуковой волны на границе двух сред не зависит от направления движения волны.

Работа 2.1.2.

1. Зависит ли  $\gamma$  от температуры в выбранном интервале температур?
2. Чему равны  $C_p$ ,  $C_v$  и  $\gamma$  для идеальных газов по теореме о равномерном распределении энергии по степеням свободы?

3. Почему при наполнении сосуда воздух в нём нагревается?
4. Сделайте оценку времени вытекания газа, используя формулу Пуазейля.

#### Работа 2.1.3.

1. Выведите формулы (1.16) и (1.17).
2. Зависит ли  $\gamma$  от температуры в выбранном интервале температур?
3. Будет ли наблюдаться такая зависимость при изменении температуры от очень малых значений до 1000 °С?

#### Работа 2.1.4.

1. Как определяются удельная и молярная теплоёмкости?
2. Чему равна атомная теплоёмкость металла по классической теории? Чему равна молярная теплоёмкость химического соединения?
3. Какие меры рекомендуется применять для уменьшения ошибок измерения, связанных с потерями?

#### Работа 2.1.5.

1. Какие условия нужно выполнить, чтобы процесс деформации был обратимым?
2. Покажите, что при малых  $\lambda$  и  $\Delta T$  формула (15) приводит к обычным выражениям для упругого растяжения и для теплового расширения.
3. Возможен ли случай, когда деформация резины не сопровождается тепловым эффектом?

#### Работа 2.1.6.

1. Чем отличаются реальные газы от идеальных?
2. Начертите кривые, выражающие характер зависимости сил взаимодействия и взаимной потенциальной энергии двух молекул от расстояния между ними, и, используя их, объясните причины эффекта Джоуля-Томсона.
3. Какая температура называется критической? Что такое температура инверсии?
4. Объясните качественно знак эффекта Джоуля-Томсона в случае  $a = 0$ ,  $b \neq 0$  и в случае  $a \neq 0$ ,  $b = 0$ .

#### Работа 2.2.1.

1. Покажите, что в условиях опыта концентрацию газов можно считать постоянной по всему объёму сосуда  $V_1$  (и  $V_2$ ).
2. Почему следует ожидать, что график зависимости  $D$  от  $1/P$  должен иметь вид прямой линии?

#### Работа 2.2.2.

1. Почему теплоотвод от нити падает при уменьшении давления от нескольких тор до десятых долей тора?
2. Зависит ли теплоотвод от давления в области более высоких давлений? (Обсудите в том числе механизмы, отличные от теплопроводности.)

#### Работа 2.2.3.

1. Как известно из кинетической теории газов, длина свободного пробега  $\lambda$  зависит от концентрации  $n$  следующим образом:  $\lambda = 1/\sigma n$ . Что вы можете сказать о зависимости  $\sigma$  от температуры на основании полученных в п. 6 результатах?
2. Почему приборы для измерения теплопроводности газов всегда устанавливают так, что цилиндрический столб газа делается тонким и длинным и располагается вертикально?
3. Оцените влияние теплоотдачи через концы проволоки.
4. Всевозможные термоэдс обычно имеют величину нескольких микровольт на градус. Оцените величину тока в нити, при котором термоэдс в цепи вольтметра будут заметно искажать результаты измерений.
5. Какова разность температур между нитью и кожухом при токе 150 мА? Сопоставьте теоретический расчёт со своими экспериментальными результатами.



6. При выводе формулы (1) пренебрегалось зависимостью теплопроводности от температуры, поэтому она справедлива только при  $\Delta T \ll T$ . Оцените связанную с этим погрешность в определении  $\chi$ , получив точную формулу в предположении, что зависимость теплопроводности от температуры имеет вид  $\chi \sim T^\beta$ .

#### Работа 2.2.4.

1. Дайте определение коэффициента теплопроводности и укажите его размерность.
2. Выведите формулу, аналогичную формуле (3), но учитывающую изменение площади потока тепла от  $S_1$  до  $S_2$ .
3. Выведите формулу (6), учитывающую разную чувствительность термопар.
4. Удаётся ли экспериментально на данной установке проверить, зависит ли коэффициент теплопроводности эталонного материала от температуры? Мешают ли этому тепловые потери через боковые поверхности?
5. Используя экспериментальные значения зависимости температуры от радиуса, постройте изотермы и нарисуйте линии потока тепла (хотя бы три изотермы и три линии потока тепла, но, чтобы они охватывали всю площадь сечения пакета пластин).

#### Работа 2.2.5.

1. Почему в первом упражнении рекомендовалось определять вязкость воды графическим методом? Не лучше ли определять искомую вязкость из опытов, полученных для разных высот трубки? Казалось бы, усредняя результаты этих опытов, можно не только найти близкие к истине значения вязкости, но и надёжно оценить погрешность опытов по разбросу полученных значений. Чем плох такой способ обработки?
2. Разность давлений, которую нужно приложить к жидкости, чтобы получить заданную скорость её протекания через трубку при ламинарном течении, зависит от вязкости жидкости. Важно ли знать вязкость жидкости, если нужно рассчитать её расход при турбулентном течении? Какие характеристики жидкости нужно знать для такого расчёта?

#### Работа 2.2.6.

1. Из рассмотренной модели жидкости следует, что для перемещения молекулы в соседнюю «дырку» должны быть разорваны её связи с соседними молекулами. Разрыв связей происходит и при испарении жидкости. Поэтому можно ожидать, что энергия активации молекулы близка к энергии кипения жидкости, приходящейся на одну молекулу. Подтверждают ли этот вывод результаты проведённого эксперимента? Значение энергии испарения исследуемой жидкости возьмите из справочника.
2. При определении вязкости жидкости по методу Стокса рекомендуется использовать стальные шарики разных размеров. Шарики каких размеров — большие или маленькие — лучше использовать при проведении экспериментов?

#### Работа 2.2.7.

1. Покажите, что в условиях нашего опыта концентрацию газов можно считать постоянной по всему объёму сосуда.
2. В чем различие между молекулярным и вязкостным режимами диффузии?

#### Работа 2.3.1.

1. В каких условиях теплопроводность и вязкость газов не зависят от давления?
2. Почему термовакuumметр не меняет показаний при уменьшении давления ниже  $10^{-4}$  торр?
3. Для чего в ионизационном манометре движению электронов придан колебательный характер?
4. Почему пропускная способность труб в молекулярном режиме не зависит от размеров молекул?

#### Работа 2.3.2.

1. Какой наилучший вакуум может быть получен в результате электрооткачки в манометрической лампе ЛМ-2, используемой в данной работе?
2. Улучшится или ухудшится вакуум, если процесс электрооткачки вести при дополнительном охлаждении коллектора лампы?

#### Работа 2.3.3.

1. Оцените влияние капиллярных явлений на результаты измерений.
2. При каких концентрациях раствора справедлива формула (1).

#### Работа 2.3.4.

1. Что называется поперечным сечением взаимодействия? Какое поперечное сечение называется упругим, а какое неупругим?
2. Как связаны между собой поперечное сечение и длина свободного пробега? Получите формулу (5).
3. Каким законом определяется зависимость упругости насыщенного пара жидкости от температуры?
4. Почему погружать прибор в жидкость надо полностью, т. е. со всеми его выступающими элементами?

#### Работа 2.3.6.

1. Как меняются давления, регистрируемые лампами 5 (P1) и 7 (P2) в зависимости от времени и от температуры баллона 1?
2. Какой ожидается зависимость отношения давлений P2/P1 от температуры баллона 1 при увеличении общего давления в баллоне от 10<sup>-3</sup> торр до 1 торр?

#### Работа 2.4.1.

1. В справочниках приводится теплота испарения, измеренная при давлении 760 мм рт. ст. Совпадает ли эта величина с измеренной вами на опыте? Какая из них больше? Оцените разницу между ними.
2. Укажите, исходя из теоретических соображений, в какую сторону должна меняться теплота испарения с увеличением температуры.

#### Работа 2.5.1.

1. Если пропускать несколько пузырьков в секунду, манометр показывает практически постоянное давление. Почему бы не измерять его?
2. Почему следует измерять именно максимальное давление?
3. Почему погружение иглы уменьшает влияние теплового расширения?
4. Почему пузырьки не должны касаться дна?
5. Можно ли, не зная глубины погружения иглы, определить  $\sigma$ , измеряя максимальное и минимальное давление при проталкивании пузырька?
6. Пользуясь полученными результатами, оцените критическую температуру анилина.
7. Позволяет ли проведённый эксперимент заметить нелинейность зависимости  $\sigma(T)$ ?
8. Какие погрешности преобладают в эксперименте: случайные или систематические?
9. Какая величина должна стоять в формуле для высоты поднятия жидкости в капилляре:  $\sigma$  вода—воздух или  $\sigma$  вода—стекло?

#### Работа 2.5.2.

1. Почему в формулы (4) и (6) входит только коэффициент поверхностного натяжения воды (границы вода - воздух) и не входят коэффициенты поверхностного натяжения стенка - воздух и вода - стенка?
2. Почему загрязнения кольца А и внутренней поверхности кюветы С (рис. 1) могут повлиять на результаты измерений?
3. Почему при определении величины F вес кольца А в воздухе рекомендуется измерять не до, а после его отрыва от воды?
4. Выведите формулу (8).
5. Проанализируйте возможные причины погрешностей в каждом из экспериментов.

#### Работа 2.5.3.

1. С помощью теории размерностей найдите формулу для скорости волн, распространяющихся по поверхности жидкости, при больших значениях  $\lambda$ , когда можно пренебречь вкладом сил поверхностного натяжения.

2. Постройте график зависимости скорости гравитационно-капиллярных волн от длины волны. При какой длине волны скорость распространения оказывается минимальной?

#### Работа 3.1.1.

1. Приведите формулу для поля точечного магнитного диполя.
2. Получите формулу для магнитного поля в центре кругового витка с током.
3. Каким должно быть внутреннее сопротивление источника напряжения, чтобы ёмкость успевала разряжаться между замыканиями вибратора?
4. Мы измеряем не поле Земли, а поле внутри здания. Влияет ли это на точность определения электродинамической постоянной?
5. Установите соотношения между эрстедом и ампером на метр, гауссом и теслой, максвеллом и вебером.

#### Работа 3.1.2.

1. Оцените ошибку, возникающую вследствие того, что равновесие весов устанавливалось при наличии небольшого зазора между штифтами и контактными пластинами, а измерения производятся при отсутствии этого зазора.
2. Покажите, что электростатический вольтметр пригоден для измерения как постоянного, так и переменного напряжения.
3. Покажите, что измерения на переменном токе определяют именно эффективное значение его напряжения.
4. Чем определяется интервал частот, в котором можно измерять переменные напряжения с помощью электростатического вольтметра?

#### Работа 3.2.1.

1. Что называется импедансом электрической цепи?
2. Как складываются импедансы при последовательном и параллельном соединении элементов электрической цепи?

#### Работа 3.2.2.

1. Почему показание вольтметра  $V_{R+L}$  не равно сумме показаний вольтметров  $V_R$  и  $V_L$ ? в нашем случае  $V_{R+L} < V_R + V_L$ . Может ли неравенство иметь другой знак?
2. Почему при резонансе в схеме на рис. 2 эллипс на экране осциллографа вырождается в прямую?
3. Из чего складывается активное сопротивление катушки с сердечником?
4. Поясните принцип работы ваттметра.
5. Выполняется ли условие квазистационарности токов в используемой схеме? Почему?
6. На какой частоте гудит катушка?

#### Работа 3.2.3.

1. Приведите все известные Вам определения резонанса.
2. Как установить наличие резонанса в цепи? Перечислите все известные Вам признаки.
3. Получите формулу, связывающую добротность и сопротивления.
4. Какие причины приводят к потерям энергии в контуре?
5. Зависят ли потери энергии от частоты тока?
6. Получите формулу, связывающую  $R_{рез}$  и  $rL$ .

#### Работа 3.2.4.

1. Что называется собственной частотой, добротностью, логарифмическим декрементом затухания колебательного контура?
2. Какая плоскость называется фазовой плоскостью колебаний?
3. Как определить логарифмический декремент затухания по картине колебаний в фазовой плоскости?

#### Работа 3.2.5.

1. Выведите формулу (2.57).

2. Найдите частное решение уравнения (2.44), не переходя к комплексным величинам. (Указание: решение (2.44) следует искать в виде  $A_1 \sin \Omega t + A_2 \cos \Omega t$ .)
3. Получите все равенства (2.28), определяющие добротность контура. В чём состоит физический смысл добротности?
4. В каких случаях можно говорить, что колебательный контур слабо связан с другими элементами схемы?

#### Работа 3.2.6.

1. Дайте определение динамической постоянной гальванометра. От чего она зависит и в каких единицах указывается в паспорте гальванометра?
2. Какие режимы движения рамки возможны при работе гальванометра в стационарном режиме? В каком из этих режимов удобно проводить измерения постоянного тока?
3. Как изменяется коэффициент затухания подвижной системы гальванометра при увеличении омического сопротивления его цепи?
4. Почему рамка гальванометра быстро успокаивается при замыкании ключа  $K_1$  (см. рис. 2)?
5. Зачем в полюсах магнита гальванометра делают вырез цилиндрической формы? (рис. 1)
6. В чём сущность баллистического режима работы гальванометра? Дайте определение баллистической постоянной гальванометра.
7. При каких условиях первый отброс гальванометра, работающего в баллистическом режиме, максимален?
8. Выведите формулу (30).
9. При значениях  $R > 10R_{кр}$  возможно отклонение графика  $1/\theta^2 = f[(R_0 + R)^2]$  от прямой. Что следует учесть для объяснения этого отклонения?

#### Работа 3.3.1.

1. Нарисуйте и объясните схемы измерения удельного заряда электрона методом магнитной фокусировки и методом магнетрона.
2. Объясните принцип действия электронно-лучевой трубки осциллографа.
3. Объясните принцип работы милливольтметра.
4. Почему в методе магнетрона используется анод из трёх цилиндров, а не из одного?

#### Работа 3.3.2.

1. Нарисуйте качественные графики распределения потенциала  $V(r)$  между катодом и анодом: а) при нулевой разности потенциалов между катодом и анодом; б) при большой разности потенциалов (режим насыщения тока диода). Объясните эти распределения.
2. Качественно изобразите зависимость тока диода от напряжения на аноде в области отрицательных напряжений  $V_a$  до больших положительных. Покажите на этом графике участок напряжений, при которых выполняется «закон трёх вторых». Чем объясняются отклонения от этого закона при малых и больших напряжениях на аноде?
3. Как влияет ток накала катода на ток диода при неизменном напряжении на аноде? Приводит ли это к погрешности измерения  $e/m$ ?

#### Работа 3.3.3.

1. Почему не следует выбирать капли слишком большого и слишком маленького размера?
2. Какие напряжения соответствуют оптимальным условиям опыта? Приведите расчёты (см. п. 1).
3. Нарисуйте график зависимости скорости капли в поле силы тяжести от времени и укажите на нём время и путь релаксации.
4. Зная параметры установки, оцените ёмкость конденсатора  $C$  и время его разрядки через сопротивление  $R$  (площадь пластин  $\approx 20 \text{ см}^2$ ).
5. Какие ещё способы измерения заряда электрона вам известны?

#### Работа 3.3.4.

1. Какие вещества называют диэлектриками, проводниками, полупроводниками? Чем объясняется различие их электрических свойств? Как зависит от температуры проводимость металлов и полупроводников?

2. Дайте определение константы Холла. Как зависит константа Холла от температуры у металлов и полупроводников?
3. Зависит ли результат измерения константы Холла от геометрии образца?
4. Как устроен милливеберметр? Зависят ли его показания от сопротивления измерительной катушки? Каким должно быть это сопротивление по сравнению с сопротивлением катушки прибора: большим или маленьким?
5. Получите выражение константы Холла для материалов с двумя типами носителей. При выводе используйте условие равенства нулю поперечного тока.

#### Работа 3.3.5.

1. Какие вещества называют диэлектриками, проводниками, полупроводниками? Чем объясняется различие их электрических свойств? Как зависит от температуры проводимость металлов и полупроводников?
2. Дайте определение константы Холла. Как зависит константа Холла от температуры у металлов и полупроводников?
3. Зависит ли результат измерения константы Холла от геометрии образца?
4. Как устроен милливеберметр? Зависят ли его показания от сопротивления измерительной катушки? Каким должно быть это сопротивление по сравнению с сопротивлением рамки прибора; большим или маленьким?

#### Работа 3.3.5.

1. Исследуйте уравнения движения электронов в прямоугольной пластинке. Зависит ли сопротивление пластинки от индукции магнитного поля?
2. Поясните качественно (без формул), почему сопротивление образца зависит от магнитного поля.

#### Работа 3.4.1.

1. Объясните суть метода измерения магнитной восприимчивости.
2. Напишите выражения для магнитной силы, действующей на образец, помещённый в неоднородное магнитное поле.
3. Как можно убедиться в однородности или неоднородности магнитного поля в зазоре электромагнита?
4. Как проверить экспериментально, влияет ли намагниченность весов на результаты измерения магнитной восприимчивости?

#### Работа 3.4.2.

1. Как объяснить явления пара- и диамагнетизма с молекулярной точки зрения?
2. Чем отличаются пара- и ферромагнетики в отсутствие магнитного поля?
3. Сформулируйте общий физический принцип, объясняющий явление диамагнетизма.
4. Качественно изобразите на одном графике  $B(H)$  для пара-, диа- и ферромагнетика.
5. Какой вклад в магнитную восприимчивость образца вносит проводимость гадолиния? Как связан этот вклад с размером крупинок, частотой и удельной проводимостью? Зависит ли этот вклад от температуры? Оцените этот вклад для крупинок размером 0,5 мм.

#### Работа 3.4.3.

1. Чем отличаются атомы пара- и диамагнетиков по магнитным характеристикам в отсутствие магнитного поля?
2. Как изменяются характеристики вещества при фазовых переходах первого и второго рода?
3. Какие два конкурирующих взаимодействия между атомами характерны для ферромагнитного вещества?
4. На одном графике качественно изобразите начальные кривые намагничивания  $B(H)$  для ферромагнетика при трёх температурах: комнатной, более высокой и температуре выше точки Кюри. Укажите на оси  $H$ , где лежит область, соответствующая условиям настоящей работы.

#### Работа 3.4.4.

1. Почему рекомендуется начинать обход петли с насыщения образца?

2.Получите выражение, связывающее отклонение рамки гальванометра и изменение индукции образца. При каких условиях справедливо это соотношение?

3.Пользуясь теоремой о циркуляции, получите формулу для напряжённости магнитного поля в длинном соленоиде.

#### Работа 3.4.5.

1. При какой форме образцов, помещённых в однородное магнитное поле, их намагниченность постоянна по всему объёму?

2. Почему для наблюдения петли гистерезиса используются образцы в виде тора, а не в виде стержня?

3. Почему при калибровке горизонтальной оси осциллографа необходимо отключать намагничивающую обмотку?

4. Оцените погрешность, которая возникает при измерении индукции  $B$ , если измерительная катушка неплотно надета на образец; например, если образец занимает всего половину охватываемой ею площади.

#### Работа 3.4.6.

1.Получите условие возбуждения колебаний (3), когда индуктивность меняется по гармоническому закону:

$$L = L_0[1 - m \sin(2\omega_0 t)].$$

Напишите закон изменения тока, возбуждаемого в контуре.

2.Почему в нашем случае индуктивность пропорциональна дифференциальной магнитной проницаемости?

3.Нарисуйте качественный график зависимости  $\mu$  диф от величины подмагничивающего тока для петли гистерезиса, изображённой на рис. 1.

4.На каких ещё частотах (в принципе) могут возбуждаться колебания в контуре параметрона при больших изменениях индуктивности?

#### Раздел 5.

1.При каких условиях возникает газовый разряд? От каких параметров газа зависит потенциал зажигания газового разряда?

2.Пользуясь кривой Пашена (рис. 5.5), определите напряжённость электрического поля, при котором происходит пробой воздуха при атмосферном давлении.

3.Что такое дебаевский радиус экранирования?

4.Дайте определение понятия плазма.

5.Почему потенциал зонда, погружённого в плазму и отключённого от источника питания, оказывается отличным от потенциала окружающей плазмы?

6.Чем определяется величина зондового тока насыщения?

7.Чем определяется температура электронов и ионов в плазме?

#### Работа 3.5.3.

1.Какие колебания называются релаксационными?

2.От каких параметров газа зависит напряжение зажигания стабилотолта?

3.Почему напряжение гашения существенно меньше напряжения зажигания?

4.Как по вольтамперной характеристике стабилотолта и известным параметрам генератора найти ток в лампе в стационарном режиме?

5.Что такое критическое сопротивление релаксационного генератора? От чего оно зависит?

6.Почему критическое сопротивление зависит от величины напряжения  $U$  на входе генератора? Рассмотрите рис. 3.

7.Почему при малой ёмкости колебания не возникают (лампа не гаснет) даже при  $R > R_{кр}$ ? Оцените «малость» ёмкости, сравнив время релаксации и время деионизации.

#### Работа 3.6.1.

1.Нарисуйте спектры  $F(\omega)$ :

а) бесконечно длинной синусоиды;

б) синусоиды конечной длины;

в) периодической последовательности цугов;

- г) периодической последовательности прямоугольных импульсов;
- д) одного пуга;
- е) одного прямоугольного импульса.

2. Как изменится спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов, если убрать каждый второй импульс? Как выглядит спектр, если повторять эту процедуру, пока не останется один импульс?

3. Найдите спектр синусоидальных колебаний, модулированных по фазе:  $f(t) = A_0 \cos\{\omega t + m \cos \Omega t\}$ , считая  $m \ll 1$ . Сравните со спектром синусоиды, модулированной по амплитуде.

#### Работа 4.1.1.

1. Покажите, что если расстояние между предметом и экраном превышает  $4f$ , то изображение на экране может быть получено при двух различных положениях линзы.
2. Опишите методику измерения фокусных расстояний отрицательных линз.
3. Дайте определения главных фокусов, фокусных расстояний и главных плоскостей сложной центрированной оптической системы.
4. Определите графически положение главных плоскостей системы, состоящей из двух тонких линз — собирающей и рассеивающей, — с известными фокусными расстояниями и расстоянием между ними.
5. Дайте определения сферической и хроматической аберраций.
6. Объясните, почему сферическая аберрация зависит от того, какой стороной плоско-выпуклая линза обращена к источнику.

#### Работа 4.1.2.

1. С какой целью при исследовании моделей телескопов и микроскопа используется дополнительная зрительная труба?
2. Чему равны поперечное, угловое и продольное увеличения телескопа, если передние фокусные расстояния его объектива и окуляра равны соответственно  $f_1 = 40$  см и  $f_2 = -2$  см?
3. При каком условии угловое увеличение микроскопа равно поперечному?
4. Выведите формулу (4) и объясните соответствующий метод измерения увеличения микроскопа.

#### Работа 4.1.3.

1. Что называется полным внутренним отражением?
2. Для чего грани  $ab$  и  $ed$  призмы  $P_1$  и  $P_2$  делают матовыми?
3. При каких условиях слой жидкости между исследуемым твёрдым образцом и призмой  $P_2$  не влияет на измеренное значение показателя преломления?
4. Что называется атомной и молекулярной рефракцией? Сформулируйте правило аддитивности для рефракций.

#### Работа 4.2.1.

1. Почему в центре колец Ньютона в отражённом свете расположено тёмное пятно?
2. Как расположены кольца Ньютона в проходящем свете?
3. Почему ширина колец убывает с увеличением порядка?
4. Почему при расчёте интерференционной картины не учитывают отражение от передней (плоской) поверхности линзы?
5. Выведите формулу, связывающую период биений, выраженный в числе колец, с длинами волн спектральных линий.
6. Почему видность колец увеличивается при диафрагмировании пучка перед опак-иллюминатором?

## 7. Почему интерференционные кольца больших номеров кажутся размытыми?

### Работа 4.2.2.

1. Почему пластинки P1 и P2 интерферометра Жамена должны быть достаточно толстыми (не менее 2-3 см)?
2. Могут ли эти пластинки сильно отличаться по толщине?
3. Объясните, почему увеличивается число наблюдаемых интерференционных полос, если на пути лучей из осветителя установлен светофильтр.

### Работа 4.2.3.

1. Объясните, почему при поочередном перекрывании щелей D наблюдаемая дифракционная картина не смещается.
2. Почему ширина щели S коллиматора должна быть достаточно малой? Оцените максимальный размер этой щели, если известны фокус коллиматора и расстояние между щелями.
3. Будет ли наблюдаться чёткая нулевая полоса, если исследуемое вещество обладает заметной дисперсией  $n = n(\lambda)$ ? Сделайте соответствующие оценки.

### Работа 4.2.4.

1. С какой скоростью движется картина интерференционных полос при перемещении подвижного зеркала?
2. Чем ограничена наибольшая и наименьшая скорости движения зеркала, которые могут быть измерены в нашей установке по доплеровскому смещению частоты?
3. Чем определяется точность в измерении длины волны лазера? Как эта точность зависит от скорости перемещения зеркала?
4. Какую форму имеют интерференционные полосы при произвольном расположении источников S1 и S2?

### Работа 4.2.5.

1. Как связаны между собой функции когерентности и контрастности изображений?
2. Как измерить длину когерентности, радиус когерентности?
3. Каков КПД электрической лампы накаливания, используемой для освещения?
4. Как зависит радиус когерентности от ширины оптической щели и расстояния от щели до входной плоскости интерферометра?
5. Как изменится число наблюдаемых интерференционных полос, если между глазом и микроскопом установить оптический фильтр?

### Работа 4.2.6.

1. Как возникает спекл-структура и чем она отличается от дифракции Фраунгофера на мелкой сетке?
2. При каких условиях будет наблюдаться спекл-картина при отражении от шероховатой поверхности?
3. Как зависит радиус корреляции фазового множителя от характеристик матовой поверхности, показателя преломления материала?
4. Чем определяется длина вектора  $|E_n|$  и угол его поворота на рис. 7?
5. Что такое радиус индикатрисы рассеяния и от чего он зависит?



6. Как использовать гистограмму камеры для её настройки?

7. Наблюдалось ли в опыте нарушение условия  $\langle eif \rangle = 0$ ?

#### Работа 4.3.1. Изучение дифракции света.

1. Объясните, почему при дифракции Френеля на круглом отверстии в центре Картины, может быть, как тёмное, так и светлое пятно, а при дифракции на препятствии \_ круглом экране \_ пятно всегда светлое (пятно Пуассона).

2. Объясните, почему смещение щели S2 в боковом направлении в установке на рис. 3 не приводит к сдвигу дифракционной картины. Будет ли смещаться картина дифракции при смещении щели S2 вдоль оси установки?

3. Получите формулу для распределения интенсивности при дифракции Фраунгофера на двух щелях.

4. Выведите формулу (8). На примере размытия интерференционной картины при широком источнике объясните, что такое пространственная когерентность.

5. Как связана видность интерференционной картины с пространственной когерентностью источника? Чем отличаются графики видности при дискретном и непрерывном изменении параметров источника? То же для временной когерентности.

6. Сформулируйте теорему Бабиня.

#### Работа 4.3.2. Дифракция света на ультразвуковой волне

##### Контрольные вопросы

1. Покажите, что период акустической решётки совпадает с длиной бегущей ультразвуковой волны как в случае бегущих, так и в случае стоячих волн.

Покажите, что формула (4) справедлива для любой периодической решётки, независимо от того, является ли она амплитудной или фазовой.

2. Как изменяется во времени интенсивность света в дифракционных максимумах разного порядка при дифракции света на бегущих и на стоячих ультразвуковых волнах?

3. В чём отличие метода тёмного поля от метода фазового контраста?

4. Сформулируйте экспериментальный критерий того, что акустическая решётка является чисто фазовой.

#### Работа 4.3.3. Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе

##### Контрольные вопросы

1. Какому условию должно удовлетворять расстояние между сеткой и экраном, чтобы на экране наблюдалась дифракционная картина Фраунгофера?

2. Почему при наблюдении дифракции на удалённом экране дифракционные максимумы в случае крупных сеток перекрываются?

3. Почему предмет располагается вблизи передней фокальной плоскости объектива микроскопа?

4. Почему при смещении сетки в поперечном направлении первичное изображение не меняется, а вторичное смещается?

5. Какой пространственный фильтр следует расположить в задней фокальной плоскости объектива, чтобы получить в плоскости P2 изображение сетки с уменьшенными в два раза линейными размерами ячеек?

#### Работа 4.3.4. Метод преобразования Фурье в оптике

##### Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой изображения, наблюдаемые в плоскостях P1, P2?

2. Что общего между спектром одиночной щели и спектром периодической последовательности щелей такой же ширины?

3. Как связаны между собой ширина щели и ширина её спектра?

4. В работе наблюдается картина дифракции Фраунгофера на сетке. Какие параметры сетки можно определить по этой картине?

5. Что общего и чем отличаются спектры, образующиеся при дифракции Фраунгофера на щели и на волосе?

#### Работа 4.3.5. Изучение голограммы

#### Контрольные вопросы

1. В чем сходство и различие голограммы точечного источника и зонной пластинки Френеля, фотографии колец Ньютона?
2. Что изменится в изображении голограммы точечного источника, наблюдаемого по схеме, изображённой на рис. 1, если устранить точечный источник  $O'1$ , поместив в фокус линзы Л небольшой непрозрачный экран-фильтр?
3. Как изменится фокусное расстояние голограммы точечного источника, если она была получена при одной длине волны, а освещается светом с другой длиной волны?
4. Чем определяется минимальный размер голограммы, при котором можно восстановить изображение предмета?
5. Как изменятся масштабы действительного и мнимого изображений предмета, если голограмму освещать расходящейся или сходящейся волной?
6. Как зависит диапазон углов, под которым можно рассматривать мнимое изображение предмета, от разрешающей способности фотоэмульсии, от ширины спектра источника света?

#### Работа 4.3.6. Дифракция света на периодических структурах (саморепродукция).

##### Контрольные вопросы

1. Оцените, на каком расстоянии от экрана до решётки выполняется условие дифракции Фраунгофера.
2. Почему в эксперименте получается лишь несколько чётких репродуцированных изображений решёток?
3. Объясните, как получается выражение для направления на дифракционные максимумы.
4. Объясните, почему изображение проволочной сетки репродуцируется, а изображение одиночной проволочки не репродуцируется.

#### Работа 4.4.1. Амплитудная дифракционная решетка

##### Контрольные вопросы

1. Дайте определение спектральных характеристик дифракционной решётки.
2. Сформулируйте критерий Релея.
3. Как меняются угловые характеристики спектров при изменении периода решётки, размера штриха, размера всей решётки?
4. Можно ли по спектру ртутной лампы определить в ваших опытах дисперсионную область?
5. Какие физические и технические причины определяют число эффективно работающих штрихов дифракционной решётки большого размера?

#### Работа 4.4.2. Фазовая дифракционная решетка.

##### Контрольные вопросы

1. Дайте определения спектральных характеристик эшелетта.
2. В чем заключается преимущество эшелетта по сравнению с амплитудной дифракционной решёткой?
3. Какой элемент спектрального прибора: эшелетт, гониометр, Ваш глаз (чувствительность, острота зрения) \_ оказал наибольшее влияние на точность оценки разрешающей способности?
4. Нарисуйте принципиальную оптическую схему установки для определения рабочего порядка эшелетта и его рабочей длины волны.
5. Нарисуйте качественную зависимость интенсивности от угла излучения в дальней зоне для рабочей длины волны. Эшелетт работает в автоколлимационном режиме.

#### Работа 4.4.3. Изучение призмы с помощью гониометра.

##### Контрольные вопросы

1. Дайте определение спектральных характеристик призмы. Чему равна её дисперсионная область?

2. Выведите соотношение, связывающее угол наименьшего отклонения и значение показателя преломления.
3. Дайте качественное объяснение зависимости показателя преломления стекла от длины волны в оптическом диапазоне.
4. Оцените максимальный шаг амплитудной решётки, при котором её угловая дисперсия в 1-м порядке сравнима с угловой дисперсией вашей призмы. Для этого шага оцените размер решётки, при которой её разрешающая способность в 1-м порядке спектра сравнима с разрешающей способностью призмы.

#### Работа 4.4.4. Интерферометр Фабри-Перо

##### Контрольные вопросы

1. Дайте определения и приведите формулы расчёта спектральных характеристик интерферометра Фабри-Перо.
2. Если бы жёлтые линии ртути были не узкими, а перекрывали друг друга, т.е. имели ширину  $21^\circ \text{Å}$ , то можно ли исследовать такой спектр вашим интерферометром?
3. Оцените минимальный диаметр зеркал интерферометра, при котором разрешается жёлтый дублет натрия.
4. Оцените длительность импульса излучения натриевой лампы, при которой интерферометр не разрешает жёлтый дублет. Для этого случая оцените путь, который проходит свет внутри интерферометра, сравните его с базой интерферометра.

#### Работа 4.5.1. Гелий-неоновый лазер.

##### Контрольные вопросы

1. Почему не удастся получить большего усиления в трубке He–Ne-лазера путём увеличения разрядного тока?
2. Зачем окошки в лазерной трубке приклеены под углом и почему наружные поверхности окошек смотрят вниз, а не вверх или вбок?
3. Зачем в лазерной трубке к рабочему веществу – неону добавляется гелий?
4. Зачем осуществляется модуляция пучка измеряемого излучения и можно ли обойтись без модуляции в данной установке?

#### Работа 4.5.2. Интерференция лазерного излучения.

##### Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия ромба Френеля.
2. Чему равна видность интерференционной картины интерферирующих волн одинаковой интенсивности, если одна волна имеет плоскую поляризацию, а другая круговую?
3. Как изменяется кривая  $V_2(\ell)$  при уменьшении и при увеличении расстояния между зеркалами оптического резонатора лазера?
4. Из каких соображений следует выбирать ширину входной щели фотоприёмного устройства?
5. Как выглядит зависимость  $V(\ell)$  для одной моды; для двух мод?

#### Работа 4.5.3. Сканирующий интерферометр.

##### Контрольные вопросы

1. Объясните основные процессы, приводящие к появлению инверсной заселённости уровней неона.
2. Почему плоскопараллельные пластинки, закрывающие с торцов рабочую трубку с гелий-неоновой смесью, устанавливают под углом Брюстера?
3. Что такое моды? Получите формулу (2) для межмодового расстояния.
4. В чём состоит условие возбуждения лазера?
5. Выведите формулу (6) для разрешающей способности интерферометра Фабри-Перо.
6. Как работает поляризационная развязка?
7. При какой длине резонатора He–Ne-лазера, независимо от уровня накачки, генерация возможна не более чем на одной моде (одномодовый лазер)?

#### Работа 4.6.1 Интерференция электромагнитных волн миллиметрового диапазона.

##### Контрольные вопросы

1. Выведите соотношение (1).
2. Как убедиться на опыте, что электромагнитная волна, излучаемая передающей антенной, линейно поляризована?
3. Как экспериментально определить направление колебаний вектора электрического поля в электромагнитной волне?
4. В чём заключается закон Малюса и как его экспериментально проверить?
5. При каких условиях можно наблюдать интерференцию ЭМ-волн?
6. Оцените длину и радиус когерентности для опыта с зеркалом и решёткой.
7. Укажите возможные причины расхождения измеренных в работе величин друг с другом и с известными значениями этих величин.

#### Работа 4.6.2. Туннелирование миллиметровых радиоволн.

##### Контрольные вопросы

1. Какой угол называется предельным углом полного внутреннего отражения? Чему он равен?
2. Что такое неоднородная волна? Как направлен вектор Умова–Пойнтинга в такой волне и почему?
3. В чем заключается явление туннелирования волн? Чем отличается это явление от обычного прохождения волн через тонкие прозрачные пластинки?
4. Каковы возможные причины расхождения измеренных в работе величин друг с другом и с табличными значениями этих величин?

#### Работа 4.7.1. Двойное лучепреломление.

##### Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой векторы  $D$  и  $E$  в анизотропной среде?
2. Как направлена оптическая ось в одноосном кристалле относительно главных осей эллипсоида диэлектрических проницаемостей?
3. Дайте определение главных показателей преломления.
4. Приведите пример, когда волна, распространяющаяся в кристалле, является обыкновенной и когда необыкновенной.
5. Получите из (1) приближённое выражение (2).
6. Как электромагнитная теория объясняет появление двух преломлённых волн при падении плоской волны на поверхность одноосного кристалла?
7. Как зависит показатель преломления обыкновенной и необыкновенной волны от угла между осью кристалла и волновой нормалью?
8. Как будет зависеть показатель преломления для обыкновенной и необыкновенной волны от угла преломления, если ось кристалла будет параллельна оси вращения призмы?
9. Как направлены векторы  $E$  в выходящих из призмы лучах?

#### Работа 4.7.2. Эффект Поккельса

##### Контрольные вопросы

1. Можно ли наблюдать эффект Поккельса в жидкости?
2. Почему при повороте анализатора на  $90^\circ$  интерференционная картина на экране меняется с позитива на негатив?
3. Что такое полуволновое напряжение  $U_{\pi/2}$ ? Как оно зависит от длины волны  $\lambda$ ?
4. Почему при  $U = 12U_{\pi/2}$  поляризация на выходе из кристалла круговая?
5. Оцените относительное изменение показателя преломления данного кристалла при подаче напряжения  $U = U_{\pi/2}$ .
6. Выведите формулу (5).

#### Работа 4.7.3. Поляризация

#### Контрольные вопросы

1. Покажите, что при выполнении условия Брюстера отражённый и преломлённый лучи взаимно перпендикулярны.
2. Как отличить свет с правой и с левой круговой поляризацией?
3. Неполаризованный свет проходит через двоякопреломляющую пластинку  $\lambda/4$ . Что можно сказать о поляризации света на выходе из пластинки?
4. Как отличить естественный свет от света, поляризованного по кругу, и от смеси естественного света со светом, поляризованным по кругу?
5. Объясните изменения интенсивности и цвета, наблюдаемые в опытах по интерференции поляризованных лучей.
6. Почему свет от вечернего неба поляризован?

#### Работа 4.7.4. Вращение плоскости поляризации.

##### Контрольные вопросы

1. В чём заключается отличие оптической активности от двойного лучепреломления?
2. Как объясняет теория Френеля поворот плоскости поляризации в оптически активных веществах?
3. Что называют удельным вращением?
4. Как работает поляризационная призма Николя?
5. Опишите принцип устройства и работы поляриметра.
6. При исследовании магнитного вращении плоскости поляризации иногда при меняют устройства с многократным прохождением света в образце в направлении по и против магнитного поля. Объясните, почему в этом случае эффект поворота плоскости поляризации накапливается.

#### Работа 1.1

Экспериментальная проверка уравнения Эйнштейна для фотоэффекта и определение постоянной Планка.

1. Что такое внешний фотоэффект? Запишите и объясните уравнение Эйнштейна.
2. Какие факты свидетельствуют о наличии у фотоэлектронов начальной кинетической энергии?
3. Почему фотоэлектроны выходят из металла с различной скоростью? От чего и как зависит максимальная скорость фотоэлектронов?
4. От чего и как зависит поток фотоэлектронов, т.е. число электронов, вырываемых светом в единицу времени?
5. Что такое “красная граница” фотоэффекта и от чего она зависит?
6. Изобразите общий вид вольтамперной характеристики фотоэлемента и объясните характеристики фотоэлемента, в том числе и зависимость  $I(U)$  в области обратных напряжений  $U > 0$ . Что такое задерживающий потенциал  $U_0$  и чем определяется его значение при заданной частоте света?
7. Запишите выражение задерживающего потенциала  $U_0$  от длины волны  $\lambda$  для фотоэффекта в случае фотокатода с работой выхода  $A$ .
8. Изобразите семейство вольтамперных характеристик фотоэлемента при облучении его светом постоянной интенсивности  $I$  и с частотами  $\nu_1 = \nu_0$ ,  $\nu_2 = 2\nu_0$ ,  $\nu_3 = 3\nu_0$ , где  $\nu_0$  - частота, соответствующая красной границе фотоэффекта.
9. Изобразите график зависимости задерживающего потенциала от частоты облучающего света. Как по этому графику определить постоянную Планка  $h$ ?
10. Как по графику зависимости  $U_0(\nu)$  можно показать, что при частотах облучающего света  $\nu < \nu_0$  фотоэффект невозможен?
11. Чем определяется значение тока насыщения  $I_{\text{н}}$  при заданной интенсивности света?
12. Изобразите семейство вольтамперных характеристик фотоэлемента при облучении светом постоянной частоты  $\nu$  с интенсивностями  $I_1 = I$ ,  $I_2 = 2I$ ,  $I_3 = 3I$ .
13. Два фотоэлемента имеют электроды в форме шарика и концентрической ему сферы. У одного фотоэлемента сфера - фотокатод, а у другого - анод. Фотоэлементы облучаются светом с заданной частотой  $\nu$  так, что токи насыщения одинаковы. Изобразите на одном рисунке примерный вид вольтамперной характеристики фотоэлементов и объясните их отличие.

14. Согласно представлениям классической физики свет - это непрерывная электромагнитная волна, электрическое поле которой в заданной точке пространства изменяется по закону  $E(t) = E_0 \cos(\omega t + \varphi)$ , где  $\omega = 2\pi\nu$  - частота света. Исходя из такой точки зрения, ответьте на следующие вопросы и сопоставьте их с опытными данными:

- возможно ли в принципе явление фотоэффекта?
- от чего и как должна зависеть кинетическая энергия фотоэлектронов?
- от чего и как должно зависеть число электронов, вырванных светом в единицу времени?
- должна ли существовать красная граница фотоэффекта?
- возможен ли фотоэффект при очень малых интенсивностях облучающего света?

## Работа 1.2

Исследование эффекта Комптона.

1. Какие процессы взаимодействия  $\gamma$ -квантов с веществом приводят к ослаблению первичного потока?
2. В чем состоит эффект комптоновского рассеяния? При каких энергиях  $\gamma$ -квантов этот процесс вносит существенный вклад в ослабление первичного потока?
3. Как зависят сечения томпсоновского и комптоновского рассеяний от атомного номера рассеивателя  $Z$ ?
4. Используя законы сохранения, получите формулу, описывающую зависимость потери энергии от угла рассеяния  $\gamma$ -квантов при эффекте Комптона.
5. Поясните принцип действия сцинтилляционного спектрометра.
6. Опишите, как преобразуется энергия падающего  $\gamma$ -кванта в электрический импульс на выходе ФЭУ?
7. Для чего при измерениях под  $\theta = 0^\circ$  в коллиматор вставляется свинцовая диафрагма?
8. Как известно, фотопик отделен от комптоновского распределения участком, в котором счет сильно уменьшен. Как велика ширина этого интервала? Почему он возникает?

## Работа 1.3

Изучение рассеяния медленных электронов на атомах (эффект Рамзауэра).

1. В чем заключается эффект Рамзауэра и как его можно экспериментально наблюдать?
2. Охарактеризуйте “классический” механизм рассеяния электрона на атоме и объясните, как и почему должна зависеть вероятность рассеяния от скорости электрона в рамках этого подхода? Какова эта зависимость в действительности?
3. В чем принципиальное отличие квантово-механического способа описания рассеяния электронов на атомах от классического способа?
4. В чем смысл соотношения де Бройля?
5. Выведите выражение для показателя преломления атома для волн де Бройля?
6. Напишите условие гашения отраженных от атома волн де Бройля.
7. При каких кинетических энергиях  $E$  налетающих на атомы электронов будет наблюдаться гашение прошедших волн де Бройля?
8. Изобразите вид экспериментальной вольтамперной характеристики тиратрона и теоретической характеристики, следующей из классической теории рассеяния электронов. В чем причина их различия?
9. Как по экспериментальной ВАХ можно определить энергию электронов, при которой проявляется эффект Рамзауэра?
10. Объясните происхождение силы, действующей со стороны атома на пролетающий электрон и изменяющей его кинетическую энергию. Почему эта сила не действует за пределами атома?
11. Объясните изменение потенциальной энергии электрона при пролете через атом? Что означает термин “потенциальная яма”?
12. Запишите уравнение Шредингера для случая движения электрона над потенциальной ямой и получите его общее решение.
13. Найдите коэффициент прохождения частицы над прямоугольной потенциальной ямой (отношение квадратов амплитуд прошедшей и отраженной волн).
14. Почему показания вольтметра не дают истинного значения ускоряющего напряжения в тиратроне? Как его определить?

15. Чем объяснить наличие на вольтамперной характеристике только одного максимума тока, протекающего через тиратрон?
16. Как следует направить внешнее магнитное поле, чтобы вольтамперная характеристика тиратрона искажалась наиболее сильно?
17. Влияет ли магнитное поле Земли на вид вольтамперной характеристики тиратрона?
18. Как по вольтамперной характеристике определить, каким инертным газом заполнен тиратрон?
19. Данные какой характеристики (динамической или статической) следует использовать для подстановки в расчетную формулу и почему?

## Работа 2.1

### Опыт Франка-Герца.

1. Почему с точки зрения законов классической физики атом не может быть устойчивой системой?
2. Сформулируйте постулаты Бора.
3. Покажите прямым расчетом, что в условиях эксперимента можно не учитывать теплового движения атомов гелия в лампе.
4. Какие соударения частиц называются абсолютно упругими, какие - неупругими? Запишите закон сохранения энергии для абсолютно упругого и для неупругого соударения двух тел.
5. При каком условии происходят только упругие столкновения с атомами газа в лампе и при каком условии возможны неупругие столкновения?
6. Покажите прямым расчетом, что при рассмотрении столкновений электронов с атомом в данной работе можно не учитывать изменение кинетической энергии атома как целого.
7. Нарисуйте принципиальную электрическую схему измерения вольтамперной характеристики лампы в опыте
8. Франка-Герца в статическом режиме. Объясните назначение элементов схемы и принцип действия установки.
9. То же в динамическом режиме.
10. Покажите, что наблюдаемая на экране осциллографа кривая представляет собой в определенном (каком?) масштабе график зависимости  $I = I(U)$ .
11. Изобразите и объясните вид вольтамперной характеристики лампы в режиме, когда происходит возбуждение атомов электронами. Почему наблюдается второй провал?
12. Что такое резонансный потенциал возбуждения?
13. Как он определяется в данной работе?
14. Как можно определить резонансный потенциал атома, если в эксперименте наблюдается только один минимум на вольтамперной характеристике? Какая при этом допускается систематическая ошибка?
15. Покажите, как по результатам измерения вольтамперной характеристики можно определить контактную разность потенциалов между катодом и ускоряющей сеткой?
16. Что такое первый ионизационный потенциал атома? При каком ускоряющем напряжении в лампе начнут появляться ионы?
17. Что нужно сделать, чтобы перевести гелий в лампе в режим ионизации? Что в этом случае покажет микроамперметр?

## Работа 2.2

### Изучение спектра атома водорода.

1. Охарактеризуйте энергетический спектр атома водорода. В каких состояниях энергия электрона  $E < 0$ , а в каких  $E > 0$ ? Запишите формулу для энергии дискретных уровней в атоме водорода, рассчитайте по этой формуле энергию ионизации атома водорода.
2. Почему спектры атома линейчатые? Получите из формулы для энергетических уровней водорода обобщенную формулу Бальмера и теоретическое выражение постоянной Рид-берга.
3. Что такое спектральная серия? Запишите общую формулу для частот произвольной серии водородного спектра с номером  $n$ . Изобразите характер взаимного расположения линий серии на шкале длин волн (т.е. в поле зрения окуляра монохроматора).
4. Запишите формулы для частот головной линии и границы серии спектральной серии с номером  $n$ . Рассчитайте эти частоты для трех первых серий. Перекрываются ли эти серии?

5. Линии какой серии спектра атомарного водорода можно наблюдать визуально? Каково (теоретически) число наблюдаемых линий (считать видимые линии с  $\lambda > 4000 \text{ \AA}$ )?
6. Изобразите оптическую схему монохроматора и объясните его принцип действия.
7. Что называется угловой дисперсией  $D_u$  спектрального прибора.
8. Что показывает обратная линейная дисперсия  $T$ ? От чего она зависит в случае призмного монохроматора?
9. Что такое разрешающая сила спектрального прибора и от чего она зависит в случае призмного монохроматора?
10. Что означает выражение: «две спектральные линии разрешены? Не разрешены?» Сформулируйте критерий Рэлея.
11. Что такое изотопический сдвиг? Можно ли наблюдать изотопический сдвиг для смеси дейтерия ( $D$ ) и трития ( $T$ ) — это ведь тот же водород?

#### Работа 2.2а

Изучение молекулярного спектра йода.

1. Какова природа молекулярных спектров?
2. Изобразите энергетическую схему уравниваний двухатомной молекулы.
3. Какие типы молекулярных спектров вы знаете?
  - а. К какому типу относится спектр поглощения молекулы йода в видимой области?
4. Какие серии называются сериями Деландра? Почему в спектре поглощения наблюдаются только две серии Деландра?
5. Что представляют собой нулевая и первая серии Деландра в спектре поглощения йода? Каков общий вид спектра поглощения в видимой области?
6. Каково энергетическое положение линий поглощения нулевой и первой серий Деландра?
7. Какие параметры энергетической схемы молекулы йода можно определить по спектру поглощения?
8. Изобразите оптическую схему установки, используемой для исследования спектра поглощения паров йода.
9. Изобразите принципиальную схему монохроматора УМ-2. Каким способом Вы построили градуировочную кривую спектрального прибора?
10. От чего зависит ширина наблюдаемых в работе линий поглощения? Как можно повысить контрастность наблюдаемой картины спектра?
11. Для чего подогревают используемую в эксперименте кювету с йодом?
12. Зависит ли четкость изображения спектра от степени нагрева кюветы?

#### Работа 4.1

Определение энергии альфа-частиц по величине их пробега в воздухе.

1. Сформулируйте закон Гейгера-Нэттолла. Какие физические причины приводят к резкой зависимости периода полураспада от энергии  $\alpha$ -частиц?
2. Почему  $\alpha$ -спектры состоят из отдельных линий, а  $\beta$ -спектры непрерывны?
3. Каков механизм взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом (объясните формулу для ионизационных потерь —  $dE/dx$ )?
4. Какая зависимость носит название кривой Брэгга? Как зависят ионизационные потери от скорости частиц, от свойств среды?
5. В чем различие процессов торможения  $\alpha$ -частиц и электронов в веществе?
6. Как связаны между собой энергия  $\alpha$ -частиц и их пробег?
7. Какие экспериментальные методы используются для измерения пробега  $\alpha$ -частиц в газе?
8. Какой источник  $\alpha$ -излучения используется в данной работе? Для чего применяют трубчатые коллиматоры?



9. Разъясните принципы работы ионизационной камеры, сцинтилляционного счетчика и счетчика Гейгера. Расскажите об их устройстве. Как выбираются рабочие режимы этих приборов? Как изменяется величина выходного сигнала счетчика Гейгера и ионизационной камеры при небольшом ( $\sim 50$  В) увеличении питающего напряжения в окрестности рабочей точки?

10. Какие физические величины измеряются в данной работе непосредственно?

11. Сравните длины пробегов  $\alpha$ -частиц, измеренные разными методами. Оцените точность измерений. Какие систематические ошибки возможны для использованных Вами методов измерений (их величины и источники)?

#### Работа 4.2

Исследование энергетического спектра бета-частиц и определение их максимальной энергии при помощи магнитного спектрометра.

1. Какие частицы испускаются ядрами при  $\beta$ -распаде? Объясните, почему спектр  $\alpha$ -частиц, испускаемых ядрами, всегда дискретен, а спектр электронов непрерывен. Выведите формулу для плотности вероятности того, что электрон при  $\beta$ -распаде обладает импульсом  $Pe$ .

2. Покажите, что энергия, передаваемая при  $\beta$ -распаде дочернему ядру, очень мала по сравнению с энергией, уносимой электроном и антинейтрино.

3. Что называется граничной энергией  $\beta$ -спектра?

4. В чем состоит явление внутренней конверсии электронов?

5. Назовите основные элементы экспериментальной установки и их назначение. Каков принцип работы магнитного спектрометра с продольным магнитным полем? Поясните формулу для фокусного расстояния спектрометра.

6. Что называется разрешающей способностью ( $\beta$ -спектрометра)? От чего она зависит? Как определить разрешающую способность прибора по форме пика электронов внутренней конверсии?

7. Как работает счетчик Гейгера? С какой эффективностью он регистрирует электроны с энергией  $\sim 1$  МэВ? Как устроены обычные и торцевые счетчики? Как влияет толщина торцевого окна счетчика на экспериментальную форму  $\beta$ -спектра?

8. Объяснить качественно, как влияет остаточный газ на характеристики спектрометра?

9. В чем состоит подготовка установки к измерению  $\beta$ -спектра? Какова процедура измерения  $\beta$ -спектра? Как градуируется энергетическая шкала спектрометра?

10. Какие экспериментальные точки следует использовать для построения графика Ферми при определении  $T_{\max}$ ?

11. Каково энергетическое разрешение  $\beta$ -спектрометра? Проанализируйте возможные ошибки в определении  $T_{\max}$  (случайные и систематические).

12. Оцените расстояние между K- и L-линиями в  $\beta$ -спектре. Как будет выглядеть форма 76-линии при хорошем разрешении? при плохом?

#### Работа 4.3

Измерение абсолютной активности препарата «Со методом  $\gamma$ - $\gamma$  совпадений.

1. Что такое дипольный, квадрупольный, октупольный переходы в ядрах?

2. Какие квантовые законы должны выполняться при электромагнитных переходах в ядрах?

3. Что такое электрический и магнитный фотон?

4. С чем связан каскадный характер радиоактивного распада  $^{60}\text{Co}$ ? Как зависит вероятность перехода от мультипольности излучения?

5. Что называется активностью препарата, в каких единицах она измеряется?

6. Объясните принцип измерения абсолютной активности методом  $\gamma$ - $\gamma$  совпадений.

7. Опишите принцип работы и устройство фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).

8. Разъясните, почему органические и неорганические сцинтилляторы сильно отличаются друг от друга по чувствительности к  $\gamma$ -лучам. Объясните принцип работы сцинтилляционного счетчика.

9. Как работает схема совпадений? Что такое «разрешающее время»?

10. Зависит ли в данной работе точность измерения абсолютной активности препарата от эффективности счетчиков.

### Работа 5.1

Измерение коэффициентов ослабления потока  $\gamma$ -лучей в свинце, железе и алюминии. Определение энергии гамма-излучения.

1. Что такое “ $\gamma$ -излучение” ядер?
2. Каковы процессы взаимодействия  $\gamma$ -лучей с веществом?
3. Покажите, что фотоэффект на свободном электроне невозможен.
4. Используя законы сохранения, получите формулу, связывающую потерю энергии с углом рассеяния  $\gamma$ -квантов при эффекте Комптона.
5. Изменяется ли энергия  $\gamma$ -квантов при прохождении через вещество? Сравните прохождение  $\gamma$ -квантов через среду с прохождением заряженной частицы.
6. Получите формулу, описывающую ослабление потока  $\gamma$ -квантов при прохождении среды.
7. Что называется сечением взаимодействия? Как оно связано с линейным коэффициентом ослабления потока  $\gamma$ -квантов в среде?
8. Как зависят сечения фотоэффекта, комптон-эффекта и образования пар от энергии  $\gamma$ -квантов и от порядкового номера  $Z$  атомов среды?
9. Опишите принцип работы и устройство фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).
10. Расскажите про органические и неорганические сцинтилляторы. Опишите принцип работы сцинтилляционного счетчика.
11. Отличаются ли процессы взаимодействия  $\gamma$ -квантов исследуемого источника с веществом поглотителя (например,  $Al$ ) и с веществом сцинтиллятора  $NaI(Tl)$ ?
12. С какой целью в данной работе источник и детектор излучения сильно удалены друг от друга?
13. Опишите порядок проведения измерений в работе. Как учесть дрейф установки? Как оценивается фон?
14. Какова статистическая точность экспериментальных результатов и сколь велики ошибки, связанные с дрейфом аппаратуры. Сравните результаты разных серий измерений. Лежит ли различие результатов в пределах ожидаемого?
15. Сравните между собой экспериментально полученные величины полного коэффициента поглощения  $\gamma$ -квантов в  $Al$ ,  $Fe$  и  $Pb$  ( $[L] = \text{см}^{-1}$  и  $[J] = \text{г/см}^2$ ). Объясните полученные результаты. Оцените с их помощью энергию  $\gamma$ -лучей, испускаемых источником.

### Работа 5.3

Определение энергии гамма-квантов с помощью сцинтилляционного спектрометра. 1. Что такое  $\gamma$ -излучение? Каковы законы сохранения при электромагнитных переходах в ядрах?

2. С какими эффектами связано ослабление потока  $\gamma$ -квантов при прохождении через вещество?
3. Покажите, что фотоэффект невозможен на свободном электроне.
4. Каково распределение электронов по энергии при фотоэффекте и комптоновском рассеянии?
5. Что такое “край комптоновского рассеяния”? Какова энергия электронов при комптоновском рассеянии  $\gamma$ -квантов на  $180^\circ$ ?
6. Что такое сечение взаимодействия? Как зависят сечения фотоэффекта, комптон-эффекта и образования пар от энергии  $\gamma$ -квантов и от порядкового номера  $Z$  атомов среды?
7. Почему во многих ядрах  $\gamma$ -переходы следуют друг за другом, образуя каскад, а не происходят “в один прыжок” из верхнего состояния в нижнее? Какова мультипольность переходов в  $^{60}Co$ ?
8. Опишите принцип действия фотоэлектронного умножителя и его устройство.
9. Для чего служит кристалл  $NaI(Tl)$ ? Почему используют не чистые кристаллы  $NaI$ , а кристаллы, активированные таллием?
10. Поясните принцип работы сцинтилляционного спектрометра. Опишите, как преобразуется энергия падающего  $\gamma$ -кванта в электрический импульс на выходе ФЭУ спектрометра.
11. Как выглядит дифференциальный спектр радиоактивного источника, испускающего одну  $\gamma$ -линию (например,  $^{54}Mn$  с  $E_\gamma = 0,83 \text{ МэВ}$ )? Какой вклад в картину спектра вносит фотоэффект и комптон-эффект?

12. Как можно убедиться в том, что излучение, регистрируемое детектором, действительно является  $\gamma$ -излучением?
13. Как прокалибровать энергетическую шкалу амплитудного анализатора?
14. Изменится ли вид спектра  $^{60}\text{Co}$ , если вместо кристалла  $\text{NaI(Tl)}$  использовать органический кристалл?

#### Работа 6.1

Исследование резонансного поглощения  $\gamma$ -квантов (эффект Мессбауэра).

1. Какое ядерное излучение называется  $\gamma$ -излучением? Чем оно отличается от рентгеновского излучения?
2. С какими эффектами связано ослабление потока  $\gamma$ -квантов при прохождении через вещество?
3. В чем состоит эффект резонансного поглощения  $\gamma$ -лучей? При каких условиях этот эффект становится наблюдаемым?
4. Чем определяется естественная ширина линии  $\gamma$ -излучения?
5. Как влияет доплер-эффект на форму  $\gamma$ -линий?
6. Чем определяется вероятность резонансного поглощения  $\gamma$ -квантов? В области каких температур и энергий  $\gamma$ -квантов возможно наблюдение эффекта Мессбауэра?
7. Как возникает химический сдвиг линий?
8. Какой источник  $\gamma$ -квантов используется в данной работе? Приведите схему его распада. Какое вещество используется в качестве поглотителя?
9. С какой целью снимается амплитудный спектр источника излучения? Почему для измерений используют “тонкий” кристалл  $\text{NaI(Tl)}$ ?
10. Как выделяются и регистрируются  $\gamma$ -кванты с энергией  $E_\gamma = 23,8 \text{ кэВ}$ ? Как выбирается рабочее “окно” дифференциального анализатора?
11. Зачем нужен палладиевый фильтр?
12. В чем состоит метод доплеровского сдвига линий испускания и поглощения  $\gamma$ -лучей?
13. В какой последовательности исследуется спектр резонансного поглощения?
14. В установке поглотитель движется относительно источника. Можно ли двигать источник, оставив неподвижным поглотитель?
15. Сказывается ли толщина поглотителя на ширине резонансной линии, измеряемой в эксперименте?
16. Как влияют процессы поглощения  $\gamma$ -квантов в поглотителе вследствие фотоэффекта и комптон-эффекта на величину амплитуды резонансного (ядерного) поглощения  $\gamma$ -квантов в этом поглотителе?
17. Что вы знаете о применении эффекта Мессбауэра в различных научных и технических областях?

#### Работы 7.1, 7.2, 7.3

1. Каков состав первичного космического излучения? Почему в его составе нет нейтронов?
2. Каков состав космического излучения у поверхности Земли? Из каких частиц состоят мягкая и жесткая компоненты космического излучения? Каково их происхождение?
3. Какими физическими процессами определяются при прохождении через вещество энергетические потери частиц, из которых состоят мягкая и жесткая компоненты излучения? Какие из этих процессов являются доминирующими?
4. Качественно объясните угловое распределение космических лучей.
5. Объясните принципы работы телескопа из гейгеровских (сцинтилляционных) счетчиков.

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

1. Какие механические колебания называются ультразвуковыми?
2. Что такое продольные и поперечные волны и какова их природа? В каких веществах они могут распространяться?
3. Напишите выражение для бегущей волны.
4. При каких условиях возможна интерференция волн?

5. Выведите формулу, определяющую условия возникновения резонанса в интерферометре. Как влияют граничные условия на эту формулу?
6. При каких условиях возникает стоячая волна? Что такое узлы и пучности? Как происходит передача энергии в волне?
7. Почему в растворах электролитов скорость распространения ультразвука больше, чем в чистой воде?
8. Какие изменения следовало бы сделать в интерферометре, чтобы можно было производить измерения в газах?
9. Как известно из кинетической теории газов, длина свободного пробега  $\lambda$  зависит от концентрации  $n$  следующим образом:  $\lambda = 1/\sigma n$ . Что вы можете сказать о зависимости  $\sigma$  от температуры на основании полученных в п. 6 результатах?
10. Почему приборы для измерения теплопроводности газов всегда устанавливают так, что цилиндрический столб газа делается тонким и длинным и располагается вертикально?
11. Оцените влияние теплоотдачи через концы проволоки.
12. Всевозможные термоэдс обычно имеют величину нескольких микровольт на градус. Оцените величину тока в нити, при котором термоэдс в цепи вольтметра будут заметно искажать результаты измерений.
13. Какова разность температур между нитью и кожухом при токе 150 мА? Сопоставьте теоретический расчёт со своими экспериментальными результатами.
14. При выводе формулы (1) пренебрегалось зависимостью теплопроводности от температуры, поэтому она справедлива только при  $\Delta T \ll T$ . Оцените связанную с этим погрешность в определении  $\chi$ , получив точную формулу в предположении, что зависимость теплопроводности от температуры имеет вид  $\chi \sim T^\beta$ .

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при выполнении и сдаче лабораторной работы.

Оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

Оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при выполнении и сдаче лабораторной работы, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

Оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при выполнении и сдаче лабораторной работы.

Оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при выполнении и сдаче лабораторной работы.

Оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при выполнении и сдаче лабораторной работы, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность выполнять основные задания при выполнении и сдаче лабораторной работы и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность при этом продемонстрировавшему способность выполнять основные задания при выполнении и сдаче лабораторной работы и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «неудовлетворительно (2)» или «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

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

Дифференцированный зачет в каждом семестре проводится по итогам текущей успеваемости (результатам сдачи лабораторных работ).