

**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>	Основы современной физики: лабораторный практикум
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика и педагогика
	Физтех-школа физики и исследований им. Ландау
	кафедра общей физики
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

5 (осенний) - Дифференцированный зачет

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 90 час.

Самостоятельная работа: 135 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составили:

В.В. Усков, доцент

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

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 31.03.2022

## Аннотация

В лабораторном практикуме по общей физике студенты выполняют лабораторные работы по всем основным разделам курса общей физики. 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
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников

работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- 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.

		лекции	семинары	лаборат. работы	работа
1	Эффект Месбауэра. Исследование резонансного поглощения $\gamma$ квантов.			4	5
2	Исследование эффекта Комптона.			4	5
3	Магнитный момент легких ядер /ЯМР/.			4	5
4	Спектрометрия $\gamma$ – излучения с помощью сцинтилляционного спектрометра. Измерение абсолютной активности препарата Со методом $\gamma$ – $\gamma$ совпадений.			4	5
5	Определение энергии $\alpha$ частиц по величине их пробега в воздухе.			4	5
6	Измерение времени жизни мюонов на основании углового распределения интенсивности космических лучей.			4	5
7	Сцинтилляционный счетчик для детектирования космического излучения.			4	5
8	Обсуждение теоретических вопросов по предыдущим темам.			4	5
9	Изучение законов теплового излучения.			4	5
10	Фотоэффект.			4	5
11	Атом водорода.			4	5
12	Эффект Рамзауэра.			4	5
13	Измерение коэффициента ослабления потока $\gamma$ -лучей в веществе и определение их энергии. Работа по радиационной безопасности.			4	5
14	Исследование энергетического спектра -частиц и определение их минимальной энергии.			4	5
15	Опыт Франка-Герца.			4	5
16	Закон Кюри - Вейсса и обменное взаимодействие в ферромагнетиках.			3	6
17	Электронный парамагнитный резонанс.			4	7
18	Определение ширины запрещенной зоны полупроводников.			3	7
19	Исследование собственной и примесной проводимости в полупроводниках.			4	7
20	Измерение контактной разности потенциалов в полупроводниках.			3	6
21	Туннелирование в полупроводниках			4	7
22	Проверка закона Видемана-Франца			3	6
23	Измерение времени жизни мюона. Исследование поглощения вторичного космического излучения в веществе			3	7
24	Обсуждение теоретических вопросов по предыдущим темам			3	7
Итого часов				90	135
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	225 час., 5 зач.ед.
--------------------	---------------------

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

Семестр: 5 (Осенний)

##### 1. 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.

##### 2. 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.

##### 3. 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.

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

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

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

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

##### 6. 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.

##### 7. 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.

##### 8. 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.

#### 9. Изучение законов теплового излучения.

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

#### 10. Фотоэффект.

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

#### 11. Атом водорода.

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

#### 12. Эффект Рамзауэра.

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

#### 13. 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  $\gamma$ -квантов.

#### 14. Исследование энергетического спектра $\alpha$ -частиц и определение их минимальной энергии.

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

#### 15. Опыт Франка-Герца.

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

### Семестр: 6 (Весенний)

#### 16. Закон Кюри - Вейсса и обменное взаимодействие в ферромагнетиках.

Исследуется температурная зависимость магнитной восприимчивости металлического гадолиния в парамагнитной области (выше точки Кюри). По измеренной температуре Кюри оценивается энергия обменного взаимодействия.

#### 17. Электронный парамагнитный резонанс.

Исследуется ЭПР в молекуле ДФПГ. По результатам измерений определяется g-фактор электрона и ширина линии ЭПР.

#### 18. Определение ширины запрещенной зоны полупроводников.

Исследуется температурная зависимость проводимости германия и кремния. По результатам определяется ширина запрещенной зоны и сравниваются погрешности трех методов.

#### 19. Исследование собственной и примесной проводимости в полупроводниках.

Исследуется спектральная зависимость фототока в образцах CdS и CdSe с примесями ионов меди. По результатам определяются ширина запрещенной зоны полупроводника и энергия ионизации примеси.

#### 20. Измерение контактной разности потенциалов в полупроводниках.

Измеряется температурная зависимость сопротивления германиевого диода. По результатам определяется контактная разность потенциалов (p-n)-перехода.

#### 21. Туннелирование в полупроводниках

Исследуется принцип действия туннельного диода. Измеряется его вольт-амперная характеристика и определяются основные параметры диода.

#### 22. Проверка закона Видемана-Франца

Черырехточечным методом определяются коэффициенты теплопроводности и электрическая проводимость при комнатной температуре для меди, латуни, алюминия и дюралюминия. По результатам вычисляется постоянная Лоренца.

#### 23. Измерение времени жизни мюона. Исследование поглощения вторичного космического излучения в веществе

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

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

#### 24. 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.

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

Семестр: 5 (Осенний)

Лаборатория 501 ЛК.

6.1 Исследование резонансного поглощения  $\gamma$ -квантов (эффект Мессбауэра) -3 установки.

1.2 Исследование эффекта Комптона – 1 установки, 4 учебных места.

5.1 Измерение коэффициента ослабления потока  $\gamma$ -лучей в веществе и определение их энергии - 3 установки, 6 учебных мест.

5.1А Работа по радиационной безопасности – 6 учебных мест.

4.2 Исследование энергетического спектра  $\beta$ -частиц и определение их максимальной энергии при помощи магнитного спектрометра - 5 установок.

5.3 Спектрометрия  $\gamma$ -излучения с помощью сцинтилляционного спектрометра – 4 установки, 4 учебных места.

5.5 Компьютерный гамма-спектрометр

4.3 Измерение абсолютной активности препарата  $^{60}\text{Co}$  методом - совпадений. – 2 установки.

4.1 Определение энергии  $\alpha$ -частиц по величине их пробега в воздухе - 6 установок.

Лаборатория 502 ЛК

2.2 (2.3) Изучение спектров атомов водорода и йода – 6 установок.

1.1 Изучение фотоэффекта – 6 установок.

Лаборатория 503 ЛК

7.1 Измерение времени жизни  $\mu$ -мезонов на основании углового распределения интенсивности космических лучей - 2 установки.

7.4 Исследование поглощения

10.4 Магнитный момент легких ядер (ЯМР) - 5 установок.

7.4А Изучение поглощения космического излучения в свинце – 3 установки.

5.3А Установка для изучения сцинтилляционного счётчика – 4 установки.

Лаборатория 325 ЛК.

2.1 Опыт Франка-Герца 4 установки.

1.3 Эффект Рамзауэра 4 установки.

10.1 Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) 6 установок.

10.2 Наблюдение сверхтонкого расщепления спектра электронного парамагнитного резонанса. 8 установок.

Семестр: 6 (Весенний)

Тема 1. Квантовая теория магнетизма

Работа 9.1, к.325 ЛК, 9 установок

Закон Кюри-Вейса и обменное взаимодействие в ферромагнетиках (образец – Cd-гадолиний)

Работа 9.2, к.325 ЛК, 7 установок

Наблюдение и изучение доменной структуры в ферромагнитной пленке железо- иттриевого граната

Тема 2 Электронный парамагнитный резонанс

Работа 10.1, к.325 ЛК, 7 установок

Электронный парамагнитный резонанс (в МГц диапазоне и в ГГц диапазоне)

Тема 3. Энергетические зоны в твердом теле

Работа 11.1, к.325 ЛК, 8 установок

Определение ширины запрещенной зоны полупроводника (на постоянном токе, на переменном токе и бесконтактным методом)

Тема 4. Фотоэффект

Работа 11.2, к.325 ЛК, 6 установок

Исследование собственной и примесной фотопроводимости в полупроводниках

Тема 5. Контактная разность потенциалов

Работа 4.3, к.325 ЛК, 9 установок

Измерение контактной разности потенциалов в полупроводниках (в германиевом диоде)

Тема 6. Туннельные диоды

Работа 11.5, к.325 ЛК, 8 установок

Туннелирование в проводниках

Тема 7. Физика высоких энергий

Работа 7.1, к.325 ЛК, 2 установки

Измерение времени жизни мюона



## 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. 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.
11. Квантовая микро- и макрофизика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ципенюк .— М. : Физматкнига, 2006 .— 640 с.
12. Начальные главы квантовой механики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко .— М. : Физматлит, 2004,2006 .— 360 с.
13. 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.
14. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 2 : Оптика : учеб. пособие для вузов / под ред. А. В. Максимова ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2014 .— 446 с.
15. 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.
16. 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.
20. 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. Механика [Текст] / 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.
3. Элементы релятивистской механики [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Д. Гладун ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2003 .— 47 с.
4. 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.

5. 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.
  6. 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.
  7. Энтропия [Текст] : 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.
  8. 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.
  9. Основы теории электричества [Текст] : учеб. пособие для ун-тов; доп. Гос. ком. СССР / И. Е. Тамм .— 10-е изд., испр. — М. : Наука, 1989 .— 504 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.
  11. Оптика [Текст] : учеб. пособие для физ. спец. вузов / Г. С. Ландсберг .— 6-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2003 , 2006, 2010 .— 848 с.
  12. Основы квантовой физики и строение вещества [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. П. Крылов ; М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР , Моск. физико-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 1989 .— 184 с.
  13. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / И. Ф. Щеголев .— 2-е изд., испр. — Долгопрудный : Интеллект, 2008 .— 208 с.
  14. Молекулярная физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин .— 2-е изд., перераб. — М. : Наука, 1976 .— 480 с.
- Рекомендованная литература для самостоятельного изучения.

1. Физические основы механики [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. Э. Хайкин .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1971 .— 752 с.
2. Фейнмановские лекции по физике [Текст]. 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.
3. Термодинамика [Текст] : учебник для ун-тов / И. П. Базаров .— 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1991 .— 376 с.
4. 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.
5. Электричество и магнетизм [Текст] : [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.
6. Оптика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. И. Бутиков ; под ред. Н. И. Калитеевского .— М. : Высшая школа, 1986 .— 512 с.
7. Основы оптики [Текст] : [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.
8. Физическая оптика [Текст] : учебник для вузов / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин .— М. : Изд-во МГУ, 2004 .— 656 с.
9. 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.
10. Введение в физику ядра и частиц [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. М. Капитонов .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Едиториал УРСС, 2006 .— 328 с.
11. Лекции по атомной физике [Текст] : учебник для вузов / М. А. Фаддеев, Е. В. Чупрунов .— М. : Физматлит, 2008 .— 612 с.

## 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 сайт с 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, Origeni 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 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 чертёж, 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>	Физика и педагогика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра общей физики
<b>курс:</b>	<u>3</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 5 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 6 (весенний) - 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
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы современной физики: лабораторный практикум (КОФ)» 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. Какова природа молекулярных спектров?
2. Изобразите энергетическую схему уравнений 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?

1. Объясните причину образования энергетических зон в твердом теле.
2. Какие вещества называются металлами, полупроводниками, диэлектриками? Чем объясняется различие между ними с точки зрения зонной теории?
3. Где расположен уровень Ферми в металлах и в полупроводниках?
4. Как образуются в кристаллах локальные энергетические уровни и примесные зоны?
5. Чем определяется ширина разрешенной зоны и число состояний в ней?
6. Какой функцией определяется вероятность заполнения электронами уровней в зоне проводимости и вероятность появления дырок в валентной зоне?
7. При каких условиях распределение Ферми может быть заменено распределением Больцмана? Не будет ли при этом нарушен принцип Паули? В каких случаях полупроводник называют невырожденным, и в каких - вырожденным?
8. Каков механизм собственной и примесной проводимости?
9. Чем объясняется различный ход температурной зависимости сопротивления у металлов и полупроводников?
10. Объясните, что такое дырка и дырочная проводимость?
11. Что называется эффективной массой носителей заряда? Каков физический смысл этого понятия?

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

1. В чем заключается явление внутреннего фотоэффекта в полупроводнике?
2. Какие носители тока называются равновесными и неравновесными? Какие носители обуславливают фотопроводимость?
3. Какими факторами определяется величина темнового тока?
4. Что называется красной границей фотоэффекта? Чем она определяется для собственных и примесных полупроводников?
5. Зависит ли красная граница фотоэффекта от температуры образца?
6. Объясните зависимость фотоэффекта от длины волны падающего света.
7. Объясните влияние температуры полупроводника на его фоточувствительность.
8. Поглощение света может и не приводить непосредственно к появлению свободных носителей тока. Назовите механизмы фотоэлектрически неактивного поглощения света.
9. Что такое “квантовый выход”?
10. Что называется временем жизни неравновесных носителей тока? Назовите механизмы рекомбинации, уменьшающие время жизни носителей тока.
11. Проследите за соблюдением закона сохранения энергии и импульса при взаимодействии фотона с электроном, приводящем к межзонному переходу электрона.
12. Ширина запрещенной зоны может быть определена как по спектральной зависимости фототока (указанный метод принят в лабораторной работе), так и по спектру пропускания. Какой из этих методов предпочтительнее?
13. Почему фотосопротивления изготавливаются из тонких полупроводниковых пленок, пропускающих через себя значительную часть падающего света?
14. Из каких основных частей состоит лабораторная установка для изучения фотопроводимости? Каково их назначение?
15. С какой целью перед входной щелью монохроматора располагают фокусирующую линзу?
16. Какие типы переходов наблюдаются в образце полупроводника при поглощении квантов света?

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?

#### 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 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**

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



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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: лабораторный практикум» осуществляется в форме дифференцированного зачёта.

Для получения зачёта студенту необходимо выполнить заданное количество лабораторных работ. Для выполнения каждой лабораторной работы студент должен подготовиться к выполнению работы, сдать подготовку преподавателю, выполнить экспериментальную часть работы, выполнить необходимые расчёты и оформить работу, сдать работу преподавателю. Для получения зачёта по каждой работе предусмотрены контрольные вопросы:

#### 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? Отчего 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  $I_{\text{нас}}$ , 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?
  - отчего и как должна зависеть кинетическая энергия фотоэлектронов?
  - отчего 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 у-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 у-квантов при эффекте Комптона.
5. Поясните принцип действия сцинтилляционного спектрометра.
6. Опишите, как преобразуется энергия падающего у-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 исказилась 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 физике 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 Ридберга.

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 уравнений 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  $D$ -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  $p_e$ .
- 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? Отчего 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 К- и L-линиями в  $\beta$ -спектре. Как будет выглядеть форма 76-линии при хорошем разрешении? при плохом?

#### Работа 4.3

## ИЗМЕРЕНИЕ АБСОЛЮТНОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТА “Co 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,  $\text{Al}$ ) и с веществом сцинтиллятора  $\text{NaI(Tl)}$ ?
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  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Pb}$  ( $[\mu] = \text{см}^{-1}$  и  $\{\mu\} = \text{г/см}^2$ ). 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  $\beta$ -переходы следуют друг за другом, образуя каскад, а не происходят “в один прыжок” из верхнего состояния в нижнее? Какова мультипольность переходов в  $^{60}\text{Co}$ ?
8. Опишите принцип действия фотоэлектронного умножителя и его устройство.
9. Для чего служит кристалл  $\text{NaI(Tl)}$ ? Почему используют не чистые кристаллы  $\text{NaI}$ , 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,  $^{54}\text{Mn}$  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 гамма-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.

### Работа 9.1

#### ЗАКОН КЮРИ-ВЕЙСА И ОБМЕННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

1. Запишите уравнения, описывающие магнитное поле в среде. Дайте определение величин, входящих в эти уравнения.
2. Какие вещества относятся к диа-, пара- и ферромагнетикам?
3. Какова природа диа-, пара- и ферромагнетизма?
4. Назовите необходимые условия для появления магнитной упорядоченности в ферромагнетиках?
5. С чем связано появление доменов в ферромагнетике? Какие факторы влияют на формирование доменной структуры?
6. Почему велико значение магнитной восприимчивости вещества  $\chi$  для ферромагнетиков?
7. Почему при определенной температуре ферромагнетик существенно изменяет свои магнитные свойства?
8. Что такое точка Кюри?
9. Каким образом из температурной зависимости  $\chi(T)$  можно определить температуру Кюри?
10. Как по известной температуре Кюри определить усредненную энергию обменного взаимодействия, приходящуюся на один атом?
11. Как внешнее магнитное поле влияет на доменную структуру ферромагнетиков. Какие процессы происходят в ферромагнетике с ростом напряженности магнитного поля?
12. Дайте качественное объяснение зависимости  $B(H)$  при перемагничивании ферромагнетика.
13. Как можно управлять шириной петли гистерезиса в ферромагнитных материалах?
14. Чем отличаются ферримагнетики от ферромагнетиков? Какие наиболее важные свойства ферритов?



15. Какова методика регистрации петли гистерезиса. Как Вы определяете основные параметры петли гистерезиса: остаточную намагниченность, коэрцитивную силу, потери на перемагничивание?
16. В чем заключаются магнитооптические эффекты Керра и Фарадея?
17. Какие методы регистрации и стирания магнитной записи на ферромагнитной пленке Вы можете предложить?
18. Что собой представляют лабиринтные, линейные, цилиндрические домены? Каковы их размеры?

### **Работа 10.1**

#### **ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАРАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС**

1. Что такое электронный парамагнитный резонанс? Почему он называется парамагнитным?
2. Как расщепляются энергетические уровни электронов в постоянном магнитном поле? Какой формулой описываются заселенности образовавшихся подуровней?
3. При каких условиях наступает насыщение парамагнитного резонанса?
4. Каким образом нарушенное тепловое равновесие восстанавливается после выключения внешнего возмущения?
5. Какие причины приводят к уширению линии электронного парамагнитного резонанса?
6. Какое взаимодействие (спин-спиновое, спин-решеточное) зависит от температуры образца? Какое взаимодействие существенно влияет на форму линии электронного парамагнитного резонанса?
7. Какова природа обменного взаимодействия? Как оно сказывается на форме линии электронного парамагнитного резонанса?
8. Что такое тонкая структура линий электронного парамагнитного резонанса?
9. Чем объясняется сверхтонкое расщепление? Как оно сказывается на спектре электронного парамагнитного резонанса?
10. Что такое  $g$ -фактор или фактор спектроскопического расщепления? Всегда ли измерения с помощью электронного парамагнитного резонанса приводят к значению  $g$ , равному 2 (как для свободного электрона)?
11. В ионе  $Mn^{2+}$  имеется 5 электронов, спины которых не спарены (на внешней  $3-d$  - оболочке). Сколько линий электронного парамагнитного резонанса можно наблюдать на ионах  $Mn^{2+}$ ?
12. Явление электронного парамагнитного резонанса можно описать классически, исследуя прецессию вектора магнитного момента электрона в магнитном поле. Чему равна круговая частота такой прецессии, если индукция магнитного поля равна  $B$ ?
13. Из каких элементов состоит лабораторная установка для наблюдения электронного парамагнитного резонанса? Каково их назначение?
14. В радиочастотном диапазоне обычно применяются два метода измерения электронного парамагнитного резонанса: один из них - метод реакции генератора, другой основан на изменении добротности контура вследствие парамагнитных потерь. Какой из методов используется в лабораторной работе?
15. Для повышения добротности колебательного контура экспериментальной установки его детали и экран посеребрены. Как велика добротность используемого в работе контура? Добротность контура можно определить, используя генератор и осциллограф установки.
16. Для чего в установке по наблюдению электронного парамагнитного резонанса применяется модуляция магнитного поля?

17. Как должны быть взаимно ориентированы постоянное магнитное поле и магнитный вектор высокочастотного поля при наблюдении электронного парамагнитного резонанса?
18. Каким способом измеряется индукция постоянного и переменного полей в лабораторной установке?
19. Какое влияние на сигнал электронного парамагнитного резонанса оказывает неоднородность магнитного поля?
20. Экран колебательного контура хорошо выполняет свое назначение, если он образует замкнутое кольцо вокруг контура. Сказывается ли на результатах измерений  $\Lambda$ -фактора наличие такого кольца между катушками, создающими магнитное поле?
21. Для какой цели в установку по наблюдению электронного резонанса введен фазовращатель?
22. Как зависит величина сигнала электронного парамагнитного резонанса от температуры образца?
23. Оцените, как меняется величина сигнала электронного парамагнитного резонанса с ростом частоты высокочастотного поля (при выполнении условия  $hCJ = IUqB_0$ ).
24. Какие факторы вносят основной вклад в погрешность определения  $\Lambda$ -фактора и ширины линии на ДФПГ?

### **Работа 11.1**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА**

1. Объясните причину образования энергетических зон в твердом теле.
2. Какие вещества называются металлами, полупроводниками, диэлектриками? Чем объясняется различие между ними с точки зрения зонной теории?
3. Где расположен уровень Ферми в металлах и в полупроводниках?
4. Как образуются в кристаллах локальные энергетические уровни и примесные зоны?
5. Чем определяется ширина разрешенной зоны и число состояний в ней?
6. Какой функцией определяется вероятность заполнения электронами уровней в зоне проводимости и вероятность появления дырок в валентной зоне?
7. При каких условиях распределение Ферми может быть заменено распределением Больцмана? Не будет ли при этом нарушен принцип Паули? В каких случаях полупроводник называют невырожденным, и в каких - вырожденным?
8. Каков механизм собственной и примесной проводимости?
9. Чем объясняется различный ход температурной зависимости сопротивления у металлов и полупроводников?
10. Объясните, что такое дырка и дырочная проводимость?
11. Что называется эффективной массой носителей заряда? Каков физический смысл этого понятия?
12. Что называют подвижностью носителей заряда; как она зависит от температуры в полупроводниках? При каких условиях можно пренебречь зависимостью подвижности носителей заряда от температуры?
13. Для экспериментального определения ширины запрещенной зоны в работе исследуется зависимость проводимости полупроводника от температуры. Из каких соображений следует выбирать рабочий диапазон температур?
14. Почему измерения удельного сопротивления полупроводников производят обычно при очень слабом освещении или в темноте?
15. В чем преимущество потенциометрического метода измерения напряжения между зондами на образце перед измерением напряжения вольтметром, потребляющим ток?

16. В эксперименте используется образец полупроводникового материала прямоугольной формы. Насколько высокими должны быть требования к правильности геометрической формы образца?
17. Как исключить влияние термо ЭДС, которая может возникнуть между зондом и образцом?
18. Распределение примесей в полупроводниковых образцах может быть неоднородным. Как оценить электрическую однородность образца?
19. С какой точностью следует измерять сопротивление при выбранном способе измерения его температуры?
20. Устраняются ли влияния термо ЭДС и контактной разности потенциалов с помощью моста переменного тока?
21. В чем преимущества бесконтактного емкостного метода измерения сопротивления полупроводникового образца? Какие требования предъявляются к исследуемому образцу и к диэлектрическим прокладкам, изолирующим образец от пластин конденсатора при использовании этого метода?
22. Почему для определения ширины запрещенной зоны следует использовать часть графика  $I_{\text{па}} —$ , соответствующую более высоким температурам?
23. Какие факторы оказывают наиболее существенное влияние на точность определения ширины запрещенной зоны в проведенном Вами эксперименте.

### **Работа 11.2**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННОЙ И ПРИМЕСНОЙ ФОТОПОВОДИМОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

1. В чем заключается явление внутреннего фотоэффекта в полупроводнике?
2. Какие носители тока называются равновесными и неравновесными? Какие носители обуславливают фотопроводимость?
3. Какими факторами определяется величина темно-вого тока?
4. Что называется красной границей фотоэффекта? Чем она определяется для собственных и примесных полупроводников?
5. Зависит ли красная граница фотоэффекта от температуры образца?
6. Объясните зависимость фотоэффекта от длины волны падающего света.
7. Объясните влияние температуры полупроводника на его фоточувствительность.
8. Поглощение света может и не приводить непосредственно к появлению свободных носителей тока. Назовите механизмы фотоэлектрически неактивного поглощения света.
9. Что такое “квантовый выход”?
10. Что называется временем жизни неравновесных носителей тока? Назовите механизмы рекомбинации, уменьшающие время жизни носителей тока.
11. Проследите за соблюдением закона сохранения энергии и импульса при взаимодействии фотона с электроном, приводящем к межзонному переходу электрона.
12. Ширина запрещенной зоны может быть определена как по спектральной зависимости фототока (указанный метод принят в лабораторной работе), так и по спектру пропускания. Какой из этих методов предпочтительнее?
13. Почему фотосопротивления изготавливаются из тонких полупроводниковых пленок, пропускающих через себя значительную часть падающего света?
14. Из каких основных частей состоит лабораторная установка для изучения фотопроводимости? Каково их назначение?
15. С какой целью перед входной щелью монохроматора располагают фокусирующую линзу?
16. Какие типы переходов наблюдаются в образце полупроводника при поглощении квантов света?

17. Почему на кривой фототока видны один или два, а не три поднимающихся участка (переход из валентной зоны в зону проводимости, переход из валентной зоны на примесный уровень, переход с примесного уровня в зону проводимости)?
18. Для чего спектральную зависимость фототока пересчитывают на постоянный поток фотонов?
19. Как определяется ширина запрещенной зоны и энергия ионизации примеси по спектральной кривой фототока?
20. Как влияет на точность определения ширины запрещенной зоны ширина входной и выходной щелей монохроматора?
21. Можно ли на лабораторной установке определить ширину запрещенной зоны германия и кремния?
22. Объясните, почему спектральная кривая фототока образца CdS при смещении от красной границы в сторону коротких длин волн после резкого подъема быстро спадает?
23. Почему показания прибора, измеряющего фототок, устанавливаются не сразу, а через некоторое время после освещения полупроводника?
24. Какие факторы вносят существенный вклад в погрешность определения ширины запрещенной зоны и энергии ионизации примеси образца CdS?

### **Работа 4.3**

#### **ИЗМЕРЕНИЕ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

1. Почему при соприкосновении двух проводящих электрический ток материалов возникает контактная разность потенциалов?
2. Какой вид имеет функция распределения электронов в полностью заполненной валентной зоне?
3. Что такое “дырка”? Каковы ее заряд и масса? Объясните, почему с помощью “дырок” можно характеризовать коллективные состояния электронов в почти заполненных зонах?
4. Каковы размеры области, в которой локализована контактная разность потенциалов? Одинаковы ли эти размеры у разных металлов и полупроводников?
5. В какую сторону смещается уровень Ферми в полупроводниках л-типа по сравнению с беспримесными полупроводниками?
6. Какие носители заряда называются основными?
7. Возникает ли контактная разность потенциалов на границе собственного и примесного полупроводников?
8. При каких температурах и напряжениях  $p$ - $n$  переход ведет себя как выпрямитель тока?
9. Какой экспериментальный метод используется в работе для измерения активного сопротивления диода?
10. Какое физическое явление используется для охлаждения и нагревания рабочей камеры?
11. Какие токи допустимы в режиме нагрева рабочей камеры?
12. Как измеряется температура рабочей камеры в данной работе?
13.  $p$ - $n$  переход, кроме активного сопротивления, характеризуется емкостью. Ее величину можно грубо оценить как емкость конденсатора с толщиной  $=1\text{СГ}^5\text{см}$  и  $\epsilon = 16$ . Вносит ли наличие этой емкости существенную ошибку в определении  $AVI$

### **Работа 11.5**

#### **ТУННЕЛИРОВАНИЕ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

1. Чем отличаются вырожденные полупроводники от невырожденных? Где располагается уровень Ферми в этих полупроводниках?
2. В каких полупроводниках допустимо использование Больцмановского распределения свободных носителей заряда по энергиям вместо Фермиевского распределения?
3. К каким физическим следствиям приводит сильное легирование полупроводников, образующих  $p$ - $n$  переход?
4. Изобразите вольтамперную характеристику туннельного диода, укажите на ней ветвь туннелирования и ветвь диффузионного тока.
5. Какие параметры ВАХ определяют положение уровней Ферми в полупроводниках  $p$ - $n$  перехода?
6. Каков механизм прохождения прямого и обратного тока в туннельном диоде?
7. Объясните работу схемы для получения ВАХ туннельного диода - статической (по точкам) и динамической (на экране осциллографа).
8. Чем объяснить, что часть вольтамперной характеристики не видна на экспериментально полученной ВАХ?
9. Какие применения туннельных диодов Вы можете предложить?
10. Изобразите схему генератора на туннельном диоде. Чем определяется частота и гармоничность колебаний этого генератора?
11. Оцените мощность излучения экспериментальной схемы генератора на туннельном диоде.

## Работа 10.2

### ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

1. Как расщепляются энергетические уровни атомного ядра в магнитном поле?
2. Выразите разность энергии  $\Delta E$  между соседними компонентами энергетического уровня ядра в магнитном поле  $B$  через  $g$ -фактор (фактор спектроскопического расщепления) и ядерный магнетон Бора.
3. Какими формулами описываются заселенности компонент, образующихся из одного ядерного уровня? Температуру среды считать известной, а заселенности - стационарными.
4. В чем заключается явление ядерного магнитного резонанса?
6. По каким причинам может нарушиться равновесная заселенность, и какие взаимодействия приводят к восстановлению теплового равновесия?
7. При каких условиях наступает насыщение ядерного магнитного резонанса? Почему величина сигнала ядерного магнитного резонанса зависит от температуры образца?
8. Что такое спин-спиновое взаимодействие? Какова его роль в уширении линии ядерного магнитного резонанса?
9. Что такое спин-решеточное взаимодействие? Как оно влияет на величину сигнала и ширину линии ядерного магнитного резонанса?
10. Сколько линий ядерного магнитного резонанса можно наблюдать на ядрах, спин которых равен  $1/2$  и на ядрах, спин которых равен  $3/2$ ? Может ли наблюдаться ядерный магнитный резонанс на ядрах, спин которых равен нулю (кстати, таких ядер большинство)?
11. Ядерный магнитный резонанс допускает классическое объяснение. Рассматривая прецессию магнитного момента ядра в магнитном поле  $B$ , определите круговую частоту прецессии. Соответствует ли эта частота энергии перехода между расщепившимися уровнями ядра?
12. Из каких основных частей состоит лабораторная установка для наблюдения ядерного магнитного резонанса? Каково их назначение?

13. Как влияет на сигнал ядерного магнитного резонанса неоднородность магнитного поля?
14. Объясните, почему стальной шарик, свободно лежащий в горизонтально расположенной стеклянной трубке, может служить индикатором неоднородности магнитного поля?
15. Как следует ориентировать друг относительно друга постоянное поле и магнитный вектор высокочастотного поля при исследовании ядерного магнитного резонанса?
16. Для чего в установке применяется модуляция постоянного магнитного поля? Из каких соображений выбирается амплитуда модуляции?
17. Как измеряется величина индукции постоянного и модуляционного магнитных полей? Какие еще способы измерения вы можете предложить?
18. Оцените максимальную частоту модуляции магнитного поля, при которой еще можно наблюдать линию ядерного магнитного резонанса от ядер водорода в чистой воде?
19. Почему при добавлении к чистой воде треххлористого железа удается наблюдать линию ядерного резонанса от ядер водорода при частоте модуляции поля 50 Гц?
20. Почему ширина линии ядерного магнитного резонанса зависит от химического строения молекулы и агрегатного состояния образца?
21. Установка для наблюдения ядерного магнитного резонанса может быть использована для измерения индукции магнитного поля. В каком диапазоне индукций магнитного поля можно производить измерения вашей установкой, используя образцы из резины и тефлона?
22. В лабораторной работе g-фактор ядер фтора измеряется или при постоянной индукции магнитного поля, или при постоянной частоте высокочастотного поля. В каком случае погрешность измерения g-фактора оказывается меньше?

### Работа 4.3

#### ИЗМЕРЕНИЕ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

1. Почему при соприкосновении двух проводящих электрический ток материалов возникает контактная разность потенциалов?
2. Какой вид имеет функция распределения электронов в полностью заполненной валентной зоне?
3. Что такое “дырка”? Каковы ее заряд и масса? Объясните, почему с помощью “дырок” можно характеризовать коллективные состояния электронов в почти заполненных зонах?
4. Каковы размеры области, в которой локализована контактная разность потенциалов? Одинаковы ли эти размеры у разных металлов и полупроводников?
5. В какую сторону смещается уровень Ферми в полупроводниках л-типа по сравнению с беспримесными полупроводниками?
6. Какие носители заряда называются основными?
7. Возникает ли контактная разность потенциалов на границе собственного и примесного полупроводников?

8. При каких температурах и напряжениях  $p$ - $n$  переход ведет себя как выпрямитель тока?
9. Какой экспериментальный метод используется в работе для измерения активного сопротивления диода?
10. Какое физическое явление используется для охлаждения и нагревания рабочей камеры?
11. Какие токи допустимы в режиме нагрева рабочей камеры?
12. Как измеряется температура рабочей камеры в данной работе?
13.  $p$ - $n$  переход, кроме активного сопротивления, характеризуется емкостью. Ее величину можно грубо оценить как емкость конденсатора с толщиной  $=1\text{СГ}^5\text{см}$  и  $\epsilon = 16$ . Вносит ли наличие этой емкости существенную ошибку в определении  $AVI$
14. Как вы оцениваете погрешность в определении наклона графика
15. В действительности в формуле (19)  $A$  не является константой, а может быть описана степенной функцией температуры  $T$ . Какова будет ошибка в определении  $AV$ , если  $A \propto T^2$ , а Вы это не учли при обработке результатов?

### Работа 8.1

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ СТЕФАНА- БОЛЬЦМАНА И ПЛАНКА ИЗ АНАЛИЗА ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НАКАЛЕННЫХ ТЕЛ

1. Что называется равновесным тепловым излучением?
2. Что называется испускательной и поглощательной способностью тела? Сформулируйте закон Кирхгофа. Что такое абсолютно черное тело?
3. Какая гипотеза лежит в основе выводов формулы Планка для теплового излучения абсолютно черного тела?
4. Как из формулы Планка получить законы Вина и Стефана- Больцмана?
5. Что такое серое тело? Как сформулировать закон Стефана- Больцмана для серого тела?
6. Что называется яркостной температурой тела? В чем заключается принцип работы пирометра с исчезающей нитью?
7. Может ли яр костная температура зависеть от длины волны, на которой работает светофильтр, используемый в пирометре?
8. Является ли излучение исследуемой раскаленной спирали равновесным? Почему ее излучение должно подчиняться закону Стефана- Больцмана?
9. При газовом разряде также происходит излучение электромагнитных волн. Является это излучение равновесным и тепловым?
10. Изобразите оптическую схему пирометра с исчезающей нитью и объясните принцип его работы
11. С любого ли расстояния можно измерить яркостную температуру при помощи пирометра?
12. Зависит ли величина измеренной яркостной температуры от расстояния между поверхностью накаливаемого тела и пирометром?
13. Имеет ли значение форма сечения “исчезающей” нити в пирометре (круглая или прямоугольная) для точности измерения яркостной температуры?
14. Эффективная площадь излучения нити лампы накаливания проведена в описании к работе для температуры свыше  $1500\text{С}$ . Можно ли использовать это значение площади излучения нити для меньшей температуры нити?
15. Как сказывается на точности определения  $\sigma$  и  $h$  отвод тепла от нити накаливания по поддерживающим ее вольфрамовым ножкам?
16. Какую часть кривой  $1p(1Г) = ЦТ$  следует использовать для определения значений  $\sigma$  и  $h$ ?

17. С какой целью при всех измерениях яркостной температуры пирометром используется красный светофильтр?
18. Для чего при измерении пирометром более высоких температур вводится дополнительно серый светофильтр?
19. Можно ли с помощью пирометра с исчезающей нитью измерить температуру поверхности Солнца?
20. Как, используя закон смещения Вина, определить температуру поверхности Солнца?

#### 4. Критерии оценивания

По результатам подготовки работу выставляется от 0 до 10 баллов согласно уровню подготовки студента. По результатам сдачи выставляется от 0 до 10 баллов согласно уровню подготовленного отчёта и знаний студента. Из полученных баллов за каждую работу рассчитывается средний балл

Оценка	Баллы
отлично	10
	9
	8
хорошо	7
	6
	5
удовлетворительно	4
	3
неудовлетворительно	2
	1

Из полученных баллов за каждую работу рассчитывается средний балл, который определяет оценку за зачёт.

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**

Зачет в каждом семестре проводится по итогам текущей успеваемости (результатам сдачи лабораторных работ)