

Министерство образования и науки Российской Федерации

Уральский федеральный университет

имени первого президента России Б.Н. Ельцина

## **Дополнительные главы физики**

Методические указания и контрольные задания

по дополнительным главам физики

для студентов заочной формы обучения

всех технических специальностей

Екатеринбург

2016

УДК 530(075.8)

Составители Г.В.Сакун, Н.А.Звездина

**Дополнительные главы физики.** Методические указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения всех технических специальностей /Г.В.Сакун, Н.А.Звездина

Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2016, с.

Приведены методические указания к решению задач, примеры решения типичных задач, задачи для самостоятельного решения и таблица вариантов контрольной работы по курсу «Дополнительные главы физики» для студентов заочной формы обучения. Задания составлены в соответствии с действующей рабочей программой по физике. Задания могут быть использованы также в качестве домашних заданий для студентов очной формы обучения.

Подготовлено кафедрой физики.

ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет, УГТУ – УПИ, 2016.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью настоящих учебно - методических указаний является оказание помощи студентам – заочникам инженерно - технических специальностей высших учебных заведений при изучении курса «Дополнительные главы физики».

По каждой теме, которая включена в задания контрольной работы, приведены основные формулы и законы, необходимые для решения задач. Приведены подробные решения типичных задач по каждой теме и показаны примеры оформления задач.

Приведены таблицы вариантов и задачи контрольных работ.

Кроме того, здесь же приведены общие методические указания, которые необходимо выполнять при выполнении и оформлении контрольных заданий.

**ОБЯЗАТЕЛЬНО ВНИМАТЕЛЬНО ПРОЧИТАЙТЕ УКАЗАНИЯ,  
ПРИВЕДЕННЫЕ НИЖЕ, И УЧИТЫВАЙТЕ ВСЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К  
ОФОРМЛЕНИЮ И СРОКАМ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ.**

При выполнении контрольных работ студенту необходимо руководствоваться следующим:

1. Номер варианта контрольной работы определяется последней цифрой его шифра. Номера задач каждого варианта определяются таблицей вариантов, приведенной в указаниях.

2. Контрольные работы выполняются в обычной школьной тетради, на лицевой стороне которой (на обложке) приводятся сведения по следующему образцу:

Студент заочного факультета УрФУ

Андреев И.В.

Шифр 253720

Адрес: 6204600, г. Верхняя Салда,

Ул. Восточная, д. 16, кв. 54

## Контрольная работа по курсу «Дополнительные главы физики»

**3. Условия задач** в контрольной работе **переписываются полностью без сокращений**. На страницах тетради оставляются поля для замечаний преподавателя и после каждой решенной задачи необходимо оставлять место для замечаний преподавателя и для ответа на эти замечания или внесения исправлений к решению. Каждая следующая задача должна начинаться с новой страницы.

4. В конце контрольной работы указывается, каким основным учебником или учебным пособием пользовался студент при изучении курса физики (название, автор, год издания).

5. На первичную проверку работа должна быть представлена не менее, чем за месяц до начала сессии.

6. Если контрольная работа при первичной проверке не зачтена, то студент обязан представить её на повторную проверку не позднее, чем за две недели до начала сессии, включив в неё те задачи, решение которых оказалось неверным. Зачтенные задачи заново переписывать не надо. Если работа для повторной проверки переписана заново, то её надо представлять вместе с уже проверенной работой.

7. Защита выполненных, но не зачтенных работ производится во время экзаменационной сессии в форме собеседования с преподавателем (дни и часы защиты работ указываются в расписании).

8. В том случае, когда работа зачтена, студенту отсылается только обложка работы с отметкой преподавателя и его росписью.

Обложка зачтенной контрольной работы предъявляется преподавателю перед началом экзамена или зачета.

### УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ЗАДАЧ.

1. Записать текст условия задачи полностью.
2. Выписать численные данные и перевести их в Международную систему измерения физических величин (СИ).
3. Выполнить чертеж или рисунок, поясняющий содержание задачи, показав на нем соответствующие обозначения физических величин,

4. Проанализировать условие задачи и указать основные законы, которые нужно применить для решения, указать, почему их можно применить и записать их аналитическую форму. Пояснить буквенные обозначения физических величин, входящих в эти формулы.

Если при решении задач применяется частная формула, не выражающая какой-нибудь закон или не являющаяся определением какой – либо физической величины, то её следует вывести.

5. Необходимо сопровождать весь ход решения задачи краткими, но исчерпывающими пояснениями. Результатом анализа и решения задачи является составление системы уравнений, которая включает в себя все искомые величины.

6. Получить решение задачи в аналитическом виде, т.е. выразить искомые величины через заданные величины в буквенном виде и стандартные физические постоянные.

7. Подставить в полученную формулу численные значения всех величин, выраженных системе СИ. Произвести вычисления и получить искомый результат. Записать ответ, указав единицы измерения искомой величины.

Проанализировать полученный результат.

Чтобы разобраться в предложенных задачах и выполнить контрольную работу правильно, следует после изучения теории очередного раздела учебника внимательно разобрать помещенные в настоящих указаниях примеры решения типовых задач, близких по уровню сложности к задачам контрольной работы.

На экзамен или зачет студент должен явиться, имея при себе зачетную книжку, в которой должна быть запись преподавателя о выполненных лабораторных работах. Кроме этого на руках у него должна быть корочка зачетной контрольной работы.

Расписание пересдач в межсессионный период вывешивается около деканата и на доске объявлений на кафедре физики.

## Основные формулы для решения задач

Для освоения материала этой темы и решения задач по курсу «Дополнительные главы физики» необходимо ознакомиться со следующими понятиями и законами.

### *Адиабатный процесс. Уравнение Пуассона*

Адиабатический процесс – процесс, протекающий без обмена теплом с внешней средой. Условие протекания процесса:  $\Delta Q = 0$ .

Уравнения Пуассона. Параметры газа давление, объем и температура при адиабатическом процессе связаны следующими соотношениями:

$$P \cdot V^\gamma = const, \quad T \cdot V^{\gamma-1} = const \quad \text{или} \quad T \cdot P^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = const,$$

где  $\gamma$  - коэффициент Пуассона, равный  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$  ;

$C_p = \frac{i}{2}R + R$  - молярная теплоемкость при постоянном давлении,

$C_v = \frac{i}{2}R$  - молярная теплоемкость при постоянном объеме.

Или  $C_p = C_v + R$ .

Работа газа при адиабатическом процессе совершается за счет уменьшения внутренней энергии системы, что следует из первого начала термодинамики.

$$A = -\Delta U \quad \text{или} \quad A = -\frac{m}{\mu} C_v \Delta T$$

### *Физическая кинетика. Явления переноса*

Среднее число столкновений одной молекулы в единицу времени

$$\bar{z} = \sqrt{2} \pi d^2 n \cdot \bar{v},$$

где  $d$  - эффективный диаметр молекулы,  $n$  - концентрация молекул,

$\bar{v}$  - средняя арифметическая скорость молекул.

Общее число столкновений всех молекул в единице объема в единицу времени

$$Z = \bar{z} \cdot n / 2$$

Средняя длина свободного пробега молекул газа

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$$

### ***Явление диффузии. Закон Фика.***

Масса газа  $\Delta m$ , перенесенная через площадку за время в результате диффузии, равна  $\Delta m = -D \left( \frac{\Delta n}{\Delta x} \right) m_0 S \Delta t$ ,

где  $D$  – коэффициент диффузии,  $\frac{\Delta n}{\Delta x}$  – градиент концентрации молекул,  $m_0$  – масса одной молекулы.

Знак минус показывает, что направление переноса массы происходит в направлении противоположном направлению вектора градиента концентрации молекул газа.

Коэффициент диффузии прямо пропорционален средней арифметической скорости молекул  $\bar{v}$  и средней длине свободного пробега молекул газа  $\bar{\lambda}$

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \cdot \bar{\lambda}$$

### ***Вязкость, внутреннее трение. Закон Ньютона***

Импульс (количество движения), переносимый молекулами из одного слоя газа (жидкости) в другой через единичную площадку,

$$dp = \eta \left( \frac{\Delta v}{\Delta x} \right) \Delta S \cdot dt$$

Закон Ньютона. Сила внутреннего трения, действующая между движущимися слоями жидкости (или газа), равна

$$F = \eta \left( \frac{\Delta v}{\Delta x} \right) S,$$

Где -  $\eta$  коэффициент внутреннего трения, динамическая вязкость

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \cdot \bar{v} \cdot \bar{\lambda}$$

$\frac{\Delta v}{\Delta x}$  - градиент скорости течения слоев жидкости) в направлении  $x$ , перпендикулярном к площадке  $S$ ;

$S$  – площадь слоев жидкости (или газа) между которыми действует сила внутреннего трения.

### ***Теплопроводность газа. Закон Фурье***

Количество теплоты  $\Delta Q$ , перенесенное через площадку  $S$  за время  $\Delta t$  в результате теплопроводности, равно

$$\Delta Q = -\lambda \left( \frac{\Delta T}{\Delta x} \right) S \Delta t,$$

где  $\frac{\Delta T}{\Delta x}$  - градиент температуры,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности

газа  $= \frac{1}{3} c_v \rho \bar{v} \cdot \bar{\lambda}$

Знак минус показывает, что направление переноса теплоты происходит в направлении противоположном направлению вектора градиента температуры газа.

### ***Реальный газ. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние вещества***

Уравнение Ван-дер-Ваальса для одного моля реального газа

$$\left( p + \frac{a}{V_m^2} \right) (V_m - b) = RT,$$

Для произвольного количества вещества  $\nu$  уравнение имеет вид:

$$\left( p + \frac{\nu^2 a}{V^2} \right) (V - \nu b) = \nu RT,$$

где  $a$  и  $b$  – постоянные Ван-дер-Ваальса ( в расчете на один моль газа);  $V$ - объем, который занимает газ;  $V_m$  - молярный объем;  $p$  – давление газа на стенки сосуда.



Связь критических параметров - давления, объема и температуры газа с постоянными Ван-дер-Ваальса:

$$p_{кр} = \frac{a}{27b^2}, \quad V_{m,кр} = 3b, \quad T_{кр} = \frac{3a}{27Rb}.$$

Внутренняя энергия реального газа

$$U = \nu \left( C_v T - \frac{a}{V_m} \right),$$

$C_v$  - молярная теплоемкость при постоянном объеме.

### Уравнения Максвелла

Электрические и магнитные явления взаимосвязаны. Эта связь проявляется в том, что эти поля могут превращаться друг в друга. Так при всяком изменении электрического поля обязательно возникает магнитное поле, и при всяком изменении магнитного поля возникает электрическое поле. Система уравнений Максвелла в математической форме позволяет описать связи между электрическими зарядами и токами, и создаваемыми ими электрическими и магнитными полями и процессами, которые при этом происходят.

Для решения задач удобнее записывать систему уравнений Максвелла в интегральном виде.

#### Первое уравнение Максвелла

Первое уравнение Максвелла отражает тот факт, что переменное магнитное поле создает вихревое электрическое поле, оно является обобщением закона электромагнитной индукции Фарадея.

Первое уравнение Максвелла в интегральной форме имеет вид

$$\oint_L \vec{E}_{\text{вихр}} d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \text{или} \quad \oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\oint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

Циркуляция вектора напряженности вихревого электрического поля по произвольному замкнутому контуру  $L$  равна по модулю и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока, сцепленного с контуром  $L$ .

#### Второе уравнение Максвелла

Второе уравнение Максвелла является обобщением теоремы о циркуляции вектора  $\vec{B}$  (закон полного тока).

Второе уравнение Максвелла в интегральной форме имеет вид

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu\mu_0 \left( \sum_i I_{np_i} + I_{см} \right) = \mu\mu_0 \oint_S \left( j_{np} + \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) dS.$$

Второе слагаемое в правой части этого уравнения Максвелл назвал *током*

*смещения*  $I_{см} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ , поскольку оно отражает тот факт, что

изменяющееся электрическое поле создает магнитное поле, величина которого пропорциональна скорости изменения со временем  $\vec{E}$  напряженности электрического поля.

### Третье и четвертое уравнения Максвелла

Следующие два уравнения в теории Максвелла представляют собой теорему Гаусса для случая электрических и магнитных полей.

Третье уравнение Максвелла  $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{св} + q_{связ}}{\varepsilon\varepsilon_0}$ , отражает тот факт, что

источником электростатического поля являются свободные и связанные заряды.

Четвертое уравнение Максвелла имеет вид  $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{св} + q_{связ}}{\varepsilon\varepsilon_0}$ .

Физический смысл этого уравнения состоит в том, что в природе не существуют, отсутствуют магнитные заряды, следовательно линии индукции магнитного поля являются замкнутыми линиями.

### Пятое и шестое уравнения Максвелла

Пятое и шестое уравнения Максвелла показывают, как связаны между собой две пары векторных величин, характеризующих электрические и магнитные поля.

Пятое уравнение:  $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \vec{E}$  - отражает связь между вектором электрического смещения  $\vec{D}$  и вектором напряженности электрического поля  $\vec{E}$ .

Шестое уравнение:  $\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}$  - отражает связь между вектором индукции магнитного поля  $\vec{B}$  и вектором напряженности магнитного поля  $\vec{H}$ .

### Седьмое уравнение Максвелла

Это уравнение имеет вид  $\vec{j} = \sigma \vec{E}$  и является законом Ома в дифференциальной форме, где  $\vec{j}$  - плотность тока проводимости,  $\sigma$  -

удельная проводимость вещества,  $\vec{E}$  - вектор напряженности электрического поля.

### *Электрическое поле в веществе*

Все вещества в зависимости от способности проводить электрический ток делятся на *проводники, диэлектрики и полупроводники*.

#### **Проводники**

*Проводники* – это вещества, которые хорошо проводят электрический ток. Концентрация свободных носителей заряда в таких веществах может достигать значений  $10^{29} \text{ м}^{-3}$ . Проводниками являются металлы, электролиты, расплавы солей и т.д.

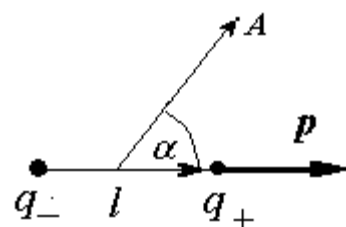
#### **Диэлектрики**

**Диэлектрики** – это вещества, в которых нет свободных зарядов или их число настолько мало, что при обычных условиях их проводимость на много порядков (примерно в  $10^{15}$  -  $10^{20}$  раз) хуже, чем у проводников. Диэлектриками являются газы при обычных условиях, чистые жидкости, мрамор, слюда и т.д.

Под действием электрического поля неполярная молекула приобретает индуцированный дипольный момент  $\vec{p}_{\text{инд}}$  равный  $\vec{p}_{\text{инд}} = \alpha \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}$ , где  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности, называемый поляризуемостью молекулы. Поляризуемость молекулы – скалярная физическая величина, являющаяся мерой того, насколько легко индуцируется у молекулы дипольный момент под действием внешнего поля.

На молекулу, имеющую дипольный момент, со стороны электрического поля действует вращающий момент  $M$ . Модуль вращающего момента относительно оси, проходящей через один из зарядов, равен  $M = Fl \sin \alpha$ , где  $l \sin \alpha$  - плечо силы  $F_+$  (или  $F_-$ ),  $\alpha$  - угол между векторами  $\vec{p}$  и  $\vec{E}$ .

Энергия диполя, находящегося в электрическом поле, может быть рассчитана по формуле



$$W = -\vec{p} \cdot \vec{E} = p \cdot E \cdot \cos \alpha.$$

**Поляризация диэлектриков.** Количественной характеристикой степени поляризации является вектор поляризации—  $\vec{P}$  — величина, равная электрическому моменту единицы объема поляризованного диэлектрика.

$$\vec{p} = \frac{\sum \vec{p}_i}{V}$$

Вектор поляризации  $\vec{p}'$  характеризует

способность диэлектрика создавать свое собственное поле  $\vec{E}'$ .  $\vec{p} = -\varepsilon_0 \vec{E}'$  или  $\vec{p} = \chi \varepsilon_0 \vec{E}$ , где  $\varepsilon$ — электрическая постоянная,  $\chi$ — диэлектрическая восприимчивость вещества (поляризуемость). То величина, показывающая, как сильно поляризуется во внешнем электрическом поле. Между вектором поляризации и поверхностной плотностью связанных зарядов существует связь. Она имеет следующий вид

$$\sigma' = \frac{dq'}{ds} = p \cdot \cos \alpha = p_n,$$

где  $p \cdot \cos \alpha = p_n$  - есть проекция вектора поляризации на направление внешней нормали. Учитывая, что  $\vec{p} = \chi \varepsilon_0 \vec{E}$ , получаем  $\sigma' = \chi \varepsilon_0 E_n$ .

Полная величина связанного заряда, охватываемого поверхностью интегрирования равна  $q' = -\oint_S \vec{p} \cdot d\vec{S}$ .

### Теорема Гаусса:

При наличии диэлектрической среды поток вектора напряженности через любую замкнутую поверхность пропорционален алгебраической сумме всех свободных и всех связанных зарядов, охватываемых этой поверхностью.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} (q + q'),$$

Скалярная физическая величина - относительная диэлектрическая проницаемость среды  $\varepsilon$  - показывает, во сколько раз величина напряженности  $\vec{E}_0$  поля в вакууме больше величины напряженности  $\vec{E}$  поля внутри диэлектрика.  $\varepsilon = \frac{E_0}{E}$

### *Магнитное поле в веществе*

Все вещества, помещенные во внешнее магнитное поле  $\vec{B}_0$ , намагничиваются, т.е. создают собственное магнитное поле  $\vec{B}'$ .

Магнитное поле в веществе является суммой внешнего магнитного поля  $\vec{B}_0$  и поля, созданного этим веществом

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

Все вещества в магнитном отношении делятся на 1) *диамагнетики*, 2) *парамагнетики*, 3) *ферромагнетики*.

**Вектор намагничивания**  $\vec{j}$  характеризует способность вещества создавать свое собственное магнитное поле  $\vec{B}'$ . Он равен

$$\vec{j} = \frac{\sum \vec{p}_{m_i}}{V},$$

где -  $\vec{p}_{m_i}$  - магнитный момент  $i$  – го атома.

Индукция магнитного поля, созданного материалом  $\vec{B}'$  прямо пропорциональна вектору намагничивания вещества  $\vec{B}' = \mu_0 \vec{j}$ . Учитывая, что вектор намагничивания  $\vec{j}$  прямо пропорционален индукции внешнего поля  $\vec{B}_0$ , можно получить соотношение  $\vec{j} = \frac{\chi \vec{B}_0}{\mu_0}$ , где  $\chi$  - **магнитная**

**восприимчивость** вещества. Учитывая все, выше отмеченное, можно записать соотношение между магнитной индукцией в веществе и индукцией магнитного поля в вакууме:

$$\vec{B} = \mu \vec{B}_0,$$

Где относительная магнитная проницаемость вещества  $\mu$  равна

$$\mu = 1 + \chi = \frac{B}{B_0}.$$

Относительная магнитная проницаемость  $\mu$  показывает, во сколько раз индукция магнитного поля в веществе отличается от индукции магнитного поля в вакууме.

### **Диамагнетики**

Это вещества, которые имеют отрицательную магнитную восприимчивость и, как следствие, магнитную проницаемость меньше единицы

$$\chi < 0 \quad \text{и} \quad \mu < 1.$$

При отсутствии внешнего поля магнитные моменты атомов равны нулю. При нахождении диамагнетика во внешнем магнитном поле магнитное поле в нем незначительно ослабляется.

### Парамагнетики

Вещества, у которых в отсутствие внешнего магнитного поля, магнитный момент атома не равен нулю, являются парамагнетиками. Величина магнитной восприимчивости  $\chi$  таких веществ не зависит от величины магнитной индукции внешнего магнитного поля  $\vec{B}_0$  и имеет достаточно малые положительные значения в диапазоне  $0 < \chi \ll 1$ . Численные значения составляют  $\chi \sim 10^{-6} \div 10^{-3}$ . Магнитная проницаемость парамагнетиков положительна и незначительно превышает единицу:  $\mu \geq 1$ . При нахождении парамагнетика во внешнем магнитном поле магнитное поле в нем незначительно усиливается.

### Ферромагнетики

Вещества, у которых в отсутствие внешнего магнитного поля магнитный момент атома не равен нулю и при помещении во внешнее магнитное поле они способны сильно намагничиваться, являются *ферромагнетиками*. Магнитная восприимчивость  $\chi$  таких материалов существенно зависит от индукции  $\vec{B}_0$  внешнего магнитного поля, а ее величина принимает положительные достаточно большие значения. Магнитная проницаемость ферромагнетиков величина положительная много, много большая единицы:

$$\chi \gg 1, \quad \mu \gg 1.$$

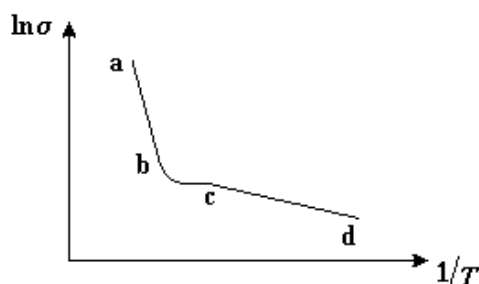
### Полупроводники

**Полупроводники** – это вещества по своим проводящим свойствам занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

Полупроводниками являются многие химически чистые элементы (кремний, германий, селен и др.) и многие химические соединения.

Удельная проводимость  
собственных полупроводников

$$\sigma = en(b_n + b_p),$$



где  $e$  – элементарный заряд;  $n$  – концентрация носителей тока (электронов и дырок);  $b_n$  и  $b_p$  – подвижность электронов и дырок.

Собственная проводимость (электропроводность)  $\sigma$  полупроводников зависит от температуры  $T$  по закону

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\Delta W/2kT},$$

где  $\sigma_0$  - константа, слабо меняющаяся с температурой;  $\Delta W$  - ширина запрещенной зоны (ее иногда называют энергией активации свободных носителей заряда - минимальная энергия, необходимая для образования пары электрон-дырка);  $k$  - постоянная Больцмана.

Электропроводность полупроводника обратно пропорциональна удельному сопротивлению  $\rho$  полупроводника

$$\sigma = \frac{1}{\rho}.$$

Температурный коэффициент сопротивления полупроводников:

$$\alpha = \frac{d\rho}{\rho dT}; \quad \alpha = \frac{-\Delta W}{2kT^2},$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление полупроводника.

Напряжение на гранях прямоугольного образца при эффекте Холла (холловская разность потенциалов):

$$U_H = R_H \cdot B \cdot j \cdot a,$$

где  $R_H$  – постоянная Холла;  $B$  – индукция магнитного поля;  $j$  – плотность тока;  $a$  – ширина пластины (образца).

Постоянная Холла для полупроводников типа алмаз, германий, кремний и др., обладающими носителями тока одного вида ( $n$  или  $p$ ):

$$R_H = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{en},$$

где  $n$  – концентрация носителей тока.

## Таблица вариантов к контрольной работе по курсу

### «Дополнительные главы физики»

Вариант	Номера задач						
1	101	111	121	131	141	151	161

2	102	112	122	132	142	152	162
3	103	113	123	133	143	153	163
4	104	114	124	134	144	154	164
5	105	115	125	135	145	155	165
6	106	116	126	136	146	156	166
7	107	117	127	137	147	157	167
8	108	118	128	138	148	158	168
9	109	119	129	139	149	159	169
0	110	120	130	140	150	160	170

### Контрольная работа «Дополнительные главы физики»

101. При расширении  $m = 10$  г кислорода объем его увеличился в 10 раз. Найти, во сколько раз и в каком случае газ совершит большую работу  $A$ , если он будет расширяться: 1) адиабатически; 2) изотермически. Построить графики процессов в координатах  $P$ -  $V$ . Показать работы на графике.

102. Некоторая масса азота при давлении  $P_1 = 10^5$  Па имела объем  $V_1 = 7$  л, а при давлении  $P_2 = 4 \cdot 10^5$  Па объем  $V_2 = 4$  л. Переход от первого состояния ко второму произведен в два этапа: сначала по адиабате, а затем по изохоре. Определить изменение внутренней энергии  $\Delta U$ , количество теплоты  $Q$  и произведенную работу  $A$ . Построить график процесса в координатах  $P$ - $V$  и показать работу на графике.

103. Водород массой  $m = 50$  г, имевший температуру  $T_1 = 300$  К, адиабатно расширился, увеличив объем в  $n_1 = 3$  раза. Затем при изотермическом сжатии объем газа уменьшился в  $n_2 = 2$  раза. Определить полную работу  $A$ , совершенную газом, и конечную температуру  $T_2$  газа. Построить график процесса в координатах  $P$ - $V$  и показать работу на графике.

104. Азот массой  $m = 14$  г адиабатически расширяется, причем давление падает от  $P_1 = 2 \cdot 10^5$  Па до  $P_2 = 1 \cdot 10^5$  Па. Затем газ нагревается при постоянном объеме до первоначальной температуры  $T_1 = 420$  К. Постройте график процесса в координатах  $P$  –  $V$ . Определите приращение внутренней энергии  $\Delta U_{1-2-3}$  и работу газа  $A_{1-2-3}$  за весь процесс.

105. Один моль идеального, одноатомного газ сжимается сначала адиабатно, а затем изобарно. Конечная температура равна начальной. Внешние силы за весь процесс 1- 2 - 3 совершили работу, равную 5 кДж. Постройте график



процесса в координатах  $P - V$ . Определите, чему равна разность максимальной и минимальной температур газа  $\Delta T$  в этом процессе?

106. Один килограмм воздуха, находящийся при давлении  $P = 10^6$  Па и температуре  $T = 500$  К, изотермически расширяется так, что давление уменьшается в четыре раза. После этого газ адиабатически сжимается до первоначального давления, а затем изобарически возвращается в первоначальное состояние. Нарисовать график процесса в координатах  $P - V$ . Определите работу, совершенную газом за цикл.

107. Азот массой  $m = 5,6$  г при давлении  $P_1 = 10^5$  Па имел объем  $V_1 = 5$  л, а в конечном состоянии при давлении  $P_3 = 3 \cdot 10^5$  Па объем  $V_3 = 2$  л. Переход от первого состояния ко второму произведен в два этапа: сначала по изохоре, а затем по адиабате. Постройте график процесса в координатах  $P - V$  и определите приращение внутренней энергии  $\Delta U_{1-2-3}$  газа за весь процесс.

108. При изотермическом расширении  $m = 2$  кг водорода, взятых при давлении  $P_1 = 10^5$  Па и объеме  $V_1 = 8,31$  м<sup>3</sup>, была совершена работа  $A = 5,47 \cdot 10^6$  Дж. После изотермического расширения газ был адиабатически сжат, причем была совершена такая же по величине работа, что и при расширении. Постройте график этого процесса в координатах  $P - V$ , предварительно вычислив параметры второго состояния  $P_2, V_2$  (в конце изотермического расширения) и параметры конечного состояния  $P_3, V_3$ . Вычислите количество теплоты, полученное газом за весь процесс.

109. Двухатомный газ в количестве  $\nu = 10^2$  моль занимает объем  $V_1 = 0,5$  л, при давлении  $P_1 = 50$  кПа. Газ сжимается адиабатически до некоторого объема  $V_2$  и давления  $P_2$ . Затем он охлаждается при постоянном объеме до первоначальной температуры, причем его давление становится равным  $P_3 = 100$  кПа. Постройте график этого процесса в координатах  $P - V$ , предварительно вычислив параметры второго состояния  $P_2, V_2$  (в конце адиабатического сжатия) и параметр  $P_3$  конечного состояния. Вычислите работу, совершенную газом за весь процесс.

110. Один килограмм воздуха, находящийся при давлении  $P = 10^6$  Па и температуре  $T = 500$  К, изотермически расширяется так, что давление уменьшается в четыре раза. После этого газ адиабатически сжимается до

первоначального давления, а затем изобарически возвращается в первоначальное состояние. Определите работу, совершенную за цикл.

111. Определите коэффициент внутреннего трения гелия при нормальных условиях, если коэффициент диффузии для него при тех же условиях равен  $D=8,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

112. Известны коэффициенты диффузии  $D=1,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  и вязкости  $\eta=17,8 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$  некоторого газа при нормальных условиях. Чему равна молярная масса  $M$  этого газа? Какой это газ?

113. В результате некоторого процесса вязкость идеального газа увеличилась в  $\alpha = 2,0$  раза, а коэффициент диффузии – в  $\beta = 4,0$  раза. Как и во сколько раз изменилось давление газа?

114. Как изменяется средняя длина свободного пробега молекул азота, находящегося при давлении  $p = 10^5 \text{ МПа}$  и температуре  $T = 290 \text{ К}$ , если объем газа увеличится в 2 раза при постоянном давлении. Найти также изменение коэффициента диффузии и вязкости.

115. Найти эффективный диаметр молекулы азота, если при давлении  $p = 10^5 \text{ МПа}$  и температуре  $T = 273 \text{ К}$  значение средней длины свободного пробега молекул равно  $\langle \lambda \rangle = 95 \text{ нм}$ .

116. Теплопроводность гелия в 8,7 раза больше, чем у аргона (при нормальных условиях). Найти отношение эффективных диаметров атомов аргона и гелия.

117. Рассчитать среднюю длину свободного пробега молекул азота, коэффициент диффузии и вязкость при давлении  $p = 10^5 \text{ Па}$  и температуре  $t = 17^\circ\text{С}$ . Эффективный диаметр молекул азота  $\sigma = 0,37 \text{ нм}$ .

118. Найти среднюю длину свободного пробега молекул углекислого газа при давлении  $p = 10^5$  Па и температуре  $t = 0$  °С. Эффективный диаметр молекулы  $\sigma = 0,4$  нм.
119. Найти массу азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку  $S = 0,01$  м<sup>2</sup> за время  $\tau = 10$  с, если градиент плотности в направлении, перпендикулярном к площадке,  $\Delta\rho/\Delta x = 1,26$  кг/м<sup>4</sup>. Температура азота  $t = 27^0$ С. Средняя длина свободного пробега молекул азота  $\langle\lambda\rangle = 10$  мкм.
120. Найти вязкость  $\eta$  азота при нормальных условиях, если коэффициент диффузии для него  $D = 1,42 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с.
121. Какую температуру имеет кислород массой  $m = 3,5$  г, занимающий объем  $V = 90$  см<sup>3</sup> при давлении  $P = 2,8$  МПа? Газ рассматривать как: а) идеальный, б) реальный.
122. Найти работу, совершаемую одним молем газа Ван-дер-Ваальса при его изотермическом расширении от объема  $V_1$  до объема  $V_2$  при температуре  $T$ .
123. Количество  $\nu = 500$  моль трехатомного газа адиабатически расширяется в вакуум от объема  $V_1 = 0,5$  м<sup>3</sup> до объема  $V_2 = 3$  м<sup>3</sup>. Температура газа при этом понижается на  $\Delta T = 12,2$  К. Найти постоянную  $a$ , входящую в уравнение Ван-дер-Ваальса
124. Объем  $m = 1$  г азота увеличивается от  $V_1 = 1$  л до  $V_2 = 5$  л. Рассматривая газ как реальный, найти работу внутренних сил при этом расширении газа. (0,139 Дж)
125. В сосуде емкостью  $V = 0,3$  л находится один моль углекислого газа при температуре  $t = 27^0$  С. Определите давление газа: 1) считая газ идеальным, 2) считая газ реальным.
126. Давление газа  $P$  в 20 раз больше критического давления  $P_{кр}$ , объем газа  $V$  равен половине критического объема  $V_{кр}$ . Используя уравнение Ван-дер-

Ваальса в приведенных величинах, найдите отношение температуры газа к критической температуре.

127. Некоторый газ в количестве  $\nu = 1$  кмоль занимает объем  $V_1 = 1 \text{ м}^3$ . При расширении газа до объема  $V_2 = 1,5 \text{ м}^3$  была совершена работа против сил межмолекулярного притяжения, равная  $A = 45,3 \text{ кДж}$ . Определите поправку  $a$ , входящую в уравнение Ван-дер-Ваальса.

128. Какие температуры  $T_1$  и  $T_2$  имеет азот массой  $m = 2 \text{ г}$ , занимающей объем

$V = 820 \text{ см}^3$  при давлении  $P = 0,2 \text{ МПа}$ ? При  $T_1$  – газ рассматривать как идеальный, при  $T_2$  – как реальный.

129. В закрытом сосуде объемом  $V = 0,5 \text{ м}^3$  находится  $\nu = 0,6$  кмоль углекислого газа при давлении  $P = 3 \text{ МПа}$ . Пользуясь уравнением Ван-дер-Ваальса, найти, во сколько раз надо увеличить температуру газа, чтобы его давление возросло в два раза?

130. В сосуде объемом  $V = 10 \text{ л}$  находится  $m = 0,25 \text{ кг}$  азота при температуре  $t = 27^\circ \text{ С}$ . Какую часть давления газа составляет давление, обусловленное взаимодействием молекул?

131. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком  $\epsilon = 6$ . Конденсатор заряжен. Определите поляризованность диэлектрика  $P$ , если известно, что поверхностная плотность свободных зарядов на обкладках конденсатора равна  $\sigma = 48 \text{ мкКл/м}^2$ .

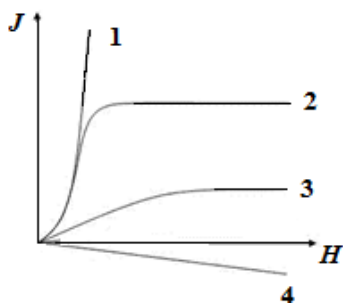
132. Диполь с электрическим моментом  $p = 10^{-10} \text{ Кл}\cdot\text{м}$  свободно установился в однородном электрическом поле напряженностью  $E = 150 \text{ кВ/м}$ . Вычислить работу  $A$ , необходимую для того, чтобы повернуть диполь на угол  $\alpha = 180^\circ$ .

133. Расстояние между пластинами плоского конденсатора  $d = 2 \text{ мм}$ , разность потенциалов  $U = 1,8 \text{ кВ}$ . Диэлектрик – стекло. Определить диэлектрическую восприимчивость  $\chi$  стекла и поверхностную плотность  $\sigma'$  связанных зарядов на поверхности стекла.

134. Определите, при какой напряженности  $E$  электрического поля в диэлектрике с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 5$  поляризованность равна  $P = 400$  мкКл/м.
135. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком  $\epsilon = 6$ . Конденсатор заряжен. Определите поляризованность диэлектрика  $P$ , если известно, что поверхностная плотность свободных зарядов на обкладках конденсатора равна  $\sigma = 48$  мкКл/м<sup>2</sup>.
136. Под каким углом  $\alpha$  к вектору напряженности  $E$  электростатического поля ориентирован электрический момент  $\vec{p}$  жесткого диполя, если в этом положении на диполь действует вращательный момент  $M = 2,00 \cdot 10^{-25}$  Н·м, а его энергия взаимодействия с полем равна  $W = 1,00 \cdot 10^{-24}$  Дж?
137. Заряженный проводник окружен однородным диэлектриком. В некоторой точке их границы раздела поверхностные плотности  $\sigma$  стороннего и связанного  $\sigma'$  зарядов равны соответственно  $\sigma = 1,00$  мкКл/м<sup>2</sup> и  $\sigma' = -0,80$  мкКл/м<sup>2</sup>. Чему равна диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  диэлектрика?  
Указание. При решении следует иметь в виду, что электрическое поле внутри заряженного проводника отсутствует.
138. Диэлектрик поместили в электрическое поле напряженностью  $E = 50$  кВ/м. Чему равна поляризованность  $p$  диэлектрика, если напряженность  $E$  электрического поля в диэлектрике оказалась равной 10 кВ/м?
139. Пространство между обкладками заряженного плоского конденсатора заполнили диэлектриком. После этого электроемкость конденсатора увеличилась в  $n = 7$  раз. Найдите поверхностную плотность связанных зарядов  $\sigma'$  на диэлектрике, если известно, что напряжение на конденсаторе  $U = 200$  В, а расстояние между его обкладками  $d = 3$  мм.
140. Между обкладками плоского конденсатора находится пластина из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Конденсатор

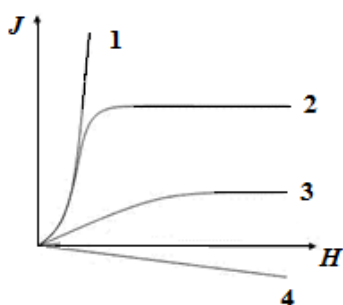
заряжен до разности потенциалов  $U_0 = 1000 \text{ В}$  и отключен от источника напряжения. Чему равна диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  данного диэлектрика, если после его удаления разность потенциалов между обкладками конденсатора возросла до  $U = 3000 \text{ В}$ ?

141. На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости величины намагниченности  $J$  вещества (по модулю) от напряженности магнитного поля  $H$ .



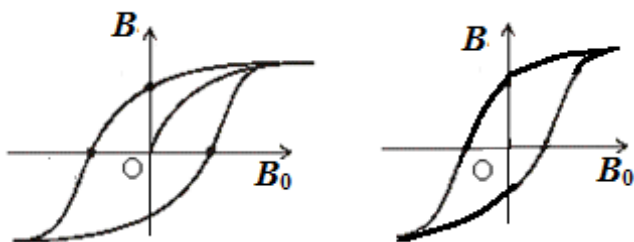
Проанализируйте ход каждой из приведенных зависимостей и укажите зависимость, соответствующую **диамагнетикам** и обоснуйте свой выбор.

142. На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости величины намагниченности  $J$  вещества (по модулю) от напряженности магнитного поля  $H$ .



Проанализируйте ход каждой из приведенных зависимостей и укажите зависимость, соответствующую **парамагнетикам** и обоснуйте свой выбор.

143. На рисунках представлены две петли гистерезиса для двух материалов.

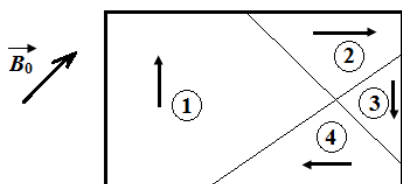


Каким образом, анализируя графики, можно сравнить жесткость этих двух материалов? Какой из них является более жестким и почему?

144. Пять веществ имеют различные относительные магнитные проницаемости  $\mu$ . Что такое диамагнетик? Диамагнетиком среди этих веществ является вещество с магнитной проницаемостью ... Обоснуйте свой ответ.

- 1)  $\mu = 100$    2)  $\mu = 1,00023$    3)  $\mu = 1$    4)  $\mu = 2000$    5)  $\mu = 0,9998$

145. На рисунке изображены четыре ферромагнитных домена различного объема, намагниченные в направлениях, указанных



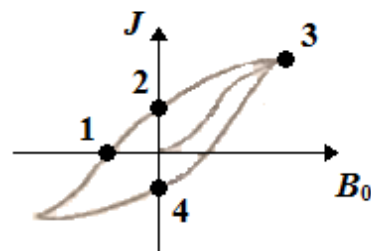
стрелками, во внешнем магнитном поле  $\vec{B}_0$ . Какой из доменов обладает минимальной энергией?

Обоснуйте свой ответ.

146. Какой материал является диамагнетиком? Какое из приведенных ниже соотношений для магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) и относительной магнитной проницаемости ( $\mu$ ) соответствует диамагнетику?

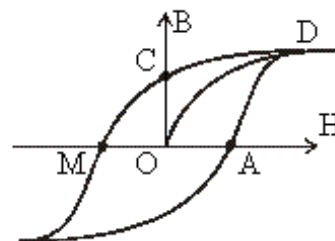
- 1)  $\mu < 1, \chi < 0$     2)  $\mu > 1, \chi < 0$     3)  $\mu > 1, \chi > 0$     4)  $\mu = 1, \chi = 0$

147. На рисунке приведена зависимость намагниченности ферромагнетика ( $J$ ) от индукции внешнего магнитного поля ( $B_0$ ). Что понимают под термином «коэрцитивная сила»? Какой точке на кривой соответствует величина коэрцитивной силы?



148. Как изменяется намагниченность парамагнетика при фиксированном значении индукции внешнего магнитного поля, если температура возрастает в 3 раза? Магнитная восприимчивость парамагнетика удовлетворяет закону Кюри. Сформулируйте закон Кюри.

149. На рисунке приведена петля гистерезиса ( $B$  – индукция,  $H$  – напряженность магнитного поля). Что происходит с ферромагнетиком при уменьшении внешнего магнитного поля? Остаточной индукции на графике соответствует отрезок ...

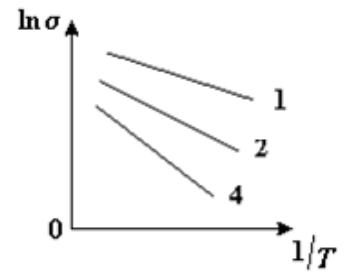


150. Какое из приведенных ниже соотношений соответствует парамагнетику?

- 1)  $B > B_0, \vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}_0$     2)  $B < B_0, \vec{B} \uparrow \downarrow \vec{B}_0$   
 3)  $B < B_0, \vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}_0$     4)  $B \gg B_0, \vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}_0$

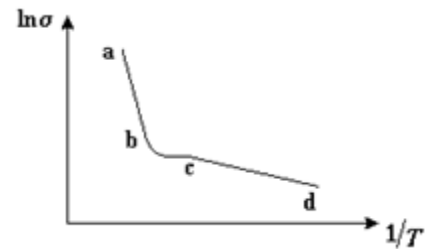
Здесь  $\vec{B}_0$  – индукция внешнего магнитного поля;  $\vec{B}$  – индукция магнитного поля вещества. Ответ пояснить.

151. На рисунке изображены зависимости логарифмов удельной электропроводности собственных полупроводников от обратной температуры. Какой из графиков соответствует полупроводнику с наибольшей шириной запрещенной зоны? Обоснуйте свой ответ.

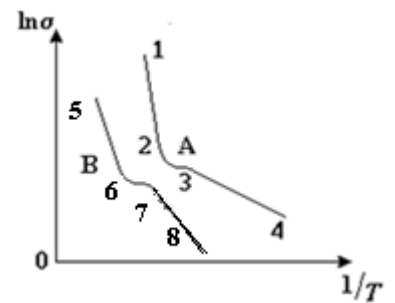


152. На рисунке изображена зависимость логарифма электропроводности полупроводника  $p$ -типа от обратной температуры.

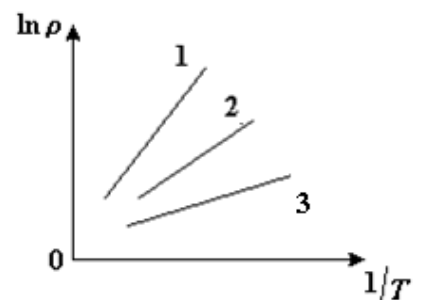
На каком участке графика основными носителями заряда являются дырки, а не электроны? Обоснуйте свой ответ.



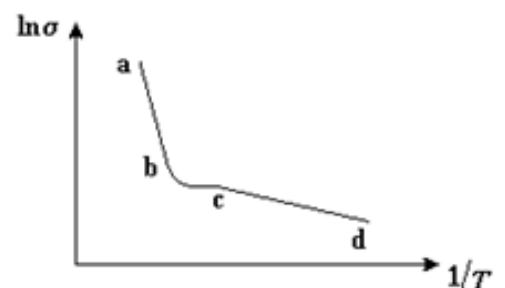
153. На графике изображена зависимость логарифма электропроводности двух полупроводников А и В, отличающихся концентрацией активной примеси, от обратной температуры. Какие участки графиков соответствуют примесной проводимости для этих полупроводников. В каком случае (полупроводник А или В) энергия активации примесных носителей заряда больше? Ответ пояснить.



154. На рисунке изображены зависимости логарифмов удельного электросопротивления собственных полупроводников от обратной температуры. Используя график, сравните ширину запрещенной зоны этих материалов. Какой из графиков соответствует полупроводнику с наименьшей шириной запрещенной зоны? Обоснуйте свой ответ.



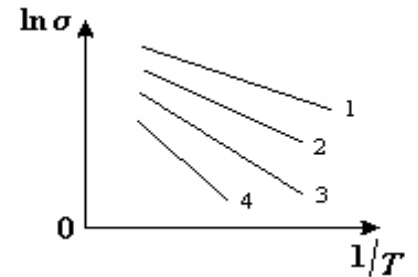
155. На рисунке изображена зависимость логарифма электропроводности примесного полупроводника от обратной температуры. Используя график, качественно сравните



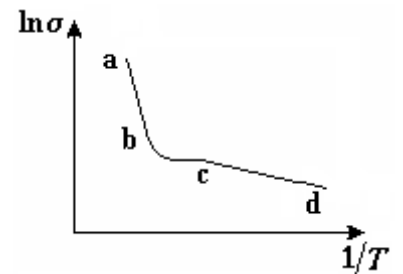


величины энергий активации примесных и собственных носителей заряда. Какой участок графика соответствует примесной проводимости. Обоснуйте свой ответ.

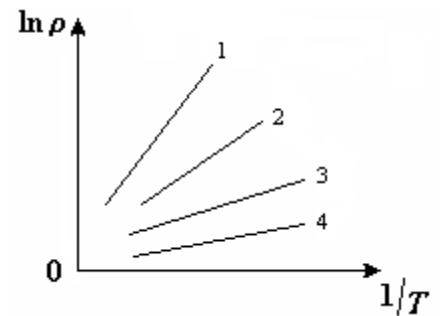
156. На рисунке изображены зависимости логарифмов удельной электропроводности собственных полупроводников от обратной температуры. Какой график соответствует полупроводнику с наибольшей шириной запрещенной зоны? Обоснуйте свой ответ.



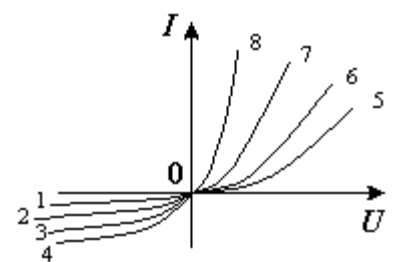
157. На рисунке изображена зависимость логарифма электропроводности примесного полупроводника от обратной температуры. Используя график, качественно сравните величины энергий активации примесных и собственных носителей заряда. Какой участок графика соответствует собственной проводимости. Обоснуйте свой ответ.



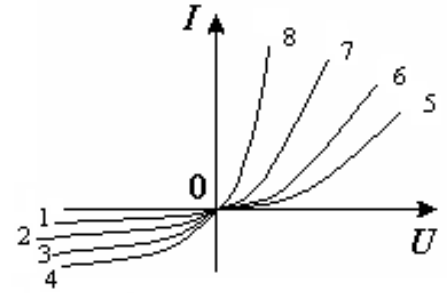
158. На рисунке изображены зависимости логарифмов удельного электросопротивления собственных полупроводников от обратной температуры. Максимальная концентрация свободных носителей заряда соответствует полупроводнику, приведенному под номером ... Обоснуйте свой ответ.



159. На рисунке приведены ветви зависимостей прямых (5,6,7,8) и обратных токов (1,2,3,4) вольтамперных характеристик полупроводникового диода, снятых при разных температурах. Какими номерами обозначены ветви прямого и обратного токов, соответствующие вольтамперной характеристике полупроводникового диода при самой высокой температуре. Обоснуйте свой ответ.



160. На рисунке приведены ветви зависимостей прямых (5,6,7,8) и обратных токов (1,2,3,4) вольтамперных характеристик полупроводникового диода, снятых при разных температурах. Какими номерами обозначены ветви прямого и обратного токов, соответствующие вольтамперной характеристике полупроводникового диода при самой низкой температуре. Обоснуйте свой ответ.



161. Определить (в эВ) минимальную энергию  $E_g$ , необходимую для образования пары электрон-дырка в некотором собственном полупроводнике, если при повышении температуры от  $T_1 = 400$  К до  $T_2 = 430$  К его удельная электрическая проводимость  $\sigma$  возрастает в  $e$  раз ( $e$  - основание натуральных логарифмов).

162. Красная граница внутреннего фотоэффекта для чистого германия соответствует длине волны  $\lambda_0 = 1,9$  мкм. Определите энергию активации свободных носителей заряда в германии.

163. При нагревании полупроводника от температуры  $T_1 = 290$  К до  $T_2$  его удельное сопротивление уменьшилось в 9 раз. Ширина запрещенной зоны данного полупроводника равна  $0,85$  эВ. Определить конечную температуру  $T_2$  и температурный коэффициент сопротивления данного полупроводника при температуре  $T_2$ .

164. Собственный полупроводник имеет при некоторой температуре удельное сопротивление  $\rho = 0,5$  Ом·м. Определить концентрацию  $n$  носителей тока, если подвижность электронов  $b_n = 0,38 \frac{m^2}{V \cdot c}$  и дырок  $b_p = 0,18 \frac{m^2}{V \cdot c}$ .

165. Тонкая пластинка из кремния шириной  $b = 2$  см помещена перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля ( $B = 0,5$  Тл). При плотности тока  $j = 2$  мкА/мм<sup>2</sup>, направленного вдоль пластины, холловская разность потенциалов  $U_H$  оказалась равной  $U_H = 2,8$  В. Определить концентрацию  $n$  носителей тока.

166. Во сколько раз изменится собственная проводимость полупроводника при повышении температуры от 300 до 310 K? Ширина запрещенной зоны полупроводника  $\Delta W = 0,30$  эВ.

167. Концентрация  $n$  носителей в кремнии равна  $5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ , подвижность электронов  $b_n = 0,15 \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$  и дырок  $b_p = 0,05 \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$ . Определить сопротивление кремниевого стержня длиной  $\ell = 5$  см и сечением  $S = 2 \text{ мм}^2$ .

168. Германиевый образец нагревают от  $t_1 = 0$  °С до  $t_2 = 17$  °С. Принимая ширину запрещенной зоны  $\Delta W = 0,72$  эВ, определить, во сколько раз возрастает при этом его электропроводность.

169. Сравнить электропроводность чистого германия при  $t_1 = -40$  °С и  $t_2 = 100$  °С. Энергия активации свободных носителей заряда для германия  $\Delta W = 0,72$  эВ.

170. Во сколько раз возрастет сопротивление  $R$  образца из чистого германия, если его температура понизится от  $T_1 = 300$  К до  $T_2 = 250$  К. Энергия активации свободных носителей заряда для германия  $\Delta W = 0,70$  эВ.