



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Учебно-методическое пособие
по выполнению контрольных работ
по дисциплине

**«Специальные главы
физики»**

Авторы
Бажин И. В.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Цель пособия – оказать помощь студентам-заочникам в изучении курса «Специальные главы физики». В пособие включены рабочая программа курса, основные формулы и законы, примеры решения и оформления задач, варианты контрольных заданий по курсу «Специальные главы физики».

Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»
Бажин И.В.



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА.....	5
ФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ И ЯВЛЕНИЯ.....	6
Основные законы и формулы	6
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	13
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ.....	17
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	23
Рекомендуемая литература	24

ВВЕДЕНИЕ

Студенты-заочники изучают курс «Специальные главы физики» в течение 3 семестра, в ходе изучения предмета студент обязан выполнить контрольную работу.

Каждая контрольная работа содержит набор задач, решая которые, студент подтверждает свой уровень усвоения теоретического материала и умение применять полученные знания на практике.

Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяются по таблице вариантов. Номер варианта соответствует последней цифре из номера зачетной книжки.

Контрольные работы нужно выполнять в школьной тетради, на обложке которой приведены сведения по следующему образцу:

ГОУ ВПО "Донской государственный технический университет" Заочная форма обучения	
Студент _____	Адрес _____
Группа _____	Шифр _____ <small>(номер зачетной книжки)</small>
Контрольная работа по курсу Специальные главы физики за II курс	

Контрольная работа, выполненная в напечатанном виде, на проверку не принимается.

Решение каждой задачи должно содержать необходимые рисунки, графики, математические формулы, выкладки и расчеты. В конце контрольной работы необходимо привести список использованной литературы.

Контрольная работа представляется студентом в деканат университета на проверку. Те студенты, у которых работа получила положительную оценку ("зачет"), допускаются к зачету по курсу. Во время зачета студент должен ответить на вопросы и замечания, отмеченные в рецензии на его контрольную работу.

Контрольная работа с оценкой "не зачтено" представ-

ляется на повторное рецензирование после того, как студент исправит отмеченные ошибки. В случае затруднений при выполнении контрольной работы студент должен обратиться за консультацией к преподавателю кафедры, ведущей данный курс в соответствующем потоке.

Таблица выбора номеров задач по последней цифре из номера зачетной книжки

№ Варианта	НОМЕРА ЗАДАЧ					
	0	3	20	25	31	42
1	10	14	26	33	41	54
2	9	11	27	40	50	56
3	8	12	23	32	44	57
4	1	13	28	34	43	58
5	2	15	29	35	45	52
6	5	17	24	36	46	53
7	4	16	21	37	48	51
8	6	19	22	38	47	59
9	7	18	30	39	49	60

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА

«СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ»

для студентов-бакалавров заочной
формы обучения

1. Основы кристаллографии и кристаллохимии. Геометрия кристаллической решетки. Классификация дефектов в монокристаллах. Влияние дефектов на свойства металлов и сплавов.
2. Электронное строение и свойства металлов. Металлическое состояние. Электроны проводимости. Основные предположения модели Друде-Лоренца. Квантовая теория.
3. Контактные явления в системах автоматики и технике измерений: Термопары. Термоэлектрические явления (эффекты Зеебека и Пельтье).
4. Магнитные явления в технике измерений и контроле

качества материалов. Эффект Баркгаузена. Вихревые токи (токи Фуко) в методах контроля качества материалов.

5. Гальваномангнитные явления. Эффект Холла. Эффект Гаусса. Применение в науке и технике.

6. Пьезо- и пирозлектрики. Прямой и обратный пьезоэффект. Описание свойств кристаллов с помощью тензоров и матриц. Пьезоэлектрические и тензоэлектрические методы измерений. Пирозэффект.

7. Классификация и обзор физических методов неразрушающего контроля. Физические основы акустической и УЗ дефектоскопии. Метод вихревых токов. Метод акустической эмиссии.

8. Классификация и обзор оптических методов. Взаимодействие излучения с веществом. Области применения в неразрушающем контроле в науке, технике, медицине.

9. Оптическая спектроскопия. Классификация спектроскопии по энергии излучения. Спектральные приборы.

10. Рентгеновские лучи в науке и технике. Изучение структуры вещества методом рентгеноструктурного анализа. Закон Вульфа-Брэгга. Рентгеновская томография.

11. Электронный парамагнитный и ядерный магнитный резонанс (ЭПР и ЯМР). Мессбауэровская спектроскопия.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ И ЯВЛЕНИЯ

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

1. Основы кристаллической структура

Элементарная ячейка кристалла – минимальный многогранник, полностью сохраняющий все кристаллические свойства.

Параметр ячейки – длина ребра элементарной ячейки.

Координационное число – число ближайших соседей выбранного атома.

Плотность упаковки – отношение суммы объемов атомов или ионов к объему элементарной ячейки.

Атомная

масса

$m_A = \frac{M_A}{N_A}$, $N_A = 6.022 \cdot 10^{-23} \text{ моль}^{-1}$ – число Авогадро, M_A – молярная масса атома (в таблице Менделеева используется размерность $г/моль$).

Концентрация атомов в кристалле $N = \frac{mN_A}{M_A}$, где m – масса кристалла.

2. Механические и тепловые эффекты

1.2. Теория упругости. Закон Гука:

$$\sigma_{ij} = E_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad \text{или} \quad \varepsilon_{ij} = \frac{1}{E_{ijkl}} \sigma_{kl},$$

где $\sigma_{ij} = \frac{F_{ij}}{S}$ – тензор механического напряжения или давление создаваемое силой F_{ij} приложенной в направлении декартовых осей i и j ; E_{ijkl} – модуль Юнга; $\varepsilon_{ij} = \frac{\Delta l_{ij}}{l}$ – тензор механической деформации.

1.3. Коэффициент Пуассона:

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_{non}}{\varepsilon_{np}} \right|,$$

где ε_{non} – поперечная деформация; ε_{np} – продольная деформации.

1.4. Температурное расширение:

$$V = V_0(1 + \alpha \Delta T) \quad \text{или} \quad \frac{\Delta V}{V} = \alpha \Delta T,$$

$$l = l_0(1 + \beta \Delta T) \quad \text{или} \quad \frac{\Delta l}{l} = \beta \Delta T,$$

где V , V_0 и ΔV – объем тела после нагревания, до нагревания и изменение объема; ΔT – изменение температуры; $\alpha = 3\beta$ – коэффициент объемного расширения; l , l_0 и Δl – длина тела после нагревания, до нагревания и изменение длины; β – коэффициент линейного расширения.

3. Электрические явления в металлах и полупроводниках

3.1. Закон Ома для участка цепи в интегральной и дифференциальной форме, классическая теория проводимости:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{и} \quad j = \sigma \cdot E,$$

где I – сила тока в цепи; U – напряжение; R – сопротивление; $\sigma = \frac{e^2 n \tau}{2m} = en\mu_n$ – удельная проводимость проводника; n , τ , m , μ_n – концентрация зарядов в проводнике, время жизни носителей заряда, масса электрона, подвижность электронов в металле; E – напряженность электрического поля.

3.2. Зависимость сопротивления от температуры:
для металла

$$R = R_0(1 + \alpha_R \Delta T),$$

где R , R_0 , α_R , ΔT – сопротивление при конечной температуре, сопротивление при начальной температуре, температурный коэффициент сопротивления (ТКС) металла, изменение температуры;

для полупроводника

$$R = R_0 e^{\frac{B}{T}},$$

где R , R_0 , B , T – сопротивление при конечной температуре, сопротивление при температуре 20°C , коэффициент температурной чувствительности полупроводника, конечная температура.

2.1.1. Термоэлектрические эффекты:

Эффект Зеебека

$$E = \alpha_{12}(T_2 - T_1),$$

где E – ЭДС в замкнутой цепи состоящей из двух разнородных проводников; α_{12} – относительный коэффициент термо-ЭДС; T_2 и T_1 температуры горячего и холодного спаев двух металлов;

Эффект Пельтье

$$Q = \Pi I \Delta t,$$

где Q – количество теплоты выделяемой на контакте двух разнородных проводников; $\Pi = \alpha T$ – коэффициент Пельтье; Δt – время протекания тока через контакт.

4. Магнитные явления и эффекты

$$B = \mu_0(1 + \chi) = \mu_0 \mu H,$$

где B – магнитная индукция в магнетике; $\mu_0 = 1.256637 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная; χ – магнитная восприимчивость; μ – магнитная проницаемость; H – напряженность внешнего магнитного поля.

4.1. Закон Кюри-Вейса:

$$\chi = \frac{C}{T - T_K},$$

где C – константа; T – внешняя температура; T_K – температура Кюри.

4.2. Гальваномагнитные явления

Эффект Холла

$$U_H = R_H \frac{BI}{h},$$

где U_H – напряжение Холла на противоположных гранях проводника; B – внешняя магнитная индукция; I – ток, протекающий по проводнику; h – толщина проводника; R_H – постоянная Холла.

$$R_H = -\frac{1}{en} \text{ – для металла; } R_H = \frac{1}{e} \cdot \frac{n\mu_p^2 - p\mu_n^2}{(n\mu_n + p\mu_p)^2} \text{ – для полу проводника,}$$

где e – заряд электрона; n – концентрация электронов; p – концентрация электронов и дырок; μ_n и μ_p – подвижности электронов и дырок.

Магниторезистивный эффект (Гаусса)

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \sigma}{\sigma} = CB^2 \mu^2,$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \sigma}{\sigma}$$

где $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \sigma}{\sigma}$ – относительное изменение сопротивления или проводимости проводника в магнитном поле; C – константа; B – индукция внешнего магнитного поля; μ – подвижность носи-

телей заряда в проводнике.

5. Пьезо- и пирозэффект

Уравнения прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта

$$p_i = d_{ij} \sigma_j, \quad i = 1, 3, \quad j = 1, 6,$$

$$\varepsilon_j = d_{ji} E_i, \quad i = 1, 3, \quad j = 1, 6,$$

где p_i – поляризация пьезокристалла вдоль декартовой оси i ; d_{ij} – пьезомодуль (сокращенная запись); σ_j – механическое напряжение; ε_j – деформация пьезокристалла, E – напряженность электрического поля.

Уравнение пирозэффекта:

$$p_i = \gamma_i \Delta T, \quad i = 1, 3,$$

где p_i – поляризация пьезокристалла вдоль полярной оси; γ_i – пиромодуль; ΔT – изменение температуры.

6. Квадратичный электрооптический эффект Керра:

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi l}{\lambda} (n_o - n_e) = 2\pi l B E^2,$$

где $\Delta \varphi$ – угол вращения плоскости поляризации в ячейке Керра; l – длина кюветы; λ – длина волны; n_o , n_e – показатели преломления обыкновенно и необыкновенной волны; B – постоянная Керра; E – напряженность электрического поля.

7. Основные эффекты методов неразрушающего контроля

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda},$$

где ν – частота излучения; T – период колебаний; λ – длина волны; c – скорость звука.

Закон поглощения волнового (колебательного) процесса (Закон Бугера-Ламберта-Бэра)

$$I = I_0 e^{-\alpha l},$$

где I – интенсивность колебательного (волнового) процесса за поглотителем; I_0 – интенсивность источника излучения; α –

коэффициент поглощения; l – толщина поглотителя.

Затухание колебательного (волнового) процесса

$$A = 20 \lg \frac{I}{I_0},$$

где A (дБ) – затухание сигнала; I и I_0 – интенсивность сигнала на выходе и на входе.

8. Основы оптики

Формула тонкой линзы

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

где a – расстояние до объекта; b – расстояние до изображения; f – фокусное расстояние линзы.

Оптическая сила линзы

$$D = \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где D – оптическая сила линзы; f – фокусное расстояние; R_1 и R_2 – радиусы кривизны передней и задней поверхности линзы.

Разрешение микроскопа

$$\Delta x = \frac{0.61\lambda}{A},$$

где Δx – минимальный размер объекта, наблюдаемый в микроскоп; λ – длина волны; A – численная апертура микроскопа (для оптического микроскопа $A = n \sin \varphi$, φ – угловая апертура, n – показатель преломления).

Уравнение дифракционной решетки

$$d \sin \varphi = m\lambda,$$

где d – параметр дифракционной решетки; φ – угол дифракции, m – порядок спектра, λ – длина волны.

Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN,$$

где λ – длина волны; $\Delta\lambda$ – минимальное изменение длины волны, которое можно наблюдать на дифракционной картине; N – полное число щелей дифракционной решетки, m – порядок спектра.

Разрешающая способность призмы

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = a \frac{dn}{d\lambda},$$

где λ - длина волны; $\Delta\lambda$ – минимальное изменение длины волны, которое можно разрешить данной призмой; a – ширина основания призмы, $\frac{dn}{d\lambda}$ – дисперсия стекла, из которого изготовлена призма.

Оптический (релятивистский) эффект Доплера

$$\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}{1 + \frac{u}{c} \cos \theta}, \text{ если } u \ll c, \nu = \nu_0 \left(1 - \frac{u}{c} \cos \theta\right),$$

где ν – частота приемника излучения; ν_0 – частота источника; u – скорость движения источника относительно приемника, c – скорость света; θ – угол между направлением на источник и вектором скорости, связанным с системой отсчета приемника.

9. Рентгеновское излучение

Закон Вульфа-Брегга

$$2d \sin \varphi = n\lambda,$$

где d – межплоскостное расстояние в кристалле; φ – угол дифракции; n – порядок спектра; λ – длина волны рентгеновского излучения.

Структурный фактор

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^N f_j e^{2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j)}$$

где hkl – индексы Миллера, f_j – атомные факторы рассеяния, x_j , y_j и z_j – координаты атомов в элементарной ячейке.

10. Эффект Зеемана, ЭПР и ЯМР

Расщепление спектральных линий в магнитном поле

$$\Delta E = \mu_B g m_l B,$$

где ΔE – энергия расщепления спектральной линии;

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9,274 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$$

– магнетрон Бора; m_l – магнитное квантовое число атомного терма; B – индукция магнитного поля;

$$g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$$

фактор Ланде

Для ядерного магнитного резонанса (ЯМР)

$$\Delta E = \mu_{\text{я}} g_{\text{я}} B,$$

где ΔE – энергия расщепления спектральной линии; $\mu_{\text{я}}$ – магнитный момент ядра; B – индукция магнитного поля; $g_{\text{я}}$ – ядерный g -фактор.

11. Эффект Мёссбауэра

При излучении или поглощении γ кванта ядро испытывает отдачу

$$E_{\text{отд}} = \frac{(h\nu)^2}{2m_{\text{я}}c^2},$$

где $E_{\text{отд}}$ – энергия отдачи; $h\nu$ – энергия γ кванта; $m_{\text{я}}$ – масса ядра; c – скорость света. Изменение частоты γ кванта вследствие отдачи можно компенсировать за счет эффекта Доплера, для реализации резонансного поглощения.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Найти наименьшее межатомное расстояние в кристалле $\gamma\text{-Fe}$, если рентгеновская (максимальная) плотность кристалла при комнатной температуре составляет $7.87 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Дано:

Решение:

$$\rho = 7.71 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$a_{\text{Fe-Fe}} = ?$$

По определению плотность равна $\rho = m/V$. $\gamma\text{-Fe}$ имеет гранецентрированную кубическую ячейку (ГЦК), состоящую из 4 атомов железа. Плотность для одной элементарной ячейки $\gamma\text{-Fe}$ равна $\rho = 4m_0/a^3$,

здесь m_0 – масса одного атома железа, a^3 – объем элементарной ячейки. Молярную массу атома можно узнать из таблицы Менделеева. Выразим параметр элементарной ячейки a , и рассчитаем его:

$$a = \sqrt[3]{\frac{4M_{\text{Fe}}}{N_A \rho}}; \quad a = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 55.87 \cdot 10^{-3}}{6.022 \cdot 7.87 \cdot 10^{26}}} = 3.64 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Минимальное межатомное расстояние в ГЦК ячейке равно $a\sqrt{2}/2$

Окончательно, $a_{Fe-Fe} = 2.57 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

Ответ: $a_{Fe-Fe} = 2.57 \cdot 10^{-10} \text{ м}$

Задача 2. При некоторой температуре ЭДС Холла в антимониде индия обращается в нуль. Определить, какая часть тока переносится электронами, если отношение подвижности электронов к подвижности дырок равно 100.

Дано:

Решение:

$$\mu_n / \mu_p = 100$$

$$j_n / (j_n + j_p) = ?$$

ной

Запишем выражение для расчета постоянной Холла

$$R_H = -\frac{A}{e} \frac{n\mu_n^2 - p\mu_p^2}{(n\mu_n + p\mu_p)^2}$$

Эффект Холла не наблюдается, при равенстве нулю постоянной Холла, т.е. когда $n\mu_n^2 = p\mu_p^2$.

Плотность тока равна $j_n = en\mu_n$ – для электронной составляющей и $j_p = ep\mu_p$ – для дырочной. Полный ток складывается из электронной и дырочной составляющих: $j = j_n + j_p$. Следовательно, доля электронного тока равна

$$j_n / j = n\mu_n / (n\mu_n + p\mu_p)$$

Из равенства нулю постоянной Холла находим, что $p = n(\mu_n^2 / \mu_p^2)$. Следовательно, $j_n / j = n\mu_n / (n(\mu_n^2 / \mu_p^2)\mu_p + n\mu_n) = 1 / (\mu_n / \mu_p + 1)$. Т.к. $\mu_n / \mu_p = 100$, окончательно получаем, $j_n / j = 1 / (101) \approx 1\%$.

Ответ: $j_n / j =$

1%

Задача 3. На пластину кварца вдоль оси X действует механическое напряжение 10^5 Н/м^2 . Определить разность потенциалов между противоположными гранями если модуль продольного пьезоэффекта $d_{11} = 2.3 \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$. Толщина кварцевой пластины 1 мм. Диэлектрическая проницаемость кварца 4.6.

Дано:

Решение:

$$\sigma_1 = 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$$d_{11} = 2.3 \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Кл/Н}$$

$$h = 1 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = 4.6$$

Уравнения прямого пьезоэффекта имеет вид $p = d_{11}\sigma$, где p – поляризация, d_{11} – продольный пьезомодуль, σ – механическое напряжение. Пьезоэлемент можно рассматривать как плоский конденсатор,

$$U = Q/C = pSh / (\varepsilon\varepsilon_0 S) = d_{11}\sigma h / (\varepsilon\varepsilon_0) = 5.5 \text{ В}$$

Ответ: $U = 5.5 \text{ В}$

Задача 4. Апертура электронного микроскопа равна 0.02, ускоряющее напряжение 10^4 В . Определить размеры деталей, которые можно разрешить с помощью этого прибора.

Дано:

Решение:

$$\begin{array}{l} A = 0.02 \\ U = 10^4 \text{ В} \\ \Delta x = ? \end{array}$$

Для любого микроскопа разрешение или минимальный размер объекта, который можно рассмотреть, определяется формулой:

$$\Delta x = \frac{0.61\lambda}{A}, \text{ где } \lambda - \text{длина волны, } A - \text{численная апертура микроскопа.}$$

Для электронного микроскопа в качестве волны выступают волны де Бройля движущихся электронов, которые могут быть рассчитаны исходя из главного постулата квантовой физики, что все величины квантуются. Импульс электрона равен

$$p = k\eta = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{h}{2\pi} = \frac{h}{\lambda}, \text{ где } k - \text{волновое число, } h = 6.67 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

– постоянная Планка.

Электрон приобретает скорость, а соответственно, и импульс за счет ускоряющей разности потенциалов U . Энергия электрона равна $E = \frac{p^2}{2m}$, откуда $p = \sqrt{2mE} = \sqrt{2meU}$, где $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ –

заряд электрона. Окончательно получаем, $\Delta x = \frac{0.61h}{A\sqrt{2meU}}$.

Подставляем численные значения и получаем ответ:

$$\Delta x = \frac{0.61 \cdot 6.63 \cdot 10^{-34}}{0.02 \sqrt{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^4}} = 3.74 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

Ответ: $\Delta x = 3.74 \cdot 10^{-10} \text{ м}$

Задача 5. Какой минимальной длиной должна быть дифракционная решетка, имеющая 600 *лин/мм*, чтобы в первом порядке разрешить дуплет простого эффекта Зеемана для спектральной линии с длиной волны 612 *нм*. Напряженность магнитного поля 1 *Тл*.

Дано:

Решение:

$$n = 600 \text{ лин/мм}$$

$$l = 612 \text{ нм}$$

$$B = 1 \text{ Тл}$$

$$L = ?$$

Разрешающая способность дифракционной решетки равна $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$, где m

– порядок спектра, N – полное число штрихов, $\Delta\lambda$ – расстояние между двумя компонентами дуплета на который расщепляется спектральная линия во внешнем магнитном поле

за счет эффекта Зеемана $h\Delta\nu = g\mu_B B$, где магнетрон Бора $\mu_B = 9.27 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$, B – индукция магнитного поля, g – фактор Ланде. $g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$, где L , S и J – орбитальный, спиновой и полный момент атома.

Полное число штрихов дифракционной решетки $N = L \cdot n$.

Для решения задачи необходимо выразить изменение частоты $\Delta\nu$ через $\Delta\lambda$. Т.к. $\nu = \frac{c}{\lambda}$, то $\Delta\nu = \frac{c}{\lambda^2} \Delta\lambda$ (по модулю) и

рассчитать g -фактор. По условию задачи, в магнитном поле спектральная линия расщепляется на две (образуется дуплет), следовательно, мультиплетность линии $2S+1$ равна 2, отсюда находим спин $S = 1/2$. Дуплетное расщепление характерно для электронов находящихся на S орбитах, поэтому $L = 0$. Таким образом

$$g = 1 + \frac{1/2 \cdot 3/2 - 0 + 1/2 \cdot 3/2}{3/2} = 2.$$

Подставим все выкладки в первую формулу и окончательно получим

$$L = \frac{hc}{2\mu_B B \lambda n}$$

Проведем

расчет

$$L = \frac{6.67 \cdot 3 \cdot 10^{-26}}{2 \cdot 9.27 \cdot 612 \cdot 6 \cdot 10^{-28}} = 2.9 \text{ см}$$

Ответ: $L = 2.9 \text{ см}$

Задача 6. Чему равен импульс отдачи, которое испытывает ядро ^{40}K при резонансном мёссбауэровском поглощении γ -кванта, если приемник и источник сближаются со скоростью 2 мм/с ?

Дано:

Решение:

$$u_{\text{отн}} = 2 \text{ мм/с}$$

В рассматриваемом явлении резонансного поглощения γ -квантов (эффект Мёссбауэра) по-

$$p_{\text{отд}} = ?$$

глощаемые кванты должны иметь энергию большую, чем испускаемые источником на удвоенную энергию отдачи $2 \cdot E_{\text{отд}} = (h\nu_0)^2 / (2m_{\text{я}}c^2)$. Этого возможно добиться с помощью эффекта Доплера. $\nu' = \nu_0(1 + u_{\text{отн}}/c)$. Т.е. $\Delta\nu/\nu = \Delta E/E = u_{\text{отн}}/c$. Следовательно,

$$p = \sqrt{2mE} = 4m c v_{\text{отн}} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с} .$$

$$\text{Ответ: } p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

1. Найти наименьшее межатомное расстояние в кристалле вольфрама, если рентгеновская плотность кристалла при комнатной температуре составляет $13.32 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

2. Найти наименьшее межатомное расстояние в кристалле арсенида галлия, если рентгеновская плотность кристалла при комнатной температуре составляет $5.32 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

3. Пусть кристалл кубической структуры содержит примеси замещения с концентрацией 0.1% (обычная концентрация примеси в «химически чистом» веществе). Чему равно среднее расстояние между атомами примеси, измеренное в единицах расстояния между атомами основного вещества?

4. Карбид титана TiC – перспективный высокотемпературный материал со структурой NaCl и расстоянием между ближайшими соседями 2.15 \AA . Каково расстояние между ионами углерода?

5. Найдите отношения радиусов ионов противоположного знака, при которых возможно образование устойчивых структур с координационным числом 6. При решении задачи использовать постулата Магнуса о том, что в кристалле атомные сферы касаются друг друга.

6. Найдите отношения радиусов ионов противоположного знака, при которых возможно образование устойчивых структур с координационным числом 8. При решении задачи использовать постулата Магнуса о том, что в кристалле атомные сферы касаются друг друга.

7. Найдите отношения радиусов ионов противоположного знака, при которых возможно образование устойчивых структур с координационным числом 4. При решении за-

дачи использовать постулата Магнуса о том, что в кристалле атомные сферы касаются друг друга.

8. Найдите отношения радиусов ионов противоположного знака, при которых возможно образование устойчивых структур с координационным числом 12. При решении задачи использовать постулата Магнуса о том, что в кристалле атомные сферы касаются друг друга.

9. В металлическом проводнике с площадью поперечного сечения 10^{-2} мм^2 и сопротивлением 10 Ом концентрация свободных электронов равна $8.5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$. Определить среднюю скорость дрейфа электронов при напряжении 0.1 В .

10. Как изменится активное сопротивление катушки индуктивности, изготовленной из посеребренного медного проводника диаметром 1 мм , толщина слоя серебра 30 мкм при увеличении частоты электрического тока от 0 до 100 МГц . Удельное сопротивление серебра $0.012 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

11. Определить температурный коэффициент линейного расширения меди, если известно, что для меди температурный коэффициент сопротивления равен $0.43 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$, а температурный коэффициент удельного сопротивления равен $1.7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$.

12. При нагревании провода из манганина длиной 1.5 м и диаметром 0.1 мм на 80° C его сопротивление уменьшается на 0.07 Ом , а длина возрастает на 0.16% . Определить температурный коэффициент удельного сопротивления. При расчете принять, что при комнатной температуре для манганина удельное сопротивление $\rho = 0.47 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

13. В замкнутую цепь, состоящую из алюминиевого и медного проводников, включен милливольтметр. Какую термо-ЭДС покажет прибор, если место спая поддерживается при температуре 100° C , а абсолютная удельная термо-ЭДС меди $\alpha_{\text{Cu}} = 1.8 \text{ мкВ/K}$, для алюминия $\alpha_{\text{Al}} = -1.3 \text{ мкВ/K}$?

14. Определить абсолютную удельную термо-ЭДС никеля, если известно, что никель-медная термопара при разности температур $\Delta T = 100^\circ \text{ C}$ обеспечивает термо-ЭДС равную 2.11 мВ . Принять абсолютную удельную термо-ЭДС меди равную $1.8 \cdot 10^{-6} \text{ В/K}$.

15. Проволока длиной 2 м и диаметром 1 мм натянута горизонтально. К середине проволоки подвесили груз массой 1

кг, проволока растянулась настолько, что точка подвеса опустилась на 4 см. Определить модуль Юнга материала проволоки.

16. Магнитная индукция насыщения металлического никеля, имеющего плотность 8960 кг/м^3 , равна 0.65 Тл. Определить магнитный момент, приходящийся на один атом никеля (в магнетонах Бора).

17. Магнитная индукция насыщения металлического кобальта, имеющего плотность 8960 кг/м^3 , равна 0.8 Тл. Определить магнитный момент, приходящийся на один атом кобальта (в магнетонах Бора).

18. Магнитная восприимчивость некоторого ферромагнитного сплава при температурах 400 и 800°C равна, соответственно, $1.25 \cdot 10^{-3}$ и $1.14 \cdot 10^{-4}$. Определить температуру Кюри.

19. Для некоторого ферромагнетика магнитная восприимчивость определена про 0°C . При какой температуре магнитная восприимчивость увеличится на 10%?

20. Какой радиус кривизны будет у биметаллической пластины из латуни и бронзы, толщиной по 0.2 мм каждого материала, при нагревании до 250°C ($\alpha_1 = 1.4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ и $\alpha_2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$).

21. На какое расстояние от положения равновесия отклонится незакрепленный конец биметаллической пластины при нагревании на 100 К? Если длина биметаллической пластины 5 см, она изготовлена из спаянных стальной и бронзовой пластин толщинами по 0.5 мм, если при комнатной температуре пластина находится в неизогнутом состоянии. Коэффициент линейного расширения стали и бронзы $\alpha_1 = 1.1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ и $\alpha_2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, соответственно.

22. Определить постоянную Пуассона для нихромовой проволоки, если известно, что при растяжении проволоки длиной 1 м на 0.01 мм, ее сопротивление увеличилось на 0.05 %.

23. Тензорезистор из константановой проволоки длиной 10 см и диаметром 0.02 мм после упругого растяжения изменил свое сопротивление на 0.05%. На сколько растянули проволоку? (коэффициент Пуассона константана 0.3).

24. Чувствительность тензорезистора равна 2.6. Определить коэффициент Пуассона для материала из которого

изготовлен этот тензорезистор.

25. Собственный полупроводник (германий) имеет при некоторой температуре удельное сопротивление $0.48 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Определить концентрацию носителей заряда, если подвижности электронов и дырок соответственно равны 0.36 и $0.16 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

26. Определить подвижность и концентрацию электронов в кремнии n -типа (из которого изготовлен датчик Холла), если удельное сопротивление кремния $2\cdot 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а коэффициент Холла $2.6\cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{Кл}$.

27. Какое напряжение зафиксирует датчик Холла толщиной 0.5 мм при помещении в магнитное поле с индукцией 0.5 Тл , если концентрация носителей заряда в материале датчика Холла 10^{28} м^{-3} , а сила тока равна 20 мА .

28. В образце германия подвижность дырок $0.19 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, а электронов $0.38 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. В этом образце эффект Холла не наблюдается. Какая часть тока переносится дырками?

29. Определить подвижность и концентрацию электронов в кремнии n -типа (из которого изготовлен датчик Холла), если удельное сопротивление кремния $2\cdot 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а коэффициент Холла $2.6\cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{Кл}$.

30. Прямоугольный образец полупроводника n -типа с размерами $a = 50 \text{ мм}$, $b = 5 \text{ мм}$, $h = 1 \text{ мм}$ помещен в магнитное поле с индукцией 0.5 Тл . Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости образца. Под действием напряжения $U = 0.42 \text{ В}$, приложенного вдоль образца, по нему протекает ток 20 мА , измеренная ЭДС Холла $U_H = 6.25 \text{ мВ}$. Найти удельное сопротивление полупроводника.

31. Определить модуль продольного пьезоэффекта для NbTiO_3 , если на противоположных гранях пластинки толщиной 1 мм возникает разность потенциалов в 10^3 В при механическом напряжении 10^5 Н/м^2 . Диэлектрическая проницаемость NbTiO_3 равна 5.6 .

32. На сколько деформируется пластинка кварца толщиной 1 мм , если к ее граням подводится напряжение в 4000 В . Продольный пьезомодуль кварца равен $2.3\cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$, а диэлектрическая проницаемость - 4.6 .

33. Какое продольное механическое напряжение испытывает кристалл турмалина, если на противоположных

гранях пластинки толщиной 1 мм, разность потенциалов составляет 6 В.

Пьезомодуль турмалина $d_{11} = 0.3 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н, а диэлектрическая проницаемость равна 8.

34. К пластине пьезокерамики толщиной 2 мм приложена разность потенциалов 2000 В. Найти деформацию образца в направлении электрического поля, если модуль продольного пьезоэффекта равен $5.1 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н, а диэлектрическая проницаемость пьезокерамика равна 4.1.

35. Преобразователь ультразвукового дефектоскопа диаметром 12 мм работает на частоте 1.2 МГц. Какова угловая ширина главного дифракционного максимума, если ультразвук распространяется в касторовом масле ($u = 1450$ м/с) ?

36. Чему равен диаметр преобразователя эхолота, работающего на частоте 50 кГц в морской воде ($u = 1059$ м/с) , если угловая ширина главного максимума составляет 60° ?

37. При образовании стоячей волны в трубке Кундта в воздушном столбе наблюдается 8 пучностей. Какова длина воздушного столба, если у стержня закреплен конец? Длина стержня 2 м. Скорость звука в стали 5250 м/с и в воздухе 340 м/с.

38. Для каких наибольших частот применим метод Кундта определения скорости звука, если считать, что наименьшее различаемое расстояние между пучностями порядка 4 мм. Скорость звука в воздухе равна 340 м/с?

39. Чему равна частота продольных колебаний кварцевой пластины толщиной 12 мм, если известны плотность кварца равная $2.65 \cdot 10^3$ кг/м³ и модуль Юнга $E = 86 \cdot 10^{11}$ Па.

40. Определить температурную чувствительность кварцевого резонатора толщиной 12 мм, совершающего продольных колебания. Принять плотность кварца $2.65 \cdot 10^3$ кг/м³, коэффициент жесткости $c_{11} = 86 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент линейного расширения $\alpha_1 = 13.4 \cdot 10^{-6}$ °C⁻¹.

41. Какого ускоряющее напряжение электронного микроскопа, если он позволяет рассмотреть детали размером 0.3 мкм. Апертура электронного микроскопа составляет 0.04.

42. Угловая апертура электронного микроскопа 10^{-4} , а оптического - порядка 1. При каком ускоряющем напряжении разрешающая сила этих приборов будет одинакова?

43. Апертура электронного микроскопа

Специальные главы физики

равна 0.05, ускоряющее напряжение 10^4 В. Определить размеры деталей, которые можно разрешить с помощью этого прибора.

44. В атоме вольфрама электрон перешел с M -слоя на L -слой. Постоянную экранирования равна 5.5, определить длину волны испускаемого фотона.

45. Определить энергию фотона, соответствующего $K\alpha$ -линии в характеристическом спектре марганца ($Z = 25$, $\sigma = 1$).

46. Появятся ли на рентгенограмме линии, возникающие в результате отражения от плоскостей (400) и (530) гранецентрированной кубической решетки, если наблюдение ведется на излучении с длиной волны $0.89 \cdot 10^{-10}$ м, а постоянная решетки кристалла равна $2.98 \cdot 10^{-10}$ м?

47. Какие линии могут проявиться на рентгенограмме объемцентрированной кубической решетки с постоянной $a = 5.43 \cdot 10^{-10}$ м, если исследование ведется на длине волны медного излучения с $\lambda = 1.5 \cdot 10^{-10}$ м?

48. Появятся ли на рентгенограмме линии, возникающие в результате отражения от плоскостей (700) и (640) объемцентрированной кубической решетки, если наблюдение ведется на излучении с длиной волны $1.79 \cdot 10^{-10}$ м, а постоянная решетки кристалла равна $2.56 \cdot 10^{-10}$ м?

49. Какие линии могут проявиться на рентгенограмме простой кубической решетки с постоянной $a = 5.43 \cdot 10^{-10}$ м, если исследование ведется на длине волны медного излучения с $\lambda = 1.5 \cdot 10^{-10}$ м?

50. Какому углу дифракции будет соответствовать на рентгенограмме линия (211) объемцентрированной кубической решетки с постоянной $a = 2.86 \cdot 10^{-10}$ м, если исследование ведется на кобальтовом излучении с длиной волны $1.79 \cdot 10^{-10}$ м?

51. Свободный электрон находится в постоянном магнитном поле ($B_0 = 1$ Тл). Определить частоту ν_0 переменного магнитного поля, при которой происходит резонансное поглощение энергии электроном (g – фактор свободного электрона равен 2).

52. Свободный протон находится в постоянном магнитном поле ($B_0 = 1$ Тл). Определить частоту ν_0 переменного магнитного поля, при которой происходит резонансное поглощение энергии протоном – ядерный

магнитный резонанс ($g = 2.27$).

53. В опытах по ЯМР определяют магнитный момент нейтрона. Резонансное поглощение наблюдается при индукции магнитного поля, равной 0.68 Тл , и частоте 19.9 МГц . Определить по этим данным g -фактор и магнитный момент нейтрона, если известно, что проекции механического и магнитного момента – противоположны.

54. В опытах по ЯМР с атомами ^{25}Mg в основном состоянии обнаружено резонансное поглощение при магнитной индукции 0.682 Тл , и частоте переменного магнитного поля 19.9 МГц . Вычислить ядерный g -фактор и магнитный момент нейтрона. Известно, что направление спинового механического и магнитного моментов противоположны.

55. При какой частоте переменного магнитного поля будет наблюдаться ЯМР ядер ^{19}P ($I = 1/2$, $M = 2.63 \mu\text{н}$), если магнитная индукция B_0 постоянного поля равна 2.35 Тл .

56. Какова величина относительного смещения спектральной линии $\Delta\lambda/\lambda$, если на мессбауэровском спектре ^{40}K , резонансное поглощение наблюдается при скорости 25 мм/с ?

57. На сколько различаются энергии излученного и поглощенного γ -кванта некоторого радиоактивного изотопа, если на мессбауэровском спектре резонансное поглощение происходило при 15 см/с .

58. При какой скорости относительного сближения приемника и источника из ^{198}Au наблюдается эффект Мессбауэра, если относительная ширина спектральной линии $\Delta\lambda/\lambda = 10^{-6}$.

59. С какой относительной скоростью $v_{\text{отн}}$ должны сближаться источник и поглотитель, состоящие из свободных ядер ^{191}Ir , для наблюдения ядерного γ -резонанса? Энергия γ -квантов $h\nu = 129 \text{ кэВ}$.

60. Источник и поглотитель содержат ядра ^{83}Kr . Энергия возбуждения ядер равна 9.3 кэВ . Определить относительного сближения приемника и поглотителя, при резонансном поглощении γ -кванта.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Элементарная ячейка.
2. Примеры кристаллических решеток.
3. Дефекты кристаллической структуры.
4. Влияние дефектов на свойства металлов и сплавов.
5. Модель электронного газа.
6. Основные предположения модели Друде-Лоренца.
7. Термо-ЭДС. Термопары.
8. Термоэлектрические явления (эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона).
9. Гальваномагнитные эффекты.
10. Гистерезисные свойства ферромагнитных материалов.
11. Эффект Баркгаузена.
12. Магнитострикция. Примеры использования в измерительной технике.
13. Пьезоэлектрические преобразователи.
14. Пьезоэффект: прямой и обратный.
15. Материалы используемые в пьезоэлектрических преобразователях.
16. Различие между пьезоэффектом и электрострикцией.
17. Пирроэффект.
18. Классификация методов неразрушающего контроля.
19. Использование эффекта Доплера в технике измерений.
20. Взаимодействие излучения с веществом.
21. Классификация спектроскопии по энергии излучения.
22. Классификация методов неразрушающего контроля.
23. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).
24. Ядерный магнитный резонанс (ЯМР).
25. Спектроскопия Мёссбауэра. Применение в науке и технике.
26. Взаимодействие излучения с моно- и поликристаллами, аморфными телами.
27. Изучение структуры вещества методом рентгеноструктурного анализа.
28. Качественный и количественный структурный анализ.
29. Закон Вульфа-Брэгга.
30. Рентгеновская томография.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 2010. – Т.1-3.
2. Антипов Б.Л., Сорокин В.С., Терехов В.А. Материалы электронной техники. Задачи и вопросы / Б.Л. Антипов. – М.: Высшая школа, 2003.
3. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике / А.Г. Чертов. – М.: Физматлит, 2003.