



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Учебно-методическое пособие
по выполнению контрольных работ
по дисциплине

**«Физические основы
получения информации»**

Авторы
Бажин И. В.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

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

Авторы

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



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА.....	5
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ	8
МЕХАНИЧЕСКИЕ, АКУСТИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.....	8
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ И ЯВЛЕНИЯ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ	9
Оптические и ультразвуковые явления и эффекты	12
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	15
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ	22
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	29
Рекомендуемая литература	30

ВВЕДЕНИЕ

Студенты-заочники изучают курс «Физические основы получения информации» 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 _____
<i>(номер зачетной книжки)</i>	
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 экзамену по курсу. Во время экзамена студент должен ответить на вопросы и замечания, отмеченные в рецензии на его контрольную работу.

Контрольная работа с оценкой "не зачтено" представляется

Физические основы получения информации

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

«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ»

для студентов-бакалавров заочной
формы обучения

1. Основные понятия и определения. Измерение как процесс познания окружающего мира. Физическая величина. Измеряемые и неизмеряемые величины. Сравнение с мерой. Измерительные шкалы: номинальная, порядковая, интервальная, масштабная, натуральная. Эмпирические и метрические шкалы.

2. Физические (естественные) пределы измерения. Принцип неопределенности. Собственная ширина спектральной линии. Шумы. Броуновское движение. Формула Найквиста. Тепловой шум. Дробовой эффект. Квантовый шум. Принципы выделения сигнала на фоне шумов. Устранимые и неустраняемые измерительные по-

Физические основы получения информации

грешности. Основные эффекты квантовой метрологии. Сверхпроводимость, эффект Джозефсона, квантование магнитного потока, квантовый эффект Холла, ЯМР.

3. Средства и методы измерений. Различные виды измерений (прямые, косвенные, совокупные, совместные). Метод и методика физических измерений. Виды и методы измерений. Определение и классификация средств измерений.

4. Принципы построения измерительных систем. Процесс измерения как процесс передачи измерительной информации. Основные функции измерительной системы. Важнейшие функциональные блоки измерительной системы. Идеализированная блок-схема измерительной системы. Измерительные преобразователи. Классификация измерительных преобразователей (генераторные и параметрические, масштабные). Измерительные датчики.

5. Метод отклонения (прямого преобразования) и метод сравнения (компенсационный метод). Блок-схемы средств измерений построенных, по схеме прямого преобразования и схеме сравнения. Разновидности компенсационного метода ("нуль"-метод, дифференциальный метод, метод замещения, метод совпадения). Достоинства и недостатки метода отклонения и метода сравнения.

6. Характеристики средств измерений. Чувствительность, предел чувствительности, диапазон преобразования, класс точности. Определение статических и динамических характеристик измерительных средств. Передаточная функция. Диаграммы Боде. Амплитудночастотная и фазочастотная характеристики. Чувствительность и передаточная функция средств измерения, построенных по схемам прямого преобразования и сравнения.

7. Основные типы пассивных преобразователей: резистивные и реостатные; емкостные; индуктивные; трансформаторные. Тензорезисторы. Их разновидности, параметры, назначение и примеры использования. Чувствительность резистивных и емкостных преобразователей. Схемы включения пассивных преобразователей. Компенсационные и мостовые схемы включения.

8. Измерение температуры. Физические принципы измерения температуры. Типы термометров. Пирометры. Реперные точки.

Физические основы получения информации

Понятие о термодинамической шкале; термометры механической группы. Термоэлектрические явления: Эффекты Зеебека, Томпсона и Пельтье. Метод измерения температуры с помощью термопары. Термометры сопротивления. Диапазон измерений, точность; достоинства и недостатки.

9. Гальваномагнитные эффекты: эффекты Холла, магнито-резистивный эффект (эффект Гаусса). Применение в науке и технике. Гистерезисные свойства ферромагнитных материалов. Температура Кюри. Эффект Баркгаузена. Магнитострикция. Примеры использования в измерительной технике.

10. Пьезоэлектрические преобразователи. Пьезоэффект: прямой и обратный. Тензорные свойства пьезоэффекта. Материалы, используемые в пьезоэлектрических преобразователях, их свойства. Различие между пьезоэффектом и электрострикцией. Пьезорезонансные преобразователи: особенности применения, достоинства и недостатки. Пирроэффект. Кристаллическая структура пьезо- и пьезоэлектриков.

11. Классификация методов неразрушающего контроля. Физические явления, используемые в целях неразрушающего контроля. Акустический (ультразвуковой), радиационный, магнитный. Излучение, передача и прием акустических колебаний. Физические основы УЗ эхолокации и дефектоскопии. Различие в использовании акустического и оптического эффекта Доплера при определении расстояния, перемещения и скорости движения.

12. Оптические методы исследования. Микроскопия. Рефрактометрия. Поляриметрия. Фотометрия. Спектроскопия. Классификация оптических спектров. Построение оптических систем. Абберации оптических приборов. Разрешающая способность оптических систем.

13. Изучение строения вещества. Классификация структурного анализа по типу излучения. Взаимодействие излучения с моно - и поликристаллами, аморфными телами. Изучение структуры вещества методом рентгеноструктурного анализа. Качественный и количественный структурный анализ. Закон Вульфа-Брэгга. Рентгеновская томография. Применение в науке и технике.

14. Измерения в ядерной физике. Основные и производные еди-

ницы измерений. Радиационная безопасность. Электронный парамагнитный и ядерный магнитный резонанс (ЭПР, ЯМР). Мессбауэровская спектроскопия. Применение в науке и технике.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

МЕХАНИЧЕСКИЕ, АКУСТИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1.1. 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.

1.2. Коэффициент Пуассона:

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_{\text{поп}}}{\varepsilon_{\text{пр}}} \right|,$$

где $\varepsilon_{\text{поп}}$ – поперечная деформация; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – продольная деформации.

1.3. Законы теплового расширения

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

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

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.

Акустический эффект Доплера

$$v = v_0 \frac{1 + \frac{u}{c}}{1 - \frac{v}{c}},$$

где v – частота приемника излучения; v_0 – частота источника излучения; u – скорость движения приемника; v – скорость движения источника; c – скорость распространения волн в среде.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ И ЯВЛЕНИЯ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

2.1. Электрические явления в металлах и полупроводниках:

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

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

где I – сила тока в цепи; U – напряжение; R – сопротивление; j – плотность тока в проводнике; $\sigma = \frac{e^2 n \tau}{2m} = en\mu_n$ –

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.

2.1.2. 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

Физические основы получения информации

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

где R , R_0 , B , T – сопротивление при конечной температуре, сопротивление при температуре 20^0 C , коэффициент температурной чувствительности полупроводника, конечная температура.

2.1.3. 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.

2.2. Шумы в измерительных устройствах

Тепловые шумы. Формула Найквиста

$$U_{\text{т.ш.}} = \sqrt{4kTR\Delta f},$$

где $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, R – активное сопротивление источника шума, Δf – полоса пропускания измерительного средства.

Дробовые шумы

$$I_{\text{д.ш.}} = \sqrt{2eI\Delta f},$$

где e – заряд электрона, I – ток в цепи, Δf – полоса пропускания измерительного средства.

2.3. Магнитные явления и эффекты

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

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

2.3.1. Закон Кюри-Вейса:

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

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

2.3.2. 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.

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

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

Эффект Гаусса:

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

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 носителей заряда в проводнике.

2.4. 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_i – механическое напряжение; ε_i – деформация пьезокристалла, E – напряженность электрического поля.

Уравнение пирозэффекта:

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

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

2.4.1. Квадратичный электрооптический эффект Керра:

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

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.

Оптические и ультразвуковые явления и эффекты

3.1. 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.

3. Основы оптики

Формула тонкой линзы

Физические основы получения информации

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

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 $A = n \cdot \sin \varphi$, 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

Физические основы получения информации

основания призмы, $\frac{dn}{d\lambda}$ – дисперсия стекла, из которого изготовлена призма.

Оптический (релятивистский) эффект Доплера

$$v = v_0 \frac{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}{1 + \frac{u}{c} \cos \theta}, \text{ если } u \ll c, v = v_0 \left(1 - \frac{u}{c} \cos \theta\right),$$

где v – частота приемника излучения; v_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.

4. 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.

5. 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; фактор Ланде $g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$.

Для ядерного магнитного резонанса (ЯМР)

$$\Delta E = \mu_N g_N B,$$

где ΔE – энергия расщепления спектральной линии; μ_N –

магнитный момент ядра; B – индукция магнитного поля; g_{γ} – ядерный g -фактор.

6. Эффект Мёссбауэра

При излучении или поглощении γ кванта ядро испытывает отдачу

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

где $E_{отд}$ – 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. В первом (линейном) приближении оцените чувствительность тензорезистивного датчика упругих напряжений.

Дано:

Решение:

$$\frac{\Delta R/R}{\varepsilon = \Delta l/l}$$

$$S_{\varepsilon} - ?$$

Сопротивление проводника равно $R = \rho \frac{l}{S}$, где ρ – удельное сопротивление, l – длина, S – площадь поперечного сечения проводника. При деформации сопротивление проводника изменяется. Рассчитаем полный дифференциал формулы сопротивления:

$$dR = \frac{l}{S} d\rho + \rho \frac{dl}{S} - \rho \frac{l}{S^2} dS,$$

или после несложных преобразований

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S},$$

заменяем знак дифференциала на знак конечного приращения

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S}.$$

При упругой деформации справедлива формула Пуассона $\frac{\Delta S}{S} = -2\nu \frac{dl}{l}$. Окончательно, получаем $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \varepsilon(1 + 2\nu)$.

Чувствительность тензорезистивного датчика равна отношению относительного изменения сопротивления к деформации образца

Физические основы получения информации

$$S_\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\varphi} + (1 + 2\nu).$$

Для металлических образцов первым слагаемым пренебрегают, т.к. удельное сопротивление металла при упругой деформации практически не меняется.

Ответ: линейная чувствительность металлического тензодатчика $S_\varepsilon = 1 + 2\nu$.

Задача 2. Значение R_x определяют с помощью мостовой схемы. Сопротивление плеч моста $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 200 \text{ Ом}$, $R_3 = 200 \text{ Ом}$, внутреннее сопротивление гальванометра $R_G = 1 \text{ кОм}$, ЭДС идеального источника $E = 2 \text{ В}$. Какой минимальной чувствительностью по току должен обладать гальванометр, чтобы можно было измерить сопротивление R_x с относительной погрешностью 2 %?

Дано:

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 200 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 200 \text{ Ом}$$

$$R_G = 1 \text{ кОм}$$

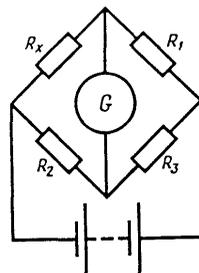
$$E = 2 \text{ В}$$

$$\varepsilon_{R_x} = 2 \%$$

$$S_G - ?$$

Решение:

Минимальная погрешность мостовой схемы достигается при балансировке моста, когда ток через гальванометр не течет, при этом выполняется равенство $R_x R_3 = R_1 R_2$. Отсюда можно рассчитать неизвестное сопротивление



$$R_x = R_1 R_2 / R_3 = 100 \text{ Ом}.$$

Зная относительную погрешность измеряемого сопротивления $\varepsilon_{R_x} = \Delta R_x / R_x$, рассчитаем абсолютную погрешность сопротивления $\Delta R_x = 2 \text{ Ом}$.

Чувствительность гальванометра равна отношению угла отклонения стрелки к току текущему через гальванометр, т.е.

$$S_G = \Delta\varphi / \Delta I_G [\text{дел}/\text{А}].$$

Ток, протекающий через гальванометр, рассчитывается по формуле

$$I = E \frac{R_x R_3 - R_1 R_2}{R_G (R_x + R_1)(R_2 + R_3) + R_x R_1 (R_2 + R_3) + R_2 R_3 (R_x + R_1)}.$$

Запишем эту формулу в виде

Физические основы получения информации

$$I = E \frac{a}{b}, \quad a = R_x R_3 - R_1 R_2,$$

$$b = R_G (R_x + R_1)(R_2 + R_3) + R_x R_1 (R_2 + R_3) + R_2 R_3 (R_x + R_1).$$

Изменение тока через гальванометр можно найти, дифференцируя предыдущую формулу по R_x , и заменяя знак дифференциала на знак конечного приращения:

$$\Delta I = E \frac{b \Delta a - a \Delta b}{b^2}, \quad \Delta a = R_3 \Delta R_x,$$

$$\Delta b = \Delta R_x (R_G (R_2 + R_3) + R_1 (R_2 + R_3) + R_2 R_3).$$

Рассчитаем параметры a , Δa , b , Δb :

$$a = 0, \quad \Delta a = 400 \text{ Ом}^2, \quad b = 9.2 \cdot 10^7 \text{ Ом}^3, \quad \Delta b = 9.6 \cdot 10^5 \text{ Ом}^3.$$

Вычислим приращение тока, протекающего через гальванометр

$$\Delta I_G = 2 \cdot 9.2 \cdot 10^9 \cdot 4 / (64 \cdot 10^{14}) = 64 \cdot 10^9 / 84.6 \cdot 10^{14} = 8.7 \cdot 10^{-6} \text{ А}$$

Окончательно, получаем чувствительность гальванометра

$$S_G = 1 \text{ дел} / 8.7 \text{ мкА} = 0.115 \text{ дел} / \text{мкА}.$$

Ответ: $S = 0.115 \text{ дел} / \text{мкА}$

Задача 3. Определить температурный коэффициент сопротивления (чувствительность) полупроводникового материала при комнатной температуре, если энергия активации полупроводника равна 0.8 эВ .

Дано:

Решение:

$$\begin{aligned} T &= 300 \text{ К} \\ E_a &= 0.8 \text{ эВ} \end{aligned}$$

$$\alpha_T = S_T - ?$$

В полупроводниковых материалах концентрация носителей заряда зависит от температуры по закону:

$$n = C \cdot e^{-\frac{E_a}{2kT}},$$

где C – некоторая константа, E_a – энергия активации, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура. Удельная проводимость полупроводника $\sigma = ne\mu_n$, где μ_n – подвижность носителей заряда (здесь, электронов). Таким образом, удельная проводимость полупроводника зависит от температуры:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{E_a}{2kT}}.$$

Т.к. сопротивление обратно пропорционально проводимо-

сти, можно записать

$$R(T) = Ae^{\frac{E_a}{2kT}} = A \cdot e^{\frac{B}{T}},$$

где B – постоянная, зависящая от физических свойств полупроводника, A – некоторая константа. Можно записать

$$R(T) = A \cdot e^{B(1/T - 1/T_0)} = R(T_0)e^{B/T}.$$

Окончательно, ТКС полупроводникового материала равен:

$$S_T = \alpha_T = \frac{dR}{RdT} = -\frac{B}{T^2}$$

$$S_T = \alpha_T = -\frac{0.8 \cdot 1.6}{2 \cdot 1.38 \cdot 9} = -5.2 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$$

Ответ: $-5.2 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$

Задача 4. При некоторой температуре ЭДС Холла а антимониде индия обращается в нуль. Определить, какая часть тока переносится электронами, если отношение подвижности электронов к подвижности дырок равно 100.

Дано:

Решение:

$$\mu_n / \mu_p = 100$$

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

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 5. Определить ток через сопротивление 1 кОм, при котором дробовой шум становится равным равновесному (тепло-

Физические основы получения информации

вому) при комнатной температуре.

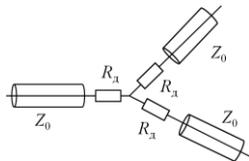
$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ T = 273 \text{ K} \\ R = 1 \text{ кОм} \\ \hline I - ? \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Решение:} \\ U_{\text{т.ш.}} = \sqrt{4kTR\Delta f} \rightarrow I_{\text{т.ш.}} = \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{R}} \\ I_{\text{д.ш.}} = \sqrt{2eI\Delta f}; \quad 4kT = 2eRI \\ I = \frac{2kT}{eR} = \frac{2.76 \cdot 3 \cdot 10^{-21}}{1.6 \cdot 10^{-16}} = 5.175 \cdot 10^{-5} \text{ A} \end{array}$$

Ответ: 51.75 мкА

Задача 6. Необходимо изготовить согласованный тройник для 50-омного коаксиального кабеля, чтобы можно было подсоединяться к любым выводам, не боясь испортить сигнал.

$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ Z = 50 \text{ Ом} \\ \hline R_{\text{д}} - ? \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} Z_0 = R_{\text{д}} + 0.5(R_{\text{д}} + Z_0) \\ R_{\text{д}} = \frac{Z_0}{3} \approx 16.7 \text{ Ом} \end{array} \right.$$



Ответ: 16.7 Ом

Задача 7. 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.

$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ \sigma_1 = 10^5 \text{ Н/м}^2 \\ d_{11} = 2.3 \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н} \\ h = 1 \text{ мм} \\ \hline \varepsilon = 4.6 \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{Решение:} \\ \text{Уравнения прямого пьезоэффекта имеет вид } p = d_{11}\sigma, \text{ где } p - \text{ поляризация, } d_{11} - \text{ продольный пьезомодуль, } \sigma - \text{ механическое напряжение. Пьезоэлемент можно рассматривать как плоский конденсатор, тогда} \\ U = Q/C = pSh/(\varepsilon\varepsilon_0S) = d_{11}\sigma h/(\varepsilon\varepsilon_0) \\ = 5.5 \text{ В.} \end{array} \right.$$

Ответ: $U =$

5.5 В

Задача 8. Тепловой датчик, установленный на спутнике Земли, изготовлен из материала с пьезоэлектрическим коэффициентом $\gamma = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Кл/(м}^2 \cdot \text{К)}$ и имеет рабочую поверхность $S = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. При пролете над объектом, имеющим температуру

Физические основы получения информации

выше окружающего фона, температура датчика за время $\Delta t = 1$ с увеличилась на $\Delta T = 0.25$ К. Какой ток будет, при этом, зафиксирован в цепи датчика?

Дано:

$$\begin{aligned} \gamma &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ Кл/м}^2 \text{ К} \\ S &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \\ \Delta t &= 1 \text{ с} \\ \Delta T &= 0.25 \text{ К} \end{aligned}$$

I - ?

Решение:

$$\begin{aligned} I &= Q/\Delta t \\ Q/S &= \rho = \gamma \Delta T \\ I &= \gamma \Delta T S / \Delta t \\ I &= 2 \cdot 0.25 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 1 \text{ мкА} \end{aligned}$$

Ответ: $I = 1$ мкА

Задача 9. Апертура электронного микроскопа равна 0.02, ускоряющее напряжение 10^4 В. Определить размеры деталей, которые можно разрешить с помощью этого прибора.

Дано:

$$\begin{aligned} A &= 0.02 \\ U &= 10^4 \text{ В} \\ \Delta x - ? \end{aligned}$$

Решение:

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

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

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. Так импульс электрона равен

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

постоянная Планка.

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

10^{-19} Кл – заряд электрона.

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

Подставляем численные значения и получаем ответ:

Физические основы получения информации

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

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

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

Задача 10. 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*. Индукция магнитного поля 1 *Тл*.

Дано:

Решение:

$$\begin{aligned} n &= 600 \text{ лин/мм} \\ l &= 612 \text{ нм} \\ B &= 1 \text{ Тл} \end{aligned}$$

$L - ?$

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.

$$g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}, \text{ где } L, S \text{ и } J - \text{орбитальный,}$$

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

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

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 11. 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:

$u_{\text{отн}} = 2 \text{ мм/с}$
 $\rho_{\text{отд}} = ?$

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

$$v' = v_0(1 + u_{\text{отн}}/c). \text{ Т.е. } \Delta v/v = \Delta E/E = u_{\text{отн}}/c.$$

Следовательно, $p = \sqrt{2mE} = 4mcv_{\text{отн}} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

1. Определить относительную систематическую погрешность $\delta_{\text{отн}}$ измерения напряжения вольтметром с внутренним сопротивлением $r_v = 1000 \text{ Ом}$ на нагрузке $R = 100 \text{ Ом}$ в цепи с источником энергии, ЭДС которого $E = 2 \text{ В}$ и внутреннее сопротивление $r_E = 1 \text{ Ом}$. Вольтметр включен параллельно нагрузке.

2. Как изменится чувствительность стрелочного вольтметра, имеющего ток полного отклонения 10 мА и внутреннее сопротивление 20 кОм , если он используется совместно с дополнительным сопротивлением 10 кОм .

3. Определить, какой чувствительностью по напряжению должен обладать магнитоэлектрический механизм вольтметра с верхним пределом измерения 150 В , имеющий 150 делений, если при измерении напряжения 100 В потребляемая вольтметром мощность равна 10 мВт . Найти добавочное сопротивление вольт-

Физические основы получения информации

метра, если сопротивление цепи рамки механизма $R_V=1 \text{ кОм}$.

4. Рассчитать сопротивление шунта для расширения пределов измерения магнитоэлектрического миллиамперметра с током полного отклонения $I_{\text{ном}} = 50 \text{ мА}$ и внутренним сопротивлением $r_A=5 \text{ Ом}$ до значения тока $I=10 \text{ А}$. Во сколько раз изменится при этом цена деления прибора?

5. К вольтметру, сопротивление которого $R_V=30 \text{ кОм}$, подключён резистор с сопротивлением $R_d=90 \text{ кОм}$. При этом верхний предел измерения прибора составляет 600 В . Определить, какое напряжение можно измерять прибором без добавочного резистора?

6. 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.

7. В стеклянный сосуд высотой 40 см налита ртуть при температуре 20° С . При нагревании ртути до 100° С ее уровень поднялся на 6 мм . Найти коэффициент объемного расширения ртути по этим данным. Какую относительную ошибку мы допускаем, не учитывая тепловое расширение стекла, коэффициент расширения которого равен $3 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$?

8. При отсчете показаний барометра обычно делают поправку на тепловое расширение шкалы по сравнению с 0° С . Каково было бы показание барометра при 0° С , если при 30° С оно равно 758.2 мм . Шкала барометра латунная ($\alpha_l = 1.9 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$).

9. Газовый термометр состоит из колбы с припаянной к ней трубки, диаметром 1 мм . Внутри трубки находится капля ртути. При температуре 273 К капля находится на расстоянии 15 см от края колбы, при температуре 288 К капля находится на 35 см от колбы. Определить объем колбы.

10. В стеклянный сосуд высотой 30 см налит спирт при температуре 20° С . При нагревании спирта до 60° С , его уровень поднимается на 4 мм . Какую относительную ошибку мы допускаем при определении коэффициента объемного расширения спирта, если не учитываем расширение стеклянного сосуда (коэффициент линейного расширения стекла равен $3 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$)?

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

12. Толщина биметаллической пластинки, составленной из одинаковых полосок стали и цинка, равна $d = 0.1 \text{ см}$. Определить

Физические основы получения информации

радиус кривизны пластинки при повышении температуры на $\Delta t = 25^\circ \text{C}$. Коэффициент линейного расширения цинка $\alpha_1 = 25 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, а стали $\alpha_2 = 12 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

13. Определить постоянную Пуассона для нихромовой проволоки, если известно, что при растяжении проволоки длиной 1 м на 0.03 мм, ее сопротивление изменилось на 0.05 %.

14. Какой температурный коэффициент линейного расширения манганиновой проволоки, если температурный коэффициент сопротивления равен $-0.97 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$, а температурный коэффициент удельного сопротивления $1.03 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$.

15. Измерительная цепь состоит из последовательно соединенных тензорезистивного датчика, источника питания с ЭДС 1 В (внутренним сопротивлением пренебречь) и измерительного прибора, имеющего 100 делений, с током полного отклонения 100 мкА и сопротивлением 200 Ом. При отсутствии деформации стрелка прибора отклоняется на всю шкалу. Определить тензочувствительность датчика, если отклонение стрелки на 11 делений соответствует деформации в 0.05%.

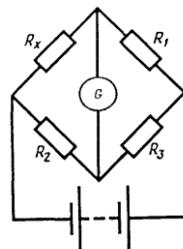


Рис. 1

16. Мостовая схема используется для измерения температуры. Сопротивления плеч $R_2 = R_3 = 200 \text{ Ом}$ и $R_1 = 25 \text{ Ом}$, гальванометр имеет ток полного отклонения 100 мкА и внутреннее сопротивление 750 Ом. Медный датчик имеет сопротивление 25 Ом при 20°C , ТКС меди 0.00426 1/К. Определить максимальную температуру, которую можно измерить, при питании моста $U = 6 \text{ В}$.

17. Определить ТКС металлического термосопротивления, если используется мостовая схема измерения (рис. 1). Сопротивления плеч $R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$ и $R_1 = 50 \text{ Ом}$, гальванометр имеет ток полного отклонения 1 мА и внутреннее сопротивление 360 Ом. Термочувствительный датчик имеет сопротивление 50 Ом при 20°C и 71 Ом при отклонении стрелки на всю шкалу. Питание моста $U = 5 \text{ В}$.

18. Тензорезистивный датчик включен в диагональ измерительного моста (рис. 1). Сопротивления плеч $R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$ и $R_1 = 20 \text{ Ом}$, гальванометр имеет ток полного отклонения 100 мкА и внутреннее сопротивление 50 Ом. Нихромовый датчик имеет тензочувствительность 2.1 и сопротивление 20 Ом при отсутствии нагрузки. Определить максимальную деформацию, которую мож-

но измерить, при питании моста $U = 6 \text{ В}$.

19. Тензорезистор из константановой проволоки длиной 10 см и диаметром 0.02 мм после упругого растяжения изменил свое сопротивление на 0.05% . Определите величину этого растяжения (коэффициент Пуассона константана 0.3).

20. Каким образом из магнитоэлектрического вольтметра на $2,5 \text{ В}$ с добавочным сопротивлением 245 Ом и внутренним сопротивлением 5 Ом можно сделать амперметр на $1,5 \text{ А}$? Составить и зарисовать схемы обоих приборов.

21. 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 $0.012 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

22. Какой минимальный ток можно измерить некоторым электронным амперметром с входным сопротивлением 10^{12} Ом , шунтированным паразитной емкостью 10 пФ ? Температура входной цепи 20° С .

23. Определить полосу пропускания усилителя постоянного тока, который позволяет измерить ток 15 нА , через сопротивление 10 МОм с погрешностью 1% при комнатной температуре. Считать, что ошибка измерения складывается из теплового шума сопротивления и дробового шума усилителя.

24. Экспериментатор изготовил разветвитель сигнала, соединив Y -образно центральные жилы и оплетки соответственно трех одинаковых кабелей. Определить коэффициент отражения по напряжению в точке разветвления и напряжение в каждой из двух линий после точки разветвления.

25. Как согласовать длинную линию с волновым сопротивлением 75 Ом со входом осциллографа, если входное сопротивление последнего составляет 50 Ом ? Найти напряжение на входных клеммах осциллографа.

26. На сколько изменится сопротивление (в %) полупроводникового термистора при нагревании от 20 до 50° С , если константа B для данного полупроводника равна 2000 .

27. При очень низких температурах красная граница фотопроводимости чистого беспримесного германия $\lambda_{\text{кр}} = 1.7 \text{ мкм}$. Найдите ТКС данного германия при комнатной температуре.

28. ТКС чистого беспримесного германия при комнатной температуре равен $\alpha_{\text{T}} = -0.05 \text{ К}^{-1}$. Найдите ширину запрещенной зоны данного полупроводника.

Физические основы получения информации

29. Определить температурную характеристику и чувствительность полупроводникового терморезистора с номинальным сопротивлением 30 кОм , если его сопротивление при 323 К составляет 7.5 кОм .

30. Термопара с термо-ЭДС 42.7 мкВ/К подключена к прибору магнитоэлектрической системы, имеющему 100 делений, с током полного отклонения 250 мкА и сопротивлением 200 Ом . Определить предельную температуру измерения и цену деления прибора, если сопротивления термопары и подводящих проводов 13.5 Ом , а температура холодного спая 20^0 С .

31. Определить коэффициент линейного расширения α_l и удлинение нихромовой проволоки, если известно, что при повышении температуры от 20 до 1000^0 С электрическое сопротивление проволоки изменяется от 50 до 52.5 Ом . Длина проволоки в холодном состоянии $l=20 \text{ м}$. Температурный коэффициент удельного сопротивления нихрома равен $15 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$.

32. Магнитная восприимчивость некоторого ферромагнитного сплава при температурах 400 и 800^0 С равна, соответственно, $1.25 \cdot 10^{-3}$ и $1.14 \cdot 10^{-4}$. Определить температуру Кюри.

33. Для некоторого ферромагнетика магнитная восприимчивость определена про 0^0 С . При какой температуре магнитная восприимчивость увеличится на 10%?

34. 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.

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

36. 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 .

37. Какое продольное механическое напряжение испытывает кристалл турмалина, если на противоположных гранях пластинки толщиной 1 мм , разность потенциалов достигает 6 В

Физические основы получения информации

($d_{11} = 4.3 \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$, диэлектрическая проницаемость турмалина 8.

38. 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.

39. К пластине пьезоэлектрического кварца, вырезанной перпендикулярно оси X , приложена разность потенциалов $U = 2000 \text{ В}$. Найти деформацию образца Δh в направлении действия электрического поля, если толщина пластины $h = 1.5 \text{ мм}$, а пьезомодуль продольного пьезоэффекта $d_{11} = 2.3 \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$.

40. 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.

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

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

43. Определить время экспозиции при фотографировании предмета движущегося со скоростью 100 км/ч , чтобы на негативе размытость изображения не превышала 0.2 мм. Оптическая сила объектива 20 диоптрий, съемка ведется с расстояния 150 м.

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

45. Для каких наибольших частот применим метод Кундта для определения скорости звука, если считать, что наименьшее расстояние между пучностями $l = 4 \text{ мм}$? Скорость звука в воздухе принять равной 340 м/с .

46. Ячейку Керра поместили между двумя скрещенными, под углом 90° , поляризаторами. Конденсатор заполнен нитробензолом и имеет длину 2.5 см, расстояние между обкладками 1 мм. Зная, что постоянная Керра равна $2 \cdot 10^{-8} \text{ м/В}^2$, определить минимальное напряжение при которой свет будет проходить через систему по-

Физические основы получения информации

ляризаторов.

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

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

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

50. С какой скоростью необходимо сближать радиоактивные изотопы ^{120}Sn для наблюдения эффекта Мессбауэра, чтобы компенсировать отдачу, вызываемую γ -квантом с энергией 45 *кэВ*.

51. 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.

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

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

54. Какие линии проявятся на рентгенограмме гранецентрированной кубической решетки с постоянной $a = 2.86 \cdot 10^{-10}$ м, если исследование ведется на кобальтовом излучении с длиной волны $1.789 \cdot 10^{-10}$ м?

55. Какие линии могут проявиться на рентгенограмме кубической решетки *NaCl* с постоянной $a = 5.65 \cdot 10^{-10}$ м, если исследование ведется на длине волны медного излучения с $\lambda = 1.59 \cdot 10^{-10}$ м?

56. Какие линии могут проявиться на рентгенограмме кубической решетки алмаза с постоянной $a = 4.65 \cdot 10^{-10}$ м, если исследование ведется на длине волны медного излучения с $\lambda = 1.59 \cdot 10^{-10}$ м?

57. Какому углу дифракции будет соответствовать на рентгенограмме линия (211) объемноцентрированной 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?

58. Свободный электрон находится в постоянном магнитном

Физические основы получения информации

поле ($B_0 = 1 \text{ Тл}$). Определить частоту ν_0 переменного магнитного поля, при которой происходит резонансное поглощение энергии электроном (g – фактор свободного электрона равен 2).

59. 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 .

60. Свободный протон находится в постоянном магнитном поле ($B_0 = 1 \text{ Тл}$). Определить частоту ν_0 переменного магнитного поля, при которой происходит резонансное поглощение энергии протоном – ядерный магнитный резонанс ($g = 2.27$).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечень вопросов для подготовки к промежуточным аттестациям и зачету
2. В чем заключается основная задача измерений?
3. Что такое истинное значение измеряемой величины?
4. Физический смысл записи конечного результата.
5. Методы теории подобия и размерностей.
6. Единицы измерения и системы единиц.
7. Средства и методы измерений. Различных виды измерений.
8. Определение и классификация средств измерений.
9. Основные функции измерительной системы.
10. Важнейшие функциональные блоки измерительной системы.
11. Блок-схемы средств измерений построенных по схеме прямого преобразования и схеме сравнения.
12. Характеристики средств измерений.
13. Основные типы пассивных преобразователей.
14. Схемы включения пассивных преобразователей.
15. Компенсационные и мостовые схемы включения.
16. Измерение температуры. Реперные точки. Термоэлектрические явления.
17. Гальваномагнитные эффекты.
18. Гистерезисные свойства ферромагнитных материалов.
19. Эффект Баркгаузена. Магнитострикция.
20. Пьезоэлектрические преобразователи. Пьезоэффект: прямой и обратный. Пирроэффект.
21. Классификация методов неразрушающего контроля.
22. Классификация спектроскопии по энергии излучения.

Физические основы получения информации

23. Фотоэлектрические преобразователи.
24. Детекторы частиц и электромагнитного излучения.
25. Электронный парамагнитный и ядерный магнитный резонанс (ЭПР, ЯМР).
26. Мессбауэровская спектроскопия. Применение в науке и технике.
27. Естественные пределы точности измерений. Броуновское движение.
28. Естественные пределы точности измерений. Шумы и помехи окружающей среды.
29. Физические принципы создания современной эталонной базы.
30. Явления сверхпроводимости.
31. Эффект Зеемана.
32. Эффект Джозефсона.
33. Естественные пределы точности измерений. Броуновское движение. Шумы сопротивления.
34. Помехи окружающей среды. Борьба с помехами.
35. Гальваномагнитные эффекты.
36. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).
37. Ядерный магнитный резонанс (ЯМР).
38. Мессбауэровская спектроскопия. Применение в науке и технике.
39. Классификация структурного анализа по типу излучения.
40. Взаимодействие излучения с моно - и поликристаллами, аморфными телами.
41. Изучение структуры вещества методом рентгеноструктурного анализа.
42. Качественный и количественный структурный анализ.
43. Закон Вульфа-Брэгга.
44. Рассеяние электронов в кристаллах.
45. Эффекты квантовой метрологии.

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.