

**Домашнее задание по физике
для студентов II курса IV семестра всех факультетов
(2020)**

Варианты домашнего задания по физике
для студентов II курса IV семестра всех факультетов

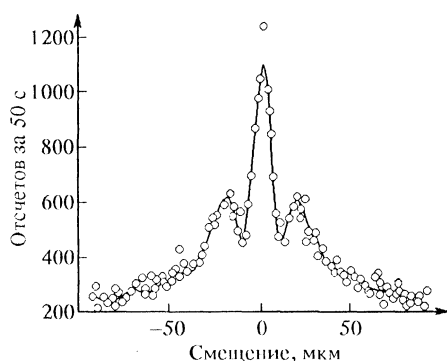
Вариант	Номера задач			
	Модуль 5		Модуль 6	
1	5.1.01	5.2.02	6.1.03	6.2.04
2	5.1.02	5.2.03	6.1.04	6.2.05
3	5.1.03	5.2.04	6.1.05	6.2.06
4	5.1.04	5.2.05	6.1.06	6.2.07
5	5.1.05	5.2.06	6.1.07	6.2.08
6	5.1.06	5.2.07	6.1.08	6.2.09
7	5.1.07	5.2.08	6.1.09	6.2.10
8	5.1.08	5.2.09	6.1.10	6.2.01
9	5.1.09	5.2.10	6.1.01	6.2.02
10	5.1.10	5.2.01	6.1.02	6.2.03
11	5.1.11	5.2.12	6.1.13	6.2.14
12	5.1.12	5.2.13	6.1.14	6.2.15
13	5.1.13	5.2.14	6.1.15	6.2.16
14	5.1.14	5.2.15	6.1.16	6.2.17
15	5.1.15	5.2.16	6.1.17	6.2.18
16	5.1.16	5.2.17	6.1.18	6.2.19
17	5.1.17	5.2.18	6.1.19	6.2.20
18	5.1.18	5.2.19	6.1.20	6.2.01
19	5.1.19	5.2.20	6.1.01	6.2.02
20	5.1.20	5.2.01	6.1.02	6.2.03

При выполнении домашнего задания рекомендуется пользоваться методическими указаниями к решению задач по курсу общей физики: **Л.К. Мартинсон, Е.В. Смирнов**. Разделы: “Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля”, “Уравнение Шредингера. Стационарные задачи квантовой механики”, “Квантовые свойства атомов”, “Измерение физических величин в квантовых системах”, а также методическими указаниями к домашнему заданию по курсу общей физики (раздел “Элементы квантовой механики”). **Константинов М.Ю.** Методические указания к решению задач по курсу общей физики, раздел “Принцип суперпозиции в квантовой механике” – М.: МГТУ, 2009. Эти пособия можно найти на сайте кафедры физики МГТУ.

Домашнее задание по физике

для студентов II курса IV семестра всех факультетов

- 5.1.01. В 1999г. в Венском университете был осуществлен эксперимент по дифракции очень массивных частиц - фуллеренов – молекул углерода C_{60} . Пучок молекул направлялся на



дифракционную решетку с периодом $d = 100$ нм, а затем на расстоянии $l = 1,25$ м от решетки измерялось пространственное распределение прошедших частиц. Как видно из графика, приведенного на рисунке, в опыте кроме прямого пучка наблюдалось еще два симметрично расположенных максимума на расстояниях ± 25 мкм. Какова была скорость фуллеренов в пучке?

- 5.1.02. На какую кинетическую энергию должен быть рассчитан ускоритель заряженных частиц с массой покоя m_0 , чтобы с их помощью можно было исследовать структуры с линейными размерами l ? Решите задачу для электронов и протонов в случае $l = 10^{-18}$ м, что соответствует радиусу слабого взаимодействия.
- 5.1.03. Поток нейтронов проходит через узкие радиальные щели в двух дисках из кадмия, поглощающего нейтроны. Диски насажены на общую ось так, что щели повернуты друг относительно друга на угол α . Диски вращаются с угловой скоростью $\omega = 400$ рад/с, расстояние между ними $L = 1$ м. Найти угол α , если длина волны де Бройля пропускаемых таким устройством нейтронов равна $\lambda = 0,1$ нм.
- 5.1.04. Пучок электронов, ускоренный напряжением $U = 5,0$ кВ, проходит через тонкую поликристаллическую фольгу. На экране, расположенном на расстоянии $L = 0,50$ м от фольги, образуется система концентрических колец, первые из которых имеют диаметры $d_1 = 4,9$ мм, $d_2 = 6,9$ мм, $d_3 = 8,4$ мм, $d_4 = 9,8$ мм, $d_5 = 13,9$ мм, $d_6 = 17,1$ мм, $d_7 = 19,8$ мм. Определите, сколько систем кристаллических плоскостей участвует в образовании этих колец, и их межплоскостные расстояния.
- 5.1.05. Коллимированный пучок электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов $U = 30$ кВ, падает нормально на тонкую поликристаллическую фольгу золота. Постоянная кристаллической решетки золота $d = 0,41$ нм. На фотопластинке, расположенной за фольгой на расстоянии $l = 20$ см от нее, получена дифракционная картина, состоящая из ряда концентрических окружностей. Определите: а) длину волны де Бройля электронов λ ; б) брэгговский угол ϑ_A , соответствующий первой окружности; в) радиус r первой окружности.
- 5.1.06. Протон с длиной волны де Бройля $\lambda = 1,7$ пм упруго рассеялся под углом $\vartheta = 90^\circ$ на первоначально покоившейся α – частице. Определите длину волны де Бройля рассеянного протона.

- 5.1.07. Узкий пучок моноэнергетических электронов падает под углом скольжения $\vartheta = 30^\circ$ на естественную грань монокристалла алюминия. Расстояние между соседними кристаллическими плоскостями, параллельными этой грани монокристалла, $d = 0,20$ нм. При некотором ускоряющем напряжении U_0 наблюдается максимум дифракционного отражения. Найдите U_0 , если известно, что следующий максимум дифракционного отражения от этой же системы плоскостей возникает при увеличении ускоряющего напряжения в $\eta = 2,25$ раза.
- 5.1.08. Получите приближенное выражение для длины волны де Бройля ультрарелятивистской частицы, т.е. такой частицы, кинетическая энергия E которой много больше ее энергии покоя mc^2 . При каких значениях E можно пользоваться этим выражением, чтобы ошибка не превосходила 5%? Вычислить длину волны де Бройля λ для ультрарелятивистских протонов с энергией $E = 76$ ГэВ, ускоряющихся на Серпуховском протонном синхротроне.
- 5.1.09. При дифракции атомов гелия на дифракционной нанорешетке с периодом $d = 200$ нм максимум первого порядка наблюдался под углом $\varphi_1 = 1,7$ рад. В пучке наряду с атомами гелия присутствовали кластеры He_2 (димеры) и He_3 (тримеры), обладавшие той же скоростью, что и атомы гелия. Найдите угловое положение дифракционных максимумов первого порядка φ_2 и φ_3 для этих кластеров.
- 5.1.10. При пропускании пучка нейтронов от ядерного реактора через блок прессованного графита все нейтроны с длинами волн де Бройля короче $\lambda_0 = 0,67$ нм испытывают дифракционное отражение Брэгга-Вульфа. Проходят через блок только медленные, так называемые холодные нейтроны. Определите максимальную температуру, соответствующую самым коротким волнам де Бройля нейтронов, пропускаемых графитом, а также вычислите постоянную d решетки графита.
- 5.1.11. Считая, что минимальная энергия E нуклона (протона или нейтрона) в ядре равна 10 МэВ, оцените, исходя из соотношения неопределенностей, линейные размеры ядра.
- 5.1.12. Исходя из предположения, что заряд атомного ядра равномерно распределен по его объему, покажите, используя соотношение неопределенностей, что электроны не могут входить в состав ядра. Линейные размеры ядра считать равными $5 \cdot 10^{-15}$ м.
- 5.1.13. Используя соотношение неопределенностей энергии и времени, определите среднее время жизни атома в возбужденном состоянии τ , если естественная ширина спектральной линии излучения атома при переходе его из возбужденного состояния в основное $\Delta\lambda = 20$ фм, а длина волны излучения $\lambda = 600$ нм.
- 5.1.14. В некоторый момент времени область локализации электрона составляет $\Delta x_0 = 0,10$ нм. Оцените ширину области локализации электрона спустя время $\tau = 1,0$ с.
- 5.1.15. Оцените с помощью соотношения неопределенностей Гейзенберга неопределенность скорости электрона в атоме водорода, полагая размер атома $a = 10^{-10}$ м. Сравните полученную величину со скоростью электрона на первой боровской орбите.
- 5.1.16. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии составляет величину $\Delta t \sim 10^{-8}$ с. При переходе атома в основное состояние испускается фотон, средняя длина волны которого

равна $\lambda = 500$ нм. Оцените ширину $\Delta\lambda$ и относительную ширину $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ излучаемой спектральной линии, если не происходит ее уширения за счет других процессов. (Такая ширина называется естественной шириной спектральной линии).

- 5.1.17. Длина волны λ излучаемого атомом фотона составляет 0,6 мкм. Принимая время жизни возбужденного состояния $\Delta t = 10^{-8}$ с, определите отношение естественной ширины ΔE возбужденного энергетического уровня к энергии E , излученной атомом.
- 5.1.18. С помощью соотношения неопределенностей оцените минимальную энергию E_1 , которой может обладать частица массы m , находящаяся в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной a .
- 5.1.19. Нейтрон, летящий со скоростью $V = 0,1$ м/с, попадает в щель с абсолютно отражающими стенками, параллельными направлению его движения. Длина щели в этом направлении $l = 0,01$ м, ширина $d = 10^{-6}$ м. Пользуясь соотношением неопределенностей, оцените время, в течение которого нейтрон пройдет через щель.
- 5.1.20. Используя соотношение неопределенностей энергии и времени, определите длину волны излучения λ , если среднее время жизни атома в возбужденном состоянии $\tau = 10^{-8}$ с, а естественная ширина спектральной линии излучения атома при переходе его из возбужденного состояния в основное $\Delta\lambda = 20$ фм.
- 5.2.01. Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найдите массу частицы, если ширина ямы a и разность энергий второго и первого возбужденных состояний равна ΔE .
- 5.2.02. Частица находится в двумерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Координаты x и y частицы лежат в пределах $0 < x < a$, $0 < y < b$, где a и b - стороны ямы. Определите вероятность нахождения частицы с наименьшей энергией в области: а) $0 < x < \frac{a}{4}$ (P_1); б) $0 < y < \frac{b}{4}$ (P_2); в) $0 < x < \frac{a}{4}$, $0 < y < \frac{b}{4}$ (P_3). Убедитесь, что $P_1 \cdot P_2 = P_3$.
- 5.2.03. Частица массой m_0 находится в основном состоянии в двумерной квадратной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найдите энергию частицы, если максимальное значение плотности вероятности местонахождения частицы равно w_m .
- 5.2.04. Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, имеющей ширину a . В каких точках интервала $0 < x < a$ плотность вероятности обнаружения частицы одинакова для основного и второго возбужденного состояний?
- 5.2.05. Частица массой m_0 находится в одномерном потенциальном поле $U(x)$ в стационарном состоянии, описываемом волновой функцией $\psi(x) = A \exp(-\alpha x^2)$,

где A и α - заданные постоянные ($\alpha > 0$). Найдите энергию частицы и вид функции $U(x)$, если $U(0) = 0$.

- 5.2.06. Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найдите отношение вероятностей нахождения частицы в средней трети ямы для первого и второго возбужденных состояний.
- 5.2.07. Частица массы m находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины a с бесконечно высокими стенками. Найдите число dN энергетических уровней в интервале энергий $(E, E + dE)$, если уровни расположены весьма густо.
- 5.2.08. Однократно ионизованную молекулу органического красителя, в которой электрон может двигаться от одного конца цепочки к другому, в некотором приближении можно считать одномерной бесконечно глубокой потенциальной ямой с шириной $a = 0,84$ нм. Цвет красителя в данном случае определяется переходом $4 \rightarrow 3$. Какой цвет имеет краситель?
- 5.2.09. Волновая функция частицы массой m , совершающей одномерное движение в поле с потенциалом $U(x)$, есть:
- $$\psi(x) = \begin{cases} Ax^2 \exp(-x/a), & x > 0, \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$
- Найти $U(x)$ при $x > 0$ и полную энергию частицы E , если известно, что $U(x) \rightarrow 0$ при $x \rightarrow \infty$.
- 5.2.10. Покажите, что среди сферически симметричных решений уравнения Шредингера для водородоподобного атома, конечных при $r = 0$ и обращающихся в нуль при $r \rightarrow \infty$, имеется экспоненциальное решение $\exp(-\alpha r)$. Найдите постоянную α , волновую функцию $\psi(r)$ и энергию атома в рассматриваемом состоянии.
- 5.2.11. Электрон с энергией $E = 4,9$ эВ налетает на прямоугольный потенциальный барьер высотой $U = 5$ эВ. Оцените, при какой ширине барьера d коэффициент прохождения электрона через барьер D будет равен $\eta = 0,2$?
- 5.2.12. Электрон, обладающий энергией $E = 50$ эВ, встречает на своем пути потенциальный порог высотой $U = 20$ эВ. Определите вероятность отражения электрона от этого порога.
- 5.2.13. Микрочастица налетает на прямоугольный потенциальный порог высотой U_0 . Энергия частицы равна E , причем $E > U_0$. Найдите коэффициент отражения R и коэффициент прозрачности D этого барьера. Убедитесь, что значения этих коэффициентов не зависят от направления движения падающей частицы (слева направо или справа налево).
- 5.2.14. Найдите коэффициент прохождения частицы массой m_0 через треугольный потенциальный барьер вида

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ U_0 \left(1 - \frac{x}{d}\right), & 0 < x < d \\ 0, & x > d \end{cases}$$

в зависимости от энергии частицы E при $E < U_0$. Такой вид потенциального барьера соответствует барьеру, преодолеваемому электронами при холодной (полевой) эмиссии из металла.

- 5.2.15. Найдите коэффициент прохождения частицы массой m_0 через потенциальный барьер вида

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ U_0 \left(1 - \frac{x^2}{d^2}\right), & 0 < x < d \\ 0, & x > d \end{cases}$$

в зависимости от энергии частицы E при $E < U_0$.

- 5.2.16. Частица с энергией E налетает на прямоугольный потенциальный порог высотой U_0 .

Найдите приближенное выражение для коэффициента отражения R для случая $\frac{U_0}{E} \ll 1$.

- 5.2.17. Электрон с энергией E движется над прямоугольной потенциальной ямой шириной a и глубиной U_0 . Найдите значения энергии E , при которых электрон будет беспрепятственно проходить над ямой. Убедитесь, что это будет происходить при условии, что ширина ямы a равна целому числу дебройлевских полуволен частицы внутри ямы. Вычислите минимальную энергию электрона E_{min} при $U_0 = 10 \text{ эВ}$ и $a = 0,25 \text{ нм}$.

- 5.2.18. Частица массы m_0 , обладающая энергией E , налетает на прямоугольный потенциальный барьер высотой U_0 и шириной a . Энергия частицы $E > U_0$. Найдите коэффициент “надбарьерного” отражения R и коэффициент прозрачности барьера D для этой частицы.

- 5.2.19. Частица с энергией E налетает на прямоугольный потенциальный порог высотой U_0 ($E > U_0$). Найдите приближенное выражение для коэффициента отражения R для случая $\frac{E - U_0}{U_0} \ll 1$.

- 5.2.20. В 1921г. немецкий физик К. Рамзауэр обнаружил аномальную “прозрачность” атомов криптона для электронов с энергией $E = 0,6 \text{ эВ}$. Этот эффект обусловлен волновыми свойствами электронов. Моделируя поле атома с помощью одномерной прямоугольной потенциальной ямы глубиной $U_0 = 2,5 \text{ эВ}$, оцените радиус атома криптона.

- 6.1.01. Волновая функция основного состояния электрона в атоме водорода имеет вид

$$\psi(r) = A \exp\left(-\frac{r}{a_0}\right), \text{ где } r - \text{расстояние электрона от ядра, } a_0 - \text{радиус первой боровской}$$

орбиты ($a_0 = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/me^2$), m - масса электрона, e - элементарный заряд, A - нормировочная константа. Потенциальная энергия взаимодействия электрона с ядром $U(r) = -e^2/4\pi\epsilon_0 r$. Определите A и среднее значение потенциальной энергии $\langle U \rangle$.

- 6.1.02. Частица находится в двумерной квадратной потенциальной яме с непроницаемыми стенками во втором возбужденном состоянии. Найдите среднее значение квадрата импульса частицы $\langle p^2 \rangle$, если сторона ямы равна a .
- 6.1.03. Частица массой m_0 находится в одномерной потенциальной яме с непроницаемыми стенками во втором возбужденном состоянии. Найдите среднее значение кинетической энергии частицы $\langle E_k \rangle$, если ширина ямы равна a .
- 6.1.04. Рассчитайте $\langle x \rangle$, $\langle x^2 \rangle$, $\langle p \rangle$, $\langle p^2 \rangle$ для уровня n бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной ямы. Выполняется ли в этом случае принцип неопределенности? Для какого уровня результат ближе всего к теоретическому пределу?
- 6.1.05. В некоторый момент времени координатная часть волновой функции частицы, находящейся в одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < a$), имеет вид $\psi(x) = Ax(a-x)$. Найдите среднюю кинетическую энергию частицы в этом состоянии, если масса частицы равна m_0 .
- 6.1.06. Волновая функция, описывающая состояние частицы, имеет вид $\Psi(x,t) = A \exp(-\lambda|x| - i\omega t)$, где A , λ и ω - положительные действительные константы. Определите A , $\langle x \rangle$, $\langle x^2 \rangle$, а также среднее квадратичное отклонение (дисперсию) $\sigma_x = \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}$. При решении обратите внимание на четность подынтегральных функций.
- 6.1.07. В некоторый момент времени координатная часть волновой функции частицы, находящейся в одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < a$), имеет вид $\psi(x) = A \sin^3 \frac{\pi x}{a}$. Найдите вероятность пребывания частицы в основном состоянии.
- 6.1.08. Найдите средние значения кинетической и потенциальной энергий квантового осциллятора с частотой ω_0 в основном состоянии, описываемом волновой функцией $\psi(x) = A \exp\left(-\frac{m_0\omega_0 x^2}{2\hbar}\right)$, где A - некоторая постоянная, а m_0 - масса осциллятора.
- 6.1.09. Докажите, что квадрат момента импульса частицы L^2 может быть одновременно измерим с кинетической энергией частицы E_k .
Указание: Рассмотрите коммутатор операторов \hat{L}^2 и \hat{E}_k .
- 6.1.10. В момент времени $t = 0$ волновая функция частицы в одномерной потенциальной яме шириной a с бесконечно высокими стенками имеет вид
- $$\psi(x) = A \sin \frac{4\pi x}{a} \cos \frac{2\pi x}{a}.$$

Считая, что масса частицы равна m_0 , найдите среднюю кинетическую энергию частицы в данном состоянии. Укажите, суперпозицией каких состояний частицы в потенциальной яме является данное состояние. Найдите волновую функцию $\Psi(x, t)$.

- 6.1.11. В момент времени $t = 0$ волновая функция частицы в одномерной потенциальной яме шириной a с бесконечно высокими стенками имеет вид

$$\psi(x) = A \sin \frac{3\pi x}{a} \cos \frac{2\pi x}{a}.$$

Считая, что масса частицы равна m_0 , найдите среднее значение импульса частицы в данном состоянии. Укажите, суперпозицией каких состояний частицы в потенциальной яме является данное состояние. Найдите волновую функцию $\Psi(x, t)$.

- 6.1.12. Определите среднее значение кинетической энергии $\langle E_{кин} \rangle$ и средней квадратичной скорости электрона $v_{кв}$ в основном состоянии атома водорода.

- 6.1.13. В момент времени $t = 0$ волновая функция частицы в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками имеет вид

$$\psi(x) = A \sin \frac{4\pi x}{2a} \cos \frac{\pi x}{2a}.$$

Считая, что масса частицы равна m_0 , найдите среднюю кинетическую энергию частицы в данном состоянии. Укажите, суперпозицией каких состояний частицы в потенциальной яме является данное состояние. Найдите волновую функцию $\Psi(x, t)$.

- 6.1.14. В момент времени $t = 0$ волновая функция частицы в одномерной потенциальной яме шириной a с непроницаемыми стенками является равновероятной суперпозицией второго и четвертого возбужденных состояний. Считая, что масса частицы равна m_0 , найдите среднее значение импульса частицы в данном состоянии.

- 6.1.15. Найдите среднее значение кинетической и потенциальной энергии квантового гармонического осциллятора с частотой ω_0 , находящегося в первом возбужденном состоянии, описываемом волновой функцией

$$\psi(x) = A x \exp\left(-\frac{m_0 \omega_0 x^2}{2\hbar}\right), \quad -\infty < x < +\infty.$$

Здесь A - некоторая нормировочная постоянная, m_0 - масса частицы.

- 6.1.16. В некоторый момент времени координатная часть волновой функции частицы, находящейся в одномерной потенциальной яме шириной a с бесконечно высокими стенками, имеет вид

$$\psi(x) = A \sin^2 \frac{\pi x}{a}.$$

Найдите вероятность пребывания частицы в первом возбужденном состоянии.

- 6.1.17. В некоторый момент времени координатная часть волновой функции частицы, находящейся в одномерной потенциальной яме шириной a с бесконечно высокими стенками, имеет вид

$$\psi(x) = A \sin^2 \frac{\pi x}{a}.$$

Найдите среднее значение кинетической энергии частицы в этом состоянии.

- 6.1.18. В некоторый момент времени координатная часть волновой функции частицы, находящейся в одномерной потенциальной яме шириной a с бесконечно высокими стенками, имеет вид

$$\psi(x) = A \cdot \left(\sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) + 2 \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) \right)$$

Найдите вероятность пребывания частицы в первом возбужденном состоянии. Укажите, суперпозицией каких состояний частицы в потенциальной яме является данное состояние. Найдите волновую функцию $\Psi(x, t)$.

- 6.1.19. Определите результаты измерения проекции импульса L_z и их вероятности для системы, находящейся в состоянии, описываемом волновой функцией

$$\psi(\varphi) = A(2 + 3\sin 2\varphi),$$

где φ - азимутальный угол.

- 6.1.20. Определите результаты измерения проекции импульса L_z и их вероятности для системы, находящейся в состоянии, описываемом волновой функцией

$$\psi(\varphi) = A(1 + 2\cos\varphi),$$

где φ - азимутальный угол.

- 6.2.01. Оцените минимальную дебройлевскую длину волны свободных электронов в металле при температуре $T = 0$, считая, что металл содержит по одному свободному электрону на атом, а его кристаллическая решетка является простой кубической с периодом a .

- 6.2.02. Чему равна энергия Ферми E_F натрия при температуре $T = 0$, если число свободных электронов, приходящихся на один атом натрия, составляет $\eta = 0,96$? Плотность натрия $\rho = 0,97$ кг/м³.

- 6.2.03. Найдите интервал между соседними энергетическими уровнями свободных электронов в металле при температуре $T = 0$ вблизи уровня Ферми. Считайте, что концентрация свободных электронов $n = 3 \cdot 10^{28}$ м⁻³.

- 6.2.04. Найдите среднюю скорость свободных электронов в рубидии при температуре $T = 0$, если энергия Ферми рубидия $E_F = 1,82$ эВ.

- 6.2.05. Для того, чтобы средняя энергия электронов классического (невырожденного) электронного газа была равна средней энергии свободных электронов в меди при температуре $T = 0$, классический газ электронов нужно нагреть до температуры $T = 3 \cdot 10^4$ К. Найдите энергию Ферми E_F для меди.

- 6.2.06. Найдите энергию Ферми E_F для алюминия при температуре $T = 0$. Считайте, что на каждый атом алюминия приходится $\eta = 3$ свободных электрона, а плотность алюминия

$$\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

- 6.2.07. При какой температуре металла T вероятность найти в нем электрон с энергией E , превосходящей энергию Ферми E_F на $\Delta E = 0,5$ эВ, составляет $P = 0,02$?
- 6.2.08. Найдите при температуре $T = 0$ плотность состояний электронов в серебре $\frac{dn}{dE}$ вблизи уровня Ферми, если энергия Ферми серебра составляет $E_F = 5,5$ эВ.
- 6.2.09. Определите, во сколько раз изменится вероятность заполнения электронами в металле энергетического уровня, расположенного на $\Delta E = 0,1$ эВ выше уровня Ферми, если температуру металла повысить от $T_1 = 300$ К до $T_2 = 400$ К.
- 6.2.10. Найдите положение уровня Ферми и суммарную кинетическую энергию свободных электронов в объеме $\Delta V = 1 \text{ см}^3$ серебра при температуре $T = 0$, полагая, что число свободных электронов равно количеству атомов серебра.
- 6.2.11. Получите выражение для постоянной Холла R_H в примесном полупроводнике, в котором концентрации электронов и дырок равны, соответственно, n и p , а их подвижности – μ_n и μ_p . При каком соотношении между этими величинами эффект Холла будет отсутствовать?
- 6.2.12. Тонкая металлическая лента шириной d и толщиной a помещена в однородное магнитное поле с индукцией B , перпендикулярное плоскости ленты. По ленте пропускают ток I . Найдите разность потенциалов, возникающую между краями ленты (на расстоянии d), если концентрация свободных электронов в металле равна n .
- 6.2.13. По металлической трубе с внутренним и внешним радиусами, равными, соответственно, R_1 и R_2 , течет равномерно распределенный ток I . Определите разность потенциалов, установившуюся между внутренней и наружной поверхностями трубы. Концентрация свободных электронов в металле равна n .
- 6.2.14. Температурный коэффициент сопротивления $\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$ чистого беспримесного германия при комнатной температуре равен $\alpha = -0,05 \text{ K}^{-1}$. Найдите красную границу фотопроводимости λ_K для этого полупроводника при низких температурах.
- 6.2.15. Собственный полупроводник с шириной запрещенной зоны $\Delta E_g = 0,67$ эВ находится при температуре $T_1 = 300 \text{ K}$. До какой температуры T_2 нужно нагреть полупроводник, чтобы его проводимость увеличилась в $\eta = 2$ раза?
- 6.2.16. Удельное сопротивление некоторого чистого беспримесного полупроводника при комнатной температуре $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. После включения источника света оно стало $\rho_1 = 40 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, а через $t = 8$ мс после выключения источника света удельное

сопротивление оказалось $\rho_2 = 45$ Ом·см. Найдите среднее время жизни электронов проводимости и дырок.

- 6.2.17. Ширина запрещенной зоны полупроводника $\Delta E_g = 1,0$ эВ. Какова вероятность нахождения электрона вблизи дна зоны проводимости при температуре $T = 300$ К? Увеличится ли эта вероятность, если на полупроводник действует электромагнитное излучение с длиной волны $\lambda_1 = 1$ мкм; $\lambda_2 = 2$ мкм?
- 6.2.18. Удельное сопротивление чистого кремния при комнатной температуре равно $\rho = 1000$ Ом·м, ширина запрещенной зоны $\Delta E_g = 1,12$ эВ. Предполагая, что эффективные плотности состояний и подвижности электронов и дырок не зависят от температуры, найдите величину удельного сопротивления кремния при температуре $T = 320$ К.
- 6.2.19. Определите ток через образец кремния, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда с размерами $a \times b \times c = 50 \times 5 \times 1$ мм³, если вдоль образца приложено напряжение $U = 10$ В. Известно, что концентрация электронов в полупроводнике $n = 10^{21}$ м⁻³, а их подвижность $\mu_n = 0,14$ м²/(В·с).
- 6.2.20. Найдите отношение полного тока через полупроводник к току, обусловленному только дырочной составляющей: а) в собственном германии; б) в германии p -типа с удельным сопротивлением $\rho = 0,05$ Ом·м. Принять собственную концентрацию носителей заряда при комнатной температуре $n_n = n_p = 2,1 \cdot 10^{19}$ м⁻³, подвижность электронов $\mu_n = 0,39$ м²/(В·с), подвижность дырок $\mu_p = 0,19$ м²/(В·с).