Домашнее задание по физике
для студентов II курса IV семестра всех факультетов

(2012)

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

Вариант	Номера задач			
	Модуль 5		Модуль 6	
1	5.1.01	5.2.01	6.1.01	6.2.01
2	5.1.02	5.2.02	6.1.02	6.2.02
3	5.1.03	5.2.03	6.1.03	6.2.03
4	5.1.04	5.2.04	6.1.04	6.2.04
5	5.1.05	5.2.05	6.1.05	6.2.05
6	5.1.06	5.2.06	6.1.06	6.2.06
7	5.1.07	5.2.07	6.1.07	6.2.07
8	5.1.08	5.2.08	6.1.08	6.2.08
9	5.1.09	5.2.09	6.1.09	6.2.09
10	5.1.10	5.2.10	6.1.10	6.2.10
11	5.1.11	5.2.11	6.1.11	6.2.11
12	5.1.12	5.2.12	6.1.12	6.2.12
13	5.1.13	5.2.13	6.1.13	6.2.13
14	5.1.14	5.2.14	6.1.14	6.2.14
15	5.1.15	5.2.15	6.1.15	6.2.15
16	5.1.16	5.2.16	6.1.16	6.2.16
17	5.1.17	5.2.17	6.1.17	6.2.17
18	5.1.18	5.2.18	6.1.18	6.2.18
19	5.1.19	5.2.19	6.1.19	6.2.19
20	5.1.20	5.2.20	6.1.20	6.2.20

При выполнении домашнего задания рекомендуется пользоваться методическими указаниями к решению задач по курсу общей физики. Авторы: Л.К. Мартинсон, Е.В. Смирнов. Разделы: «Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля», «Уравнение Шредингера. Стационарные задачи квантовой механики», «Измерение физических величин в квантовых системах», а также методическими указаниями к домашнему заданию по курсу общей физики (раздел «Элементы квантовой механики»). Эти пособия можно найти на сайте кафедры физики МГТУ.

5.1.01. Американский физик Р. Хофштадтер наблюдал дифракцию электронов с энергией E = 750 МэВ на ядрах ^{40}Ca. Согласно волновой теории, при дифракции волны на сфере радиуса R минимумы интенсивности наблюдаются при углах дифракции θ, определяемых выражением $sin\theta = m \cdot 0{,}61 \cdot \frac{\lambda}{R}$, где m - целое число, а λ - длина волны. В данном опыте дифракционному минимуму для m = 3 отвечал угол дифракции θ = 48°. Считая, что ядро имеет сферическую форму, найдите радиус ядра ^{40}Ca.

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 ω = 400 рад/с, расстояние между ними L = 1 м. Найти угол α, если длина волны де Бройля пропускаемых таким устройством нейтронов равна λ = 0,1 нм..

5.1.04. Условие Брэгга-Вульфа с учетом преломления электронных волн в кристалле имеет вид $2d\sqrt{n_e^2 - cos^2\theta} = k\lambda$, где d - межплоскостное расстояние, n_e - показатель преломления, θ - угол скольжения, k - порядок отражения. Найдите с помощью этого условия угол θ, если пучок электронов, ускоренный разностью потенциалов U = 85 В, образует максимум 2-го порядка при брэгговском отражении от кристаллических плоскостей с d = 0,204 нм. Внутренний потенциал монокристалла серебра φ = 15 В.

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 $\theta_Б$, соответствующий первой окружности; в) радиус r первой окружности

5.1.06. Покажите, что в атоме водорода и водородоподобных атомах на круговой стационарной боровской орбите укладывается целое число длин волн де Бройля электрона. Определите длину волны де Бройля электрона на круговой орбите с главным квантовым числом n.

5.1.07. Узкий пучок электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов U , падает нормально на поверхность некоторого монокристалла. Под углом θ = 55° к нормали к поверхности кристалла наблюдается максимум отражения электронов первого порядка. Определите U, если расстояние между отражающими атомными плоскостями кристалла составляет d = 0,2 нм.

5.1.08. Найти дебройлевскую длину волны молекул водорода, соответствующую их наиболее вероятной скорости при комнатной температуре.

5.1.09. Частица массой m и зарядом q, имеющая дебройлевскую длину волны λ_0 влетает в пространство между обкладками плоского конденсатора параллельно им. Разность потенциалов между обкладками U, расстояние между ними d, длина пластин l. Найдите дебройлевскую длину волны частицы λ_1 после прохождения через конденсатор.

5.1.10. При пропускании пучка нейтронов от ядерного реактора через блок прессованного графита все нейтроны с длинами волн де Бройля короче λ_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 $5\cdot10^{-15}$ 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 λ = 600 нм.

5.1.14. Покажите с помощью отношения неопределенностей, что для движущейся частицы, неопределенность координаты которой равна длине волны де Бройля, неопределенность скорости равна по порядку величины самой скорости частицы.

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 λ = 500 нм. Оцените ширину $\Delta\lambda$ и относительную ширину $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda}$ 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 m, 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

$$\psi(x) = A \cdot exp\left(-\alpha \cdot x^2\right),$$

где A и α - заданные постоянные (α>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 с бесконечно высокими стенками. Найдите число dN энергетических уровней в интервале энергий (E, $E+dE$), если уровни расположены весьма густо.

5.2.08. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найдите ширину ямы, если минимальное энергетическое расстояние между уровнями электрона в яме равно тепловой энергии kT при комнатной температуре.

5.2.09. Частица массы m локализована в трехмерной сферически симметричной потенциальной яме радиуса a с непроницаемыми стенками. Для состояния, в котором волновая функция частицы зависит только от r, максимальное значение плотности вероятности местонахождения частицы равно P_m. Найдите радиус ямы r и энергию частицы E в данном состоянии.

<u>Указание:</u> Волновую функцию частицы следует искать в виде $\psi(r) = \frac{u(r)}{r}$.

5.2.10. Электрон находится в трехмерной сферически симметричной потенциальной яме с непроницаемыми стенками. Найдите радиус ямы a, если для сферически симметричного состояния электрона значение минимальной энергии равно E_0.

<u>Указание:</u> Волновую функцию частицы следует искать в виде $\psi(r) = \frac{u(r)}{r}$.

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 будет равен D = 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

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

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

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

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 $\dfrac{U_0}{E} \ll 1$.

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 полуволн частицы внутри ямы. Вычислите минимальную энергию электрона E_{min} при U_0 = 10 эВ и a = 0,25 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 $\dfrac{E-U_0}{U_0} \ll 1$.

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

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

$$\psi(r) = A \cdot exp\left(-\frac{r}{a}\right),$$

где r - расстояние электрона от ядра, a - радиус первой боровской орбиты. Определите среднее значение квадрата расстояния $< r^2 >$ электрона от ядра в этом состоянии.

6.1.02. Частица находится в двумерной квадратной потенциальной яме с непроницаемыми стенками во втором возбужденном состоянии. Найдите среднее значение квадрата импульса частицы $< p^2 >$, 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 $< E_K >$, если ширина ямы равна a.

6.1.04. Покажите, что в состоянии ψ, в котором оператор $\hat{L}_z$ имеет определенное собственное значение, средние значения $< L_x >$ и $< L_y >$ равны нулю.

<u>Указание</u>: воспользуйтесь коммутационными соотношениями для операторов $\hat{L}_x$, $\hat{L}_y$ и $\hat{L}_z$.

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 $\psi(x) = A \cdot x \cdot (a - x)$. Найдите среднюю кинетическую энергию частицы в этом состоянии, если масса частицы равна m_0.

6.1.06. В некоторый момент времени частица находится в состоянии, описываемом волновой функцией, координатная часть которой имеет вид

$$\psi(x) = A \cdot exp\left(-\frac{x^2}{a^2} + ikx\right),$$

где A и a - некоторые постоянные, а k - заданный параметр, имеющий размерность обратной длины. Найдите для данного состояния средние значения координаты $< x >$ и проекции импульса частицы $< p_x >$.

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

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

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

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

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 $< E_{КИН} >$ и средней квадратической 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

$$\psi(x) = A \cdot sin\left(\frac{5\pi x}{2a}\right) cos\left(\frac{\pi x}{2a}\right).$$

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

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

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

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

$$\psi(x) = A \cdot sin^3\left(\frac{\pi x}{a}\right).$$

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

$$\psi(x) = A \cdot sin^3\left(\frac{\pi x}{a}\right).$$

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

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

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

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

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

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

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/м^3.

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 $\rho = 2{,}7 \cdot 10^3$ 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 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 $\Delta V = 1$ 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 $\alpha = -0{,}5$ К$^{-1}$. 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 $T_1 = 300$ К. 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 $\rho = 50$ Ом·см. После включения источника света оно стало $\rho_1 = 40$ Ом·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 заполнения электроном 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; $\lambda_2 =$ 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 $a \times b \times c = 50 \times 5 \times 1$ мм, если вдоль образца приложено напряжение $U = 10$ В. Известно, что концентрация электронов в полупроводнике $n = 10^{21}$ м$^{-3}$, а их подвижность $\mu_n = 0{,}14$ м^2/(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 $\mu_n = 0{,}39$ м^2/(В·с), подвижность дырок $\mu_p = 0{,}14$ м^2/(В·с).