Омский государственный технический университет

Кафедра «Физика»

Индивидуальные задания по дисциплине «Теория твердого тела»

для магистрантов по направлению подготовки 28.04.02. - Наноинженерия

Омск – 2016

Тема №1. Строение твердых тел. Элементы кристаллографии.

1.1Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой и гранецентрированной структурой?

Ответ 1; 4

1.2 Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой гексагональной структурой?

Ответ 1

1.3 Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку базоцентрированной решетки ромбической сингонии?

Ответ 2

1.4 Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку гексогональной структуры с плотной упаковкой.

Ответ 2

1.5 Определить число элементарных ячеек в единице обьема кристалла хлористого цезия (решетка обьемно центрированная кубической сингонии).

Ответ $1.44*10^{28}$ $м^{-3}$

1.6 Определить число элементарных ячеек в единице обьема кристалла меди (решетка гранецентрированная кубической сингонии)

Ответ $2.1*10^{28} м^{-3}$

1.7 Определить число элементарных ячеек в единице обьема кристаллакобальта, имеющего гексоганальную структуру с плотной упаковкой.

Ответ $4ю54*10^{-28} м^3$

1.8Найти плотность кристалла неоеа при 20К, если известно, что решетка гранецентрированная кубической сингонии. Постояннкая решетки при тойже температуре а=0,452нм.

Ответ $1,46*10^3 кг/м^3$

1.9 Определить относительную атомную массу кристалла, если известно, что растояние между ближайшими соседними атомами r=0,304 нм.

Решетка обьемно центрированная кубической сингонии. Плотность кристалла $\rho=534$ кг/м^3

Ответ 0,95а.е.м.

1.10 Найти постоянную а решетки и расстояние d между ближайшими соседними атомами решетки кристалла алюсиния(решетка гранецентрированая кубической сингонии).

Ответ 4,04 А; 2,86 А.

1.11 Найти постоянную а решетки и расстояние d между ближайшими соседними атомами решетки кристалла вольфрама (Решетка гранецентрированная кубическойй сингонии)

Ответ 3,16 А; 2,74 А.

1.12 Используя метод упаковки шаров, найти отношение параметров С К А в гексагональной решетке с плотнейшей упаковкой.

Ответ 1,63

1.13 Кристалл кадмия имеет плотнойпакованную гексагональную структуру с постоянными а=2,97 А и с=5,61 А. Вычислить плотность кадмия.

Ответ 8,65*10^3 кг/м^3

1.14 Определить постоянную кристалической решетки ванадия, имеющего структуру обьемно центрированного куба.

Ответ 3,03 А.

1.15 Вычислить постоянную а решетки кристалла берилия, который представляет гексогональную структуру с плотной упаковкой. Параметр решетки с=0,359нм. Плотность кристалла берилия 1,62*10^3 кг/м^3

Ответ 2,3А.

1.16 Вычислить обьем, элементарной ячейки в кристалле гексагональной системы с постоянными а и с.

Ответ $\frac{\sqrt{3}}{2}a^2c$

1.17 Вычислить плотность кристалла бромистого калия, имеющую простую кубическую структуру с пстоянной а=6,59А.

Ответ $2,74*10^3$ кг/м^3

1.18 α-железо имеет кубическую обьемно центрированную структуру (a=2,36A), γ-железо – кубическую структуру с центрированными гранями(a=3,53 A). Как изменится плотность железа при переходе из α в γ модификацию?

Ответ увеличится на 4%

1.19 Коэфициентом компактности называется отношение обьема, занимаего соприкосающимеся шарами, центры которых находятся в узлах решетки. Вычислить компактности простой и обьемноцентрированнойкубической решеток.

Ответ 0,52; 0,68

1.20 На грань каменной оси падает паарлельный пучок рентгеновских лучей (λ=1,47A). Определить расстояние между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда лучи падают под углом $\varphi=31^0 30'$ к поверхности кристалла.

Ответ 2,8A

1.21 Какова длина волны монохромотических рентгеновских лучей, падающих на кристалл кальцита, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается, когда угол между направлением падающих лучей и гранью кристалла $\theta=3^0$? Принять, что расстояние между атомными плоскостями еристалла α=3A.

Ответ 0,31A

1.22 Узкий пучок рентгеновских лучей падает под углом скольжения 60^0 на естественную грань монокристала NaCl, плотность которого $2,16*10^3$ кг/м^3. При зеркальном отражении от этой грани образуется максимум второго порядка. Определить длину волны излучения.

Ответ 2,44A

1.23 Написать индексы направления прямой, проходящей через два узла с кристолаграфическими индкесами $[[\overline{1}2\overline{1}]]$и $[[\overline{2}0\overline{1}]]$.

Ответ $[\overline{1}2\overline{2}]$или$[1\overline{2}\overline{2}]$

1.24 Вычислить период идентичности вдоль прямой [111] в решетке кристалла NaCl, если плотность кристалла равна 2,16*10^3 кг/$м^3$.

Ответ 9,75А

1.25 Плоскость проходит через узлы $[[\bar{1}00]]$, $[[0\bar{1}0]]$, $[[00\bar{1}]]$ кубической решетки. Написать индексы Миллера для этой плоскости.

Ответ (111)

1.26 Сиситема плоскостей в примитивной кубической решетке задана индексами Миллера (221). Найти наименьшие отрезки отрезки, отсекаемые плоскостью на осях координат.

Ответ отрезки, отсекаемые на осях x,y,z, соответственно равны 1;1;2.

1.27 Направление нормали к некоторой плоскости в кубической решетке задано индексами [110]. Написать индексы Миллера для этой плоскости и указать наименьшие отрезкуи, отсекаемые плоскостью на осях.

Ответ (110); отрезки на осях 1,1, inf.

1.28 Написать индексы Миллера для плоскостей, содержащих узлы с кристаллографическими индексами $[[1\bar{1}1]]$, $[[010]]$, $[[\bar{1}\bar{1}1]]$. Найти так же отрезки, отсекаемые этими плоскостями на осях координат.

Ответ (012); отрезки на осях inf, 2, 1

1.29 Система плоскостей примитивной кубической решетки задана индексами (111). Определить расстояние между соседними плоскостями. Если параметр a=3A

Ответ 1,73 А

1.30 Определить параметр a примитивной кубической решетки, если межплоскостное расстояние α для системы плоскостей, заданных имндексами Миллера (212) при рентгеноструктурном измерении оказалось равным 0,12нм.

Ответ 3,6А.

Тема №2 Тепловые свойства тел.

2.1 Удельная теплоемкость алюминия при 20 ^{0}C равна 840 Дж/(кг*К). Выполняется ли при этой температуре для него закой Дюлонга и Пти?

Ответ Нет

2.2 На нагревании металлического предмета массой 100г от 20 до 50 ^{0}C затрачено 8300 Дж. Определить, из какого металла изготовлен предмет, если указаныйинтервал температур выше характеристической температуры.

Ответ берилий.

2.3 Определить изменение вутренней энергии кристалла Никеля при нагревании его от 0 до 200 ^{0}C. Масса кристалла 20г.

Ответ 1,70 кДж

2.4 Определить энергию и теплоемкость системы, состоящей из $N=10^{25}$ класических трехмерных независимых гармонических осциляторов. Температура 300К.

Ответ 124 кДж; 414 Дж/К.

2.5.1 Определить среднюю энерги. $\langle\varepsilon\rangle$ линейного одномерного квантового осцилятора при температуре $T=\theta_E$ (θ_E=200K)

2.5.2 Определить энергию Е системы, состоящей из $N=10^{25}$ квантовых трехмерных независимых осциляторов при температуре $T=\theta_E$ (θ_E=300K)

Ответ $2,99*10^{-21}$ Дж

2.6 Используя квантовую теорию теплоемкости Эйнштейна, вычислить изменение ΔU внутренней энергии одного килоатома кристалла при нагревании его на ΔT=2K от температуры $T=1/2\ \theta_E$.

Ответ 36 кДж

2.7 Вычислить по теории Эйншьейна нулевую энергию, которой обладает один килоатом кристалла цинка. Характеристическая температура равна 230К.

Ответ 2,87 МДж

2.8 Вычислить по теории Дэбая нулевую энергию килоатома кристалла меди. Характеристическая температура для меди равна 320К.

Ответ 2,99 МДж.

2.9 Определить максимальную частоту собственный колебаний в кристалле золота по теории Дебая. Характеристическая температура золота равна 180К.

Ответ 3,76 ТГц.

2.10 Пользуясь теорией теплопроводности Дэбая, определить изменение внутреней энергии одного килоатома кристалла при нагревании от нуля до $T=0,1\theta_Д$. Характеристическая температуру Дебая принять для данного кристалла равной 300К. Считать $T<<\theta_Д$.

Ответ 14,6 кДж.

2.11 Используя квантовую теорию теплопроводности Дебая, вычислить изменения внутренней энергии одного килоатома кристалла при нагревании на $\Delta T=2$ К от температуры $T=1/2\ \theta_Д$.

Ответ $\Delta U=2,49R\Delta T=41.4$ кДж.

2.12 Какова удельная теплоемкость цинка при 100 ^{0}C.

Ответ 0,385 Дж

2.13 Вычислить удельную теплоемкость алмаза при температуре 30 К.

Ответ 0,54 Дж/(кг*К)

2.14 Килоатомная теплоемкость одномерного кристалла выражается формулой

$$C = 3K[2(\frac{T}{\theta_D})\int_0^{\theta_D/T}\frac{xdx}{e^x-1} - \frac{\theta_D/T}{e^{\theta_D/T}-1}]$$

Найти предельное выражение килоатомной теплоемкости кристалла при низких температурах ($T<<\theta_D$)

Ответ $C = \pi^2 R(T/\theta_D)$

2.15 Показать, что молярная теплоемкость кристалла при температуре $T<<\theta_D$, где θ_D- характеристическая температура Дебая, определяется выражением

$$C = (12/5)\pi^4 R(T/\theta_D)^3$$

<u>Указание</u>. Иметь в виду, что $\int_0^\infty \frac{x^3dx}{e^x-1} = \frac{\pi^4}{15}$.

2.16 Найти энергию фотона, соответствующего граничной частоте Дебая ($\omega_{мак}$), если характеристическая температура Дебая $\theta_D = 250К$.

Ответ 3,45*10^{-21} Дж

2.17 Длина волны λ фотона, соответствующего частоте $\omega=0{,}01\omega_{мак}$, равна 52 нм. Пренебрегая дисперсией звуковых волн, определить характеристическую температуру Дебая θ_D, если удельное значение скорости звука в кристалле $\langle\upsilon\rangle=4{,}8$км/ч.

Ответ 443К

2.18 Характеристическая температура Дебая для вольфрама$\theta_D = 310К$. Определить длину волны фотонов, соответствующих частоте $\nu =0{,}1\ \nu_{мак}$. Усредненное значение скорости звука в вольфраме вычислить, дисперсией волн в кристалле пренебречь.

Ответ 4.8 нм.

2.19 Определить скорость звука в кристалле, характеристическая температура которого $\theta_D = 300К$, а межатомное расстояние равно 2,5А.

Ответ 3,13 км/с.

2.20 Вычислить минимальную длину волны Дебая в титане, если его характеристическая температура 278К, а скорость распространения звука в нем = 6*10^3м/с.

Ответ 10,2А.

2.21 Какова максимальная энергия фотонов в кристалле свинца, если его характеристическая температура равна 94К?

Ответ 8,2-10^{-2}эВ.

2.22 Вычислить среднюю длину свободного пробега в кварце при комнатной температуре, если при той же температуре коэффициент теплопроводности λ=13Вт/(м*К), киломольная теплоёмкость C_μ = 44 кДж/(кмоль*К) и усредненное значение скорости звука $\langle\upsilon\rangle$=5 км/с. Плотность кварца равна 2,65*10^3 кг/м^3.

Ответ 4 нм.

2.23 Найти отношение средней длины <l> свободного пробега фотонов к параметру «а» решетки при комнатной температуре в кристалле NaCl, если коэффициент теплопроводности при той же температуре 71 Вт/(м*К). Плотность кристалл 2170 кг/м^3, скорость звука 5 км/с.

Ответ 4.1

2.24 Найти коэффициент объёмного расширения β для анизотропного кристалла, коэффициент линейного расширения которого по трем взаимно перпендикулярным направлениям α_1=1,25*10^{-5}К$^{-1}$, α_2=1,1*10^{-5}К$^{-1}$, α_3=1,15*10^{-5}К$^{-1}$.

Ответ 3,40*10^{-5} К$^{-1}$.

2.25 Вычислить максимальную силу, возвращающая атом твердого тела в положение равновесия, если коэффициент гармоничности β=50 Н/м, а коэффициент ангармоничности γ=500 Гпа(500ГН/м^2).

Ответ 1,25нН.

2.26 Каково максимальное изменение потенциальной энергии атомов в кристаллической решетке твердого тела при гармонических колебаниях, если амплитуда тепловых колебаний составляет 5% среднего межатомного расстояния. Среднее расстояние между атомами r_0 принять равным 0,3 нм, модуль Юнга Е= 100 ГПа.

Ответ 3,4+10^{-21} Дж

2.27 Определить коэффициент гармоничности β в уравнении колебаний частиц твердого тела, если равновесное расстояние между частицами r_0 0.3 нм, модуль Юнга Е= 200ГПа.

Ответ 540 ГПа.

Тема №3 Статистика электронов. Электрические свойства металлов и полупроводников.

3.1 Металлический проводник движется с ускорением 100м/с^2. Используя модель свободных электронов, определить напряженность электрического поля в проводнике.

Ответ 568 пВ/м.

3.2 Металлический стержень двигается вдоль своей оси со скоростью υ=200 м/с. Определить величину заряда, который протекает через гальванометр, подключенный к концам стержня при резком его торможении, если длина стержня 10м, а сопротивление всей цепи (включая цепь гальванометра) 0,01м.

Ответ 1,14мкКл

3.3 Удельная проводимость метала 10Мом/м. Вычислить среднюю длину свободного пробега электронов в металле, если концентрация свободных электронов n=10^{28} м$^{-3}$; а средняя скорость хаотического движения равна 1Мм/м

Ответ 71 нм

3.4 Исходя из модели свободных электронов, определить число соударений Z, которые испытывает электрон в единицу времени, находясь в металле, если концентрация электронов 10^{29}м$^{-3}$, удельная проводимость 10Мом/м

Ответ 1.4*10^{14}с$^{-1}$.

3.5 Определить объёмную плотность тепловой мощности ω в металлической проводнике, если плотность тока 10 А/мм^2, напряженность электрического поля в проводнике 1 мВ/м

Ответ 10 кВт/м^3

3.6 При какой концентрации свободных электронов в кристалле температура вырождения электронного газа в нем равна 0 ^{0}С.

Ответ 1,86*10^{25}м^3.

3.7 Определить температуру $T_{кр}$ вырождения для калия, если принять, что на каждый атом приходится по одному свободному электрону. Плотность калия 860 кг/м^3.

Ответ 31.2 кК

3.8 Вычислить энергию Ферми при Т=0 К для алюминия. Считать, что на каждый атом алюминия приходится три свободных электрона.

Ответ 12 эВ.

3.9 Определить концентрацию свободных электронов в металле при абсолютном нуле. Энергию Ферми принять равной 1 эВ.

Ответ $4,57*10^{27}$м$^{-3}$.

3.10 Определить отношение концентрации свободных электронов при Т=0 в литии и цезии если известно, что уровень Ферми в этих металлах соответственно равен 4,72 эВ и 1,53 эВ.

Ответ 5,41

3.11 Определить число свободных электронов, которое приходится на один атом натрия при абсолютном нуле. Уровень Ферми для натрия 3,12 эВ, плотность равна 970 кг/м^3.

Ответ 0,9 I/атм.

3.12 Во сколько раз число свободных электронов, приходящихся на один атом металла при Т=0, больше в алюминии, чем в меди, если уровни Ферми соответственно равны 11,7 эВ, 7 эВ.

Ответ в три раза

3.13 Определить вероятность того, что электрон в металле займет энергетическое состояние, находящееся в интервале ΔЕ=0,05 эВ ниже уровня Ферми и выше уровня Ферми в двух случаях:

1) температура металла равна 290К

2) температура металла равна 58К

Ответ 1) При Т=290К вероятность нахождения электрона ниже уровня Ферми равна 0, 893 и выше – 0, 119; 2) При Т=58К вероятность нахождения электрона ниже уровня Ферми равна -0,999955 и выше – $4,5*10^{-5}$.

3.14 Какова вероятность заполнения электронами в металле энергетического уровня, расположенного на 0,01 эВ ниже уровня Ферми, при температуре 18 ^{0}С.

Ответ 0,6

3.15 Как и во сколько раз изменится вероятность заполнения электронами энергетического уровня в металле, если уровень расположен на 0,01 эВ ниже уровня Ферми и температура изменяется от 200 до 300 К

Ответ уменьшится приблизительно в 1.14 раза

3.16Вычислить суммарную кинетическую энергию электронов проводимости в 1 см^3 цезия при 0К.

Ответ 1280 Дж

3.17 Показать, что в металле при Т=0К а) средняя арифметическая скорость электронов проводимости $\upsilon=0,75\upsilon_{мак}$; б) средняя квадратичная скорость $\upsilon_{кв}=0,7775\upsilon_{мак}$.

3.18 Определить максимальную и среднюю квадратичную скорость свободных электронов кальция при Т=0К. Считать, что на каждый атом кальция приходится два свободных электрона.

Ответ $1,2*10^6$ м/с; $0,92*10^6$м/с.

3.19 Определить, какая часть электронов проводимости в металле при Т=0К имеет кинетическую энергию, большую 0,5 E_F.

Ответ 0,65

3.20 Вычислить среднее значение кинетической энергии электронов в металле при абсолютном нуле, если уровень Ферми равен 7 эВ

Ответ $<E>=3/5E_F=4.2$ эВ.

3.21 Металл находится при абсолютном нуле. Определить, во сколько раз число электронов с кинетической энергией от $E_F/2$ до E_F больше числа электронов с энергией от нуля до $E_F/2$.

Ответ в 1,83 раза.

3.22 Собственный полупроводник(германий) имеет при некоторой температуре удельное сопротивление 0,480 Ом*мм. Определить концентрацию n носителей тока, если подвижность электронов 0,36 м^2/(В*с) и дырок 0,16 м^2/(В*с)

Ответ $2,5*10^{19}$ м$^{-3}$

3.23 Определить вероятность заполнения электронами зоны проводимости полупроводника, если известно, что уровень Ферми на середине запрещенной зоны и для электронов в зоне проводимости можно пользоваться распределением Больцмана вместо распределения Ферми (Ширена запрещённой зоны ΔЕ>>кТ)

Ответ $F(E) \cong e^{-\Delta E/(2KT)}$.

3.24 Найти температурную зависимость удельного сопротивления от собственной проводимости при ΔЕ>>кТ.

Ответ $\rho = \rho_{\infty}\exp(\Delta E/2KT)$.

3.25 Для полупроводника, обладающего собственной проводимостью, измерены сопротивления R_1 и R_2 при температура T_1 и T_2 соответственно ($T_1>T_2$). Найти ширину запрещенной зоны

Ответ $\Delta E = 2K\frac{T_1T_2}{T_1-T_2}ln\frac{R_1}{R_2}$.

3.26 Полупроводник в виде тонкой пластины шириной 1 см и длиной 10 см помещен в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости пластины. К концам пластины (по направлению длины) приложено постоянное напряжение 300В. Определить холловскую разность потенциалов на гранях пластины, если постоянная Холла R_x =0,1 $м^3$/Кл, удельное сопротивление 0,5 Ом*м

Ответ 1.2 В.

3.27 Тонкая пластина из кремния ширеной 2 см помещена перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля (0,5 Тл). При плотности тока, направленного вдоль пластины, j=2 $мкА/мм^2$ холловская разность потенциалов оказалась 2,6В. Определить концентрацию носителей тока

Ответ $5{,}25*10^{16} м^{-3}$.

Варианты задачи для самостоятельного решения									
№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задачи	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24	25	26	27