

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Факультет Инновационных технологий

Кафедра управления инновациями

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ СТУДЕНТАМИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ПОДГОТОВКИ  
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

по дисциплине  
ОСНОВЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

составлены кафедрой управления инновациями для студентов, обучающихся  
по направлению подготовки 27.03.05 «Инноватика»

Форма обучения очная

Составитель  
Ст. преподаватель кафедры управления инновациями

О.В. Килина  
«01» ноября 2018 г.

Томск 2018

**Оглавление**

Введение	3
Виды самостоятельной работы студентов	4
Содержание разделов и тем лекционного курса	5
Задания для практических занятий	5
Тестовые вопросы	9
Контрольные вопросы для подготовки к зачету	11
Учебно-методическое обеспечение дисциплины	12

## Введение

Дисциплина «Основы физики твердого тела» относится к факультативной и может быть выбрана студентом по желанию. Целью изучения дисциплины является: научить студентов формировать физические представления об основных понятиях и идеях физики твердого тела и методах решения задач, а так же обобщать и использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования.

К основным задачам дисциплины относят формирование физических представлений об основных понятиях и идеях физики твердого тела для применения этих знаний при работе в различных областях науки и техники.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенции *ПК-9* способностью использовать когнитивный подход и воспринимать (обобщать) научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

–*знать* основные физические величины, их определение, смысл, способы и единицы измерения, основные характеристики и параметры кристаллических твердых тел; виды волн, распространяющихся в кристаллах; контактные явления на границе кристаллических веществ

–*уметь* воспринимать и обобщать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт разработок физики твердого тела.

–*владеть* различными методиками физических измерений и обработки экспериментальных данных.

Самостоятельная работа студентов является неотъемлемым элементом изучения дисциплины «Основы физики твердого тела».

Самостоятельная работа предполагает изучение теоретического материала по актуальным вопросам дисциплины. Рекомендуется самостоятельное изучение доступной учебной и научной литературы, а так же нормативно-технических документов.

Самостоятельно изученные теоретические материалы обсуждаются на практических занятиях и входят в контрольные вопросы для получения зачета по дисциплине.

В процессе самостоятельной работы студенты:

- осваивают материал, предложенный им на лекциях с привлечением указанной преподавателем литературы,
- готовятся к практическим занятиям в соответствии с индивидуальными и/или групповыми заданиями,
- ведут подготовку к промежуточной аттестации и к зачету по данному курсу.

Целями самостоятельной работы студентов являются:

- формирование навыков самостоятельной образовательной деятельности;
- выявления и устранения студентами пробелов в знаниях, необходимых для изучения данного курса;
- осознания роли и места изучаемой дисциплины в образовательной программе, по которой обучаются студенты.

### **Общие требования**

Самостоятельная работа студентов должна быть обеспечена необходимыми учебными и методическими материалами:

- основной и дополнительной литературой,

- демонстрационными материалами, представленными во время лекционных занятий,
- методическими указаниями по проведению практических работ,
- перечнем вопросов, выносимых на зачет.

### **Виды самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении данной дисциплины предполагает следующие виды работ, их трудоемкость в часах и формы контроля, представленные в Таблица 1

№п/п	Наименование работы	Форма контроля
1.	Проработка лекционного материала	Конспект самоподготовки
2.	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	Домашнее задание
3.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	Опрос на занятиях

#### ***Проработка лекционного материала***

Лекционный материал наряду с рекомендуемой литературой является основой для освоения дисциплины. Составной частью самостоятельной работы по лекционному курсу является непосредственная работа на лекциях – ведение конспектов. Самостоятельная проработка материала прочитанных лекций предполагает изучение конспектов лекций, а также материалов лекций по источникам, приведенным в списке основной и дополнительной учебной литературы.

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них.

#### ***Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса***

1. Структура энергетических зон кристаллов IV группы и AIII BV
2. Топологически защищенные состояния
3. Метод псевдопотенциала.
4. Теория функционала электронной плотности.
5. Современные проблемы в физике сплошных сред

#### ***Подготовка к практическим занятиям, семинарам***

При подготовке к практическим занятиям, семинарам необходимо пользоваться методическими указаниями по проведению практических занятий по данной дисциплине.

В ходе подготовки необходимо:

1. Выполнить домашнее задание, полученное на предыдущем занятии. Если предыдущее занятие было пропущено, выяснить домашнее задание у старосты группы.
2. Познакомиться с темой следующего практического занятия.
3. Прочитать рекомендованные разделы учебного пособия или повторить материалы соответствующей лекции.

## Содержание разделов и тем лекционного курса

### *Раздел 1 Геометрия кристаллической решетки.*

Простые и сложные кристаллические решетки. Элементы теории групп и симметрия кристаллов. Применение теории групп к трансляционной симметрии кристалла. Правило отбора.

### *Раздел 2 Колебания атомов кристаллической решетки.*

Природа сил взаимодействия атомов в кристалле. Квантовые колебания. Фотоны. Плотность состояний.

### *Раздел 3 Зонная теория электронных состояний в кристалле.*

Адиабатическое приближение. Электрон в периодическом поле. Зона Бриллюэна. Теория функционала электронной плотности

### *Раздел 4 Электрические, оптические, тепловые и магнитные свойства твердых тел.*

Металлы, диэлектрики, полупроводники. Статистика электронов и дырок. Теплоемкость электронов. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости в металлах и полупроводниках. Циклоторонный резонанс

### *Раздел 5 Кинетические процессы в кристаллах.*

Уравнение Больцмана. Электрон-фотонное взаимодействие. Теория деформационного потенциала. Электропроводность.

### *Раздел 6 Современные проблемы в физике сплошных сред.*

Полупроводниковые наноструктуры. Размерное квантование. Квантовый эффект Холла.

## Задания для практических занятий

### Тема 2 Колебания атомов кристаллической решетки

**Задание 1.** Определить число  $n$  узлов, приходящихся на одну элементарную ячейку в гранецентрированной кубической решетке.

**Задание 2.** Определить параметр  $a$  решетки и расстояние  $d$  между ближайшими соседними атомами кристалла кальция (решетка гранецентрированная кубической сингонии). Плотность  $\rho$  кристалла кальция равна  $1,55 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

**Задание 3.** Написать индексы направления прямой, проходящей через узлы  $[[100]]$  и  $[[001]]$  кубической примитивной решетки.

**Задание 4.** Написать индексы Миллера для плоскости, содержащей узлы с индексами  $[[200]]$ ,  $[[010]]$  и  $[[001]]$ . Решетка кубическая, примитивная.

**Задание 5.** ОЦК решетка состоит из атомов одного сорта, имеющих радиусы  $R$ . Пусть атомы, расположенные по диагонали куба, касаются друг друга. Определить плотность упаковки этой структуры

**Задание 6.** Доказать, что кристаллическая решетка может обладать поворотными осями симметрии 2,3,4 и 6 порядков.

**Задание 7.** Показать, что решетка обратная к обратной, совпадает с прямой решеткой.

**Задание 8.** Определить плотность упаковки ПК, ОЦК, ГЦК и ГПУ решеток и решетки типа алмаза, считая атомы равновеликими шарами, касающимися друг друга.

**Задание 9.** Показать для случая простой кубической решетки, что формула Вульфа–Брэгга является следствием условий Лауэ

**Задание 10.** В моноклинной решетке с параметрами:  $a = 12$ ,  $85^\circ \text{A}$ ,  $b = 8$ ,  $07^\circ \text{A}$ ,  $c = 9$ ,

$31^\circ\text{A}$ ,  $\alpha = 93^\circ 8'$  определить угол наклона к плоскости (102) прямой, проходящей через начало координат и точку с координатами (1, 0, 0).

### Тема 3 Зонная теория электронных состояний в кристалле.

**Задание 1.** Для классического линейного осциллятора найти среднее значение по времени (за период) квадрата смещения, квадрата импульса, полной энергии и отношение потенциальной энергии к кинетической.

**Задание 2.** Записать функцию Гамильтона для линейной цепочки гармонически взаимодействующих атомов в обобщенных координатах и в нормальных координатах. Убедиться, что в последнем случае энергия цепочки совпадает с энергией невзаимодействующих осцилляторов.

**Задание 3.** В модели сильной связи в одномерном случае найти спектр поляронов, если атомы-узлы решетки совершают гармонические колебания. Считать, что: а) атомы нейтральны, б) атомы положительно заряжены.

**Задание 4.** Экситон Ванье-Мотта представляет собой пару электрон-дырка, взаимодействующих друг с другом по закону Кулона, причем роль атомов решетки сводится к созданию однородного диэлектрического фона, ослабляющего кулоновское притяжение в  $\epsilon$  раз. Определить в такой модели энергетический спектр экситонов.

**Задание 5.** В молекулярном кристалле предполагается, что каждая молекула может находиться в основном или в возбужденном состояниях, а возбуждение может передаваться от одной молекулы к другой за счет обменного взаимодействия. В приближении Гайтлера-Лондона, учитывая только одно возбужденное внутримолекулярное состояние, найти энергетический спектр коллективных состояний, которые называются экситонами Френкеля.

**Задание 6.** Распространение возбуждения в одномерном кристалле или полимерной цепочке может быть описано на основе модели газа паулионов с взаимодействием только между ближайшими соседями. Показать, что в этой модели экситоны образуют газ свободных безспиновых фермионов.

**Задание 7.** Пусть в узлах одномерной цепочки помещены электроны, которые занимают состояние с энергией  $-W_0$ . Обозначим интеграл перескока между соседними узлами  $U_0$ , расстояние между соседними узлами —  $a$ . Найти спектр носителей тока в рамках этой модели, называемой моделью сильной связи.

**Задание 8.** Определить спектр электрона в периодическом потенциале на основе модели Кронига-Пенни.

**Задание 9.** При съемке дебаеграммы серебра при температурах 18 и  $630^\circ\text{C}$  дифракционная линия наблюдается при углах  $80^\circ 9'$  и  $76^\circ 54'$  соответственно. Вычислить коэффициент термического расширения серебра.

**Задание 10.** Оценить величину коэффициента диффузии радиоактивного натрия в обычной натрии при комнатной температуре, если высота потенциального барьера, который надо преодолеть атому, чтобы перейти в новое положение равновесия, равна 0,5 эВ (частота колебаний атома около положения равновесия 1012 Гц).

### Тема 4 Электрические, оптические, тепловые и магнитные свойства твердых тел

**Задание 1.** Найти фазовую и групповую скорости распространения упругой волны в модели двухатомной цепочки как функции волнового числа.

**Задание 2.** Найти теплоемкость в модели двухатомной цепочки в различных предельных случаях: (а)  $m_1 \geq m_2$ ; (б)  $m_1 \rightarrow \infty$ ,  $m_2$  — конечна; (в) низкие температуры.

**Задание 3.** При  $T \rightarrow 0$  найти зависимость теплоемкости от температуры, если закон дисперсии для квазичастиц имеет вид  $\omega(q) = \omega_0 + Aq^n$ . Найти выражение для теплоемкости D-мерного кристалла в рамках модели Дебая.

**Задание 4.** Оценить среднюю скорость звука в алмазе (а) и празеодиме (б). Температура Дебая алмаза равна 1860 К, а постоянная решетки составляет  $3,57 \text{ \AA}$ . Празеодим имеет ГПУ структуру с параметрами решетки  $a = 3,67 \text{ \AA}$  и  $c = 5,92 \text{ \AA}$ , а температура Дебая для него составляет 74 К.

**Задание 5.** Определить поправку к величине теплового расширения цепочки ангармонических осцилляторов в первом порядке по константе ангармонизма. Потенциальная энергия взаимодействия соседних атомов дается выражением:

$$U(x) = cx^2 - gx^3$$

**Задание 6.** В гармоническом приближении для кристаллической решетки найти соотношение между коэффициентом жесткости и массой атома, при котором нулевые колебания вызывают среднеквадратичное отклонение от положения равновесия, равное межатомному расстоянию. (Такое твердое тело даже при температуре  $T = 0 \text{ К}$  остается в «жидком состоянии» и называется квантовым кристаллом.)

**Задание 7.** Имеется система из  $N$  атомов, которые могут находиться только в двух энергетических состояниях, отличающихся энергией  $\Delta E$ . Определить теплоемкость такой системы.

**Задание 8.** Найти вклад магновнов в теплоемкость при низких температурах для одноосного анизотропного: (а) ферромагнетика, (б) антиферромагнетика.

**Задание 9.** В приближении свободных электронов найти максимальную энергию электронов в натрии при  $T = 0 \text{ К}$ .

**Задание 10.** Каковы вероятности того, что при комнатной температуре электрон в металле займет состояние, расположенное на  $0,1 \text{ эВ}$  выше (а) и ниже (б) уровня Ферми?

**Задание 11.** Вычислить химический потенциал и внутреннюю энергию идеального ферми-газа частиц с точностью до членов порядка  $T^4$ .

**Задание 12.** Построить зависимость эффективной массы от волнового числа (или квазиимпульса) для первой зоны Бриллюэна в модели Кронига-Пенни.

**Задание 13.** В медном проводнике с площадью поперечного сечения  $0,2 \text{ см}^2$  идет ток  $1 \text{ А}$ . Определить среднюю дрейфовую скорость электронов. Сравнить ее с их средней тепловой скоростью, если энергия Ферми равна  $7 \text{ эВ}$ .

**Задание 14.** Определить время релаксации  $\tau$ , среднюю длину свободного пробега  $l$  и дрейфовую  $v_d$  скорость электрона в электрическом поле  $E = 100 \text{ В/м}$  для натрия, если его теплопроводность  $k$  равна  $150 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$ .

**Задание 15.** Пусть образец металла содержит  $N$  атомов, химический потенциал системы электронов равен  $\mu$ , энергетическая зона, содержащая  $2N$  электронных состояний с энергиями  $\epsilon_i$  занята  $2N - M$  электронами. Показать, что электроны дают такой же вклад в термодинамические характеристики этого металла, как и электронный газ с энергетическими уровнями  $-\epsilon_i$  и химическим потенциалом  $-\mu$ .

**Задание 16.** При учете спина электрона каждому донорному уровню следует поставить в соответствие два электронных состояния, но кулоновское отталкивание препятствует одновременному заполнению уровня двумя электронами. Определить магнитную восприимчивость системы электронов на донорных уровнях.

**Задание 17.** Имеется система из  $N$  атомов, которые могут находиться только в двух энергетических состояниях, отличающихся энергией  $\Delta E$ . Определить теплоемкость такой системы.

**Задание 18.** Определить линейную поляризуемость двухуровневой системы для частот, близких к резонансной.

**Задание 19.** Оценить частоту оптических фононов в алмазе, если интенсивность антистоксовой компоненты рамановского рассеяния изменяется в  $\alpha = 600$  раз при уменьшении температуры от  $300 \text{ К}$  до  $150 \text{ К}$ .

**Задание 20.** Определить длину волны излучения, при которой становятся прозрачными металлы, например (а) медь, (б) натрий.

**Задание 21.** Найти температуру Нееля для антиферромагнетика с двумя эквивалентными подрешетками, константой молекулярного взаимодействия равной  $10^3$ ,

обменным взаимодействием величиной  $-0,5 \cdot 10^3$  и постоянной Кюри  $10^{-2}$  К.

**Задание 22.** Для системы  $N$  не взаимодействующих частиц со спином  $S = 1/2$  во внешнем магнитном поле  $H$  найти свободную энергию, теплоемкость на одну частицу и намагниченность при температуре  $T$ .

**Задание 23.** В условиях предыдущей задачи найти флуктуацию магнитного момента

**Задание 24.** Магнитный момент атома гадолиния равен  $7,95 \mu\text{В}$ . Определить удельную намагниченность насыщения кристалла гадолиния, если он обладает решеткой типа ГЦК с периодом  $3,2 \text{ \AA}$ .

**Задание 25.** Для наблюдения эффекта Фарадея была взята пластинка железа толщиной  $15 \text{ мкм}$ . Эффект измерялся в магнитном поле  $H = 10^3 \text{ Э}$  на длине волны  $656 \text{ мкм}$ . Определить угол поворота плоскости поляризации.

**Задание 26.** В рамках модели Ландау–Лифшица найти скорость движения доменной стенки во внешнем магнитном поле, направленном вдоль оси легкого намагничивания.

**Задание 27.** Найти закон дисперсии спиновых волн в ферромагнетике: изотропном (а), одноосном (б).

**Задание 28.** Определить при  $T = 0$  зависимость намагниченности от внешнего поля  $H$  в случаях: изотропного ферромагнетика (а), одноосного ферромагнетика (б).

**Задание 29.** Для одномерного анизотропного (анизотропия типа легкой оси) ферромагнетика Гейзенберга найти уединенную спиновую волну и определить энергию, необходимую для ее возбуждения.

**Задание 30.** В рамках модели уравнения  $\sin$ -Гордона описать процесс столкновения двух  $180^\circ$ -доменных стенок.

## Тема 5 Кинетические процессы в кристаллах.

**Задание 1.** Найти энергию колебаний решетки твердого тела, считая ее набором  $3N$  невзаимодействующих осцилляторов (а) квантовых, (б) классических.

**Задание 2.** Найти спектр колебаний линейной цепочки атомов, взаимодействующих по гармоническому закону.

**Задание 3.** Найти дисперсионное соотношение для волны поляризации в ионном кристалле, возникающей под действием внешнего электромагнитного поля.

**Задание 4.** Определить закон дисперсии упругих волн в кубическом кристалле, распространяющихся в плоскости грани куба.

**Задание 5.** Оценить величину плазменной частоты, приняв концентрацию электронов равной  $n_e = 10^{23} \text{ см}^{-3}$ .

**Задание 6.** Найти дисперсионное соотношение для спиновой волны в ферромагнетике и спектр магнонов в изотропной модели Гейзенберга и сравнить эти результаты.

**Задание 7.** Твердость стали по Бринелю равна  $450 \text{ кг/мм}^2$ . Определить диаметр отпечатка, если испытание проводилось шариком диаметром  $5 \text{ мм}$  при нагрузке  $750 \text{ кг}$ .

**Задание 8.** Определить спектр электрона в периодическом потенциале на основе модели Кронига-Пенни.

**Задание 9.** Записать функцию Гамильтона для линейной цепочки гармонически взаимодействующих атомов в обобщенных координатах и в нормальных координатах. Убедиться, что в последнем случае энергия цепочки совпадает с энергией невзаимодействующих осцилляторов.

**Задание 10.** Определить закон дисперсии упругих поверхностных волн (волн Рэлея).

## Тема 6 Современные проблемы в физике сплошных сред.

**Задание 1.** Каким ситуациям в модели бинарного сплава отвечают: а) ферромагнетик Изинга; б) антиферромагнетик Изинга?

**Задание 2.** В приближении Бете найти критическую температуру перехода порядок-



беспорядок в модели бинарного сплава типа  $A_yB_{1-y}$ .

**Задание 3.** Используя связь модели бинарного сплава типа АВ с моделью Изинга, найти в приближении Кирквуда температуру перехода порядокбеспорядок.

**Задание 4.** При переходе титаната бария из кубической в тетрагональную фазу изменение объема элементарной ячейки составляет  $0,062 \text{ \AA}^3$ , а теплота фазового перехода равна 50 кал/моль. Чему равно изменение температуры Кюри под действием гидростатического давления величиной 1000 атм?

**Задание 5.** В приближении среднего поля найти намагниченность  $M(T, H)$  как функцию температуры  $T$  и внешнего магнитного поля  $H$  для модели Изинга на  $d$ -мерной (гиперкубической) решетке.

**Задание 6.** Проверить гипотезу подобия (скейлинг) для одномерной и  $d$ -мерной модели Изинга, рассмотренной в приближении среднего поля.

**Задание 7.** Найти температурное поведение свободной энергии и намагниченности при ненулевом внешнем магнитном поле в модели плоских ротаторов.

**Задание 8.** Найти средний магнитный момент системы  $N$  невзаимодействующих частиц со спином  $S$  в магнитном поле  $H$  как функцию температуры  $T$ .

**Задание 9.** Используя связь модели бинарного сплава типа АВ с моделью Изинга, найти в приближении Кирквуда температуру перехода порядокбеспорядок.

**Задание 10.** Во сколько раз изменится вероятность испускания  $\gamma$ -квантов без отдачи, если температура кристалла увеличится в 10 раз? Рассмотреть модель Дебая для кристаллической решетки.

### Тестовые вопросы

1. В кристаллах возможны оси симметрии:

- любых порядков
- 1, 2, 3, 4, 6 порядков
- 2,3,4,5,6 порядков
- 6, 7, и т.д. порядков

2. Сколько кристаллических систем (сингоний) существует в геометрической кристаллографии?

- 14
- 3
- 7
- 6

3. В каком методе рентгеноструктурного анализа используется немонахроматический пучок рентгеновского излучения?

- метод вращающегося кристалла
- метод Дебая –Шеррера
- метод Лауэ
- метод Эвальда

4. Какая связь является универсальной, т.е. присущей всем твердым телам?

- металлическая
- ионная
- ковалентная
- молекулярная связь (Ван-дер-Ваальса)

5. Энергетический спектр электронов в кристаллах имеет вид:

- непрерывный

- линейчатый
- зонный
- смешанный

6. Уровень Ферми в полупроводниках вблизи абсолютного нуля расположен:

- в валентной зоне
- в зоне проводимости
- в запрещенной зоне
- в запрещенной зоне вблизи потолка валентной зоны;

7. Какой статистике подчиняются электроны в сверхпроводнике?

- Больцмана;
- Бозе – Эйнштейна;
- Ферми-Дирака;
- Максвелла.

8. В полупроводнике с донорной примесью локальный примесный уровень энергии электронов расположен:

- в запрещенной зоне вблизи дна зоны проводимости;
- в запрещенной зоне вблизи потолка валентной зоны;
- в валентной зоне;
- в зоне проводимости.

9. Какая квантовая теория теплоемкости твердого тела наиболее точно согласуется с экспериментом?

- теория Эйнштейна;
- теория Дебая;
- фононная теория;
- теория Борна.

10. Какой статистике подчиняется электронный газ в металлах?:

- Больцмана;
- Максвелла;
- Бозе - Эйнштейна;
- Ферми- Дирака.

11. Почему свободные электроны в металлах не вносят вклад в теплоемкость при комнатных температурах?

- т.к. они остаются «вырожденными» вплоть до температур плавления;
- т.к. «экранируются» кристаллической решеткой;
- т.к. подчиняются принципу Паули;
- т.к. повышение температуры оказывает влияние только на электроны, находящиеся вблизи уровня Ферми.

12. Частицы в молекулярных кристаллах удерживаются:

- кулоновским взаимодействием
- силами Ван-дер-Ваальса;
- электрическим диполь-дипольным взаимодействием;
- магнитными взаимодействиями.

13. Какая связь (связи) из перечисленных носит насыщенный и направленный характер?

- металлическая;
- водородная;

- ионная;
- ковалентная.

14. Какой основной тип связи, как правило, осуществляется в полупроводниках?

- ионный;
- ковалентный;
- металлический;
- водородный.

15. Сверхпроводник в сверхпроводящем состоянии является:

- парамагнетиком;
- ферромагнетиком;
- диамагнетиком;
- сегнетоэлектриком.

16. Переход проводника в сверхпроводящее состояние:

- это фазовый переход I рода;
- это фазовый переход II рода;
- сопровождается скачком свободной энергии;
- сопровождается скачком теплоемкости.

17. Где используется эффект Зеебека?

- для измерения давления и температуры;
- для создания термопары;
- для измерения температуры;
- для генерации электрического тока.

18. Внешняя контактная разность потенциалов обусловлена:

- различием работ выхода;
- разностью уровней Ферми;
- поверхностными явлениями;
- эффектом Зеебека.

19. Какой диаметр должен иметь стальной трос подъемного крана, если максимальная масса поднимаемого груза 10 т? Предел прочности 850 МПа, запас прочности должен быть равным 6.

- 2 см
- 5 см
- 4 см
- 6 см

20. Медная проволока натянута горячей при температуре 150 °С между двумя прочными неподвижными стенками. При какой температуре, остывая, разорвется проволока? Считать, что закон Гука справедлив вплоть до разрыва стержня.

- 30 °С
- 5 °С
- 20 °С
- 40 °С

### **Контрольные вопросы для подготовки к зачету**

1. Простые и сложные кристаллические решетки.
2. Элементы теории групп и симметрия кристаллов.

3. Применение теории групп к трансляционной симметрии кристалла. Правило отбора.
4. Природа сил взаимодействия атомов в кристалле.
5. Квантовые колебания. Фотоны. Плотность состояний.
6. Адиабатическое приближение. Электрон в периодическом поле.
7. Зона Бриллюэна. Теория функционала электронной плотности
8. Металлы, диэлектрики, полупроводники. Статистика электронов и дырок.
9. Теплоемкость электронов.
10. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости в металлах и полупроводниках.
11. Уравнение Больцмана. Электрон-фотонное взаимодействие.
12. Теория деформационного потенциала. Электропроводность.
13. Полупроводниковые наноструктуры.
14. Размерное квантование.
15. Квантовый эффект Холла.
16. Циклоторонный резонанс

### **Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

#### **Основная литература**

1. Савельев И.В. Курс общей физики: учебное пособие для вузов: В 3 т. Т. 1: Механика. Молекулярная физика. – 7-е изд., стереотип. – СПб.: Лань, 2007.– 432 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 155 экз.)
2. Савельев И.В. Курс общей физики: учебное пособие для вузов: В 3 т. Т. 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твёрдого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – 7-е изд., стереотип. – СПб.: Лань, 2007.– 317 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 151 экз.)

#### **Дополнительная литература**

1. Чертов А.Г., Воробьёв А.А. Задачник по физике: Учебное пособие для вузов. – 8-е изд., перераб. и доп.– М.: Физматлит, 2007. – 640 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 99 экз.)