

Белорусский национальный технический университет

Факультет информационных технологий и робототехники

Кафедра «Техническая физика»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой
Хорунжий И.А.



26. 03. 2020 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета
Авсиевич А.М.



26. 03. 2020 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**ФИЗИКА. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В СПЛАВАХ И
ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ**

для специальностей

1-36 02 01 «Машины и технологии литейного производства» и
1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка
(по направлениям)»

Составители: Канашевич Т.Н., Князев М.А. , Сатиков И.А., Шумская М.О.

Рассмотрено и утверждено
на заседании совета факультета информационных технологий и
робототехники 26.03.2020 г.
протокол № 8

Перечень материалов

Теоретический раздел

- тематический конспект лекций

Практический раздел

- примеры решения задач

Контроль знаний

- контрольные вопросы;
- задачи для самостоятельного решения

Вспомогательный раздел

- учебная программа;
- рекомендуемая литература;

Пояснительная записка

Цели данного ЭУМК – повышение эффективности организации учебного процесса с использованием дистанционных технологий; представление возможности студентам заниматься самообразованием, пользуясь комплектом учебно-методических материалов по курсу «Физика».

Данный ЭУМК составлен с применением мотивационно-прикладного компонента методической системы, назначением которого является формирование у обучающегося устойчивой мотивации к получению профессиональных знаний и самореализации в будущем по выбранной специальности металлургического профиля.

Мотивационный компонент цели изучения раздела «Фазовые переходы в сплавах и твердых растворах» курса физики для студентов специальностей металлургического профиля – формирование понимания значимости основных понятий о процессах в технологии металлургического производства и их свойств. Обоснования возможности использования знаний об основных свойствах фаз и закономерностях перехода между ними для прогнозирования состава сплавов и твердых растворов, а также обеспечения возможности решения реальных проблемных производственных ситуаций в металлургии с помощью полученных предметных знаний.

ЭУМК содержит четыре раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный раздел. В теоретическом разделе представлен лекционный материал в соответствии с основными разделами и учебной программы. Практический раздел включает примеры решения задач. Раздел контроля знаний включает контрольные вопросы, а также задания для самостоятельного решения. Вспомогательный раздел содержит основные разделы учебной программы дисциплины, список рекомендуемой литературы.

Материалы учебно-методического комплекса представлены в формате *docx*. Учебные материалы структурированы по разделам.

Открытие ЭУМК производится посредством запуска файла *ЭУМК Физика.docx*.

Оглавление

1.ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.1. Плавление и кристаллизация	5
1.2. Диаграмма состояний.	8
1.3. Полиморфизм.....	12
1.4. Сплавы.....	15
1.5. Твердые растворы.	19
1.6. Правило фаз.	24
1.7. Диаграммы состояний трехкомпонентных сплавов.	26
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	29
2.1 Примеры решения задач.	29
3.КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ	
3.1. Контрольные вопросы	
3.2. Задачи для самостоятельного решения.....	38
4.ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	50
4.1. Учебная программа.....	
4.2. Рекомендуемая литература.....	

1.ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие составлено с применением мотивационно-прикладного компонента методической системы, назначением которого является формирование у обучающегося устойчивой мотивации к получению профессиональных знаний и самореализации в будущем по выбранной специальности металлургического профиля. [10]

Мотивационный компонент цели изучения раздела «Фазовые переходы в сплавах и твердых растворах» курса физики для студентов специальностей металлургического профиля – формирование понимания значимости основных понятий о процессах в технологии металлургического производства и их свойств. Обоснования возможности использования знаний об основных свойствах фаз и закономерностях перехода между ними для прогнозирования состава сплавов и твердых растворов, а также обеспечения возможности решения реальных проблемных производственных ситуаций в металлургии с помощью полученных предметных знаний.

Областью применения полученных в разделе знаний и навыков является технология и машины металлургического производства, технологии обработки металлов.

Примерами конкретных производственных ситуаций для решения которых необходимы знания об изучаемых явлениях являются:

1. Инженеру (мастеру) металлургического профиля необходимо определить возможность закаливания сплава заданного состава на основе приведенной в справочнике диаграммы состояния указанной многокомпонентной системы (задача №8 практического раздела).

2. Инженеру (мастеру) литейного цеха необходимо внести изменения в технологию изготовления отливок с использованием земляных форм с целью улучшения механических свойств отливок за счет обеспечения перехода от крупнозернистой структуры к мелкозернистой (задача №8 для самостоятельного решения).

3. Инженеру (мастеру) необходимо определить структуру металла при заданных степенях переохлаждения по известным из справочника кривым влияния степени переохлаждения на число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов (задача №9 для самостоятельного решения).

4. Технологию литейного цеха необходимо определить, возможна ли кристаллизация двухкомпонентного сплава при постоянной температуре и что для этого необходимо (задача №10 для самостоятельного решения).

5. Технологию литейного цеха необходимо определить количество жидкой фазы у сплава заданного состава по известной из справочника диаграмме состояния сплава (задача № 12 для самостоятельной работы).

6. Технологию необходимо определить возможность закаливания стали заданного состава по известной из справочника диаграмме состояний (задача №15 для самостоятельной работы).

В комплект практико-ориентированных заданий входят задания (задачи) №8 практического раздела, №8, 9, 10, 12, 15 для самостоятельной работы.

В набор заданий творческого характера входят задачи №3, 6, 7 практического раздела, требующие прочного усвоения теоретического материала раздела.

1.1 Плавление и кристаллизация

В рамках термодинамического подхода фазой называется совокупность однородных частей какой-либо системы, характеризующихся одинаковыми свойствами. Например, вода и плавающий в ней лед образуют систему, состоящую из двух фаз. Известны вещества, кристаллические модификации которых представляют различные фазы. Так, алмаз и графит являются разными твердыми фазами углерода. Процесс превращения одной фазы системы в другую называется фазовым переходом. Для таких переходов характерной особенностью является скачкообразность изменения состояния системы. Примерами фазовых переходов являются изменения агрегатного состояния вещества, под которыми принято понимать их твердое, жидкое и газообразное состояния. Твердое и жидкое состояния называют конденсированными. Если вещество переходит из твердого состояния в газообразное, то такой переход называют испарением. Обратный переход называют конденсацией. Переход из твердого состояния в газообразное называют сублимацией (возгонкой). Переход из твердого состояния в жидкое называют плавлением, а обратный переход перекристаллизацией (затвердеванием).

Различные фазы одного и того же вещества могут соприкасаться друг с другом и при этом находиться в равновесии. Такое равновесие имеет место только в определенном диапазоне температур и каждому значению температуры T , при котором существует равновесие, соответствует некоторое значение давления p . Одновременное равновесия более, чем трех фаз одного вещества, невозможно. Три фазы одного и того же вещества могут находиться в равновесии только при одном значении давления и температуры, которым на диаграмме (p , T) соответствует так называемая тройная точка. Если равновесие состояния двух фаз на диаграмме (p , T)

представляется линией, то тройная точка соответствует точке пересечения взятых попарно кривых равновесия фаз. Если при фазовом переходе происходит выделение или поглощение некоторого количества тепла (так называется теплота перехода), то такой переход называется фазовым переходом первого рода. Существуют также фазовые переходы второго рода. Они происходят между различными кристаллическими модификациями вещества и характеризуются отсутствием теплоты перехода. Кроме того, переход в сверхпроводящее состояние без воздействия внешнего магнитного поля и переход между двумя фазами жидкого гелия He-I и He-II также является фазовым переходом второго рода.

При нагревании твердого тела его температура растет и происходит увеличение как кинетической, так и потенциальной энергии атомов (или молекул), составляющих это тело. При этом возрастает амплитуда колебаний атомов. Атомы удаляются друг от друга на большие расстояния и сближаются на меньшие расстояния. В результате энергия взаимодействия электрических зарядов возрастает. Дальнейшее увеличение температуры вызывает столь значительное увеличение амплитуды колебаний атомов, что в определенный момент начинается разрушение кристаллической решетки. Дальний порядок расположения атомов исчезает, решетка разрушается. Происходит процесс плавления кристалла. Данный процесс носит изотермический характер. Пока происходит плавление, температура не меняется, потому что все поступающее тепло расходуется на распад кристаллической решетки. Теплота, необходимая для перехода кристаллического твердого тела в жидкое состояние, называется теплотой плавления. После завершения плавления, образуется жидкая фаза и при дальнейшем нагревании её температура повышается.

Для аморфных тел при равномерном нагревании температура тела непрерывно возрастает и определенной температуры перехода в

жидкую фазу нет. Плавление происходит непрерывно. Можно только определить интервал температур, в пределах которого происходит размягчение аморфного тела.

Если в определенный момент прекратить нагревать жидкость, которая образовалась при плавлении кристаллического тела, то её температура начнет понижаться и по достижении некоторого значения начнется процесс обратный плавлению, - процесс кристаллизации. Этот процесс начинается при такой температуре жидкости, когда жидкая и твердая фазы могут находиться в равновесии при данном давлении. Данный процесс сопровождается выделением так называемой теплоты кристаллизации, которая равна теплоте плавления. В процессе кристаллизации, пока формируется кристаллическая решетка, температура не меняется. По завершении кристаллизации тело начинает охлаждаться.

Кристаллизация в определенной мере подобна конденсации. Она происходит в двухфазной среде плавления, в которой уже существуют зародыши (центры кристаллизации) твердой фазы в виде мельчайших кристалликов. Разрастаясь, эти зародыши образуют поликристаллическое твердое тело.

Если же жидкая фаза вещества не содержит зародышей новой фазы, то жидкость можно охладить ниже температуры кристаллизации. При этом такое состояние является метастабильным и в нем не образуются кристаллики твердой фазы. Однако, если жидкую фазу сильно переохладить, то произойдет спонтанное образование зародышей, и жидкость начнет кристаллизироваться.

Возможна ситуация, в которой даже при большом переохлаждении молекулы жидкой фазы оказываются столь малоподвижны, что метастабильное состояние сохранится очень долго. В таких случаях жидкая фаза имеет малую текучесть и фактически представляет собой аморфное твердое тело.

Качественная картина плавления и кристаллизации вещества представлена на рис. 1.

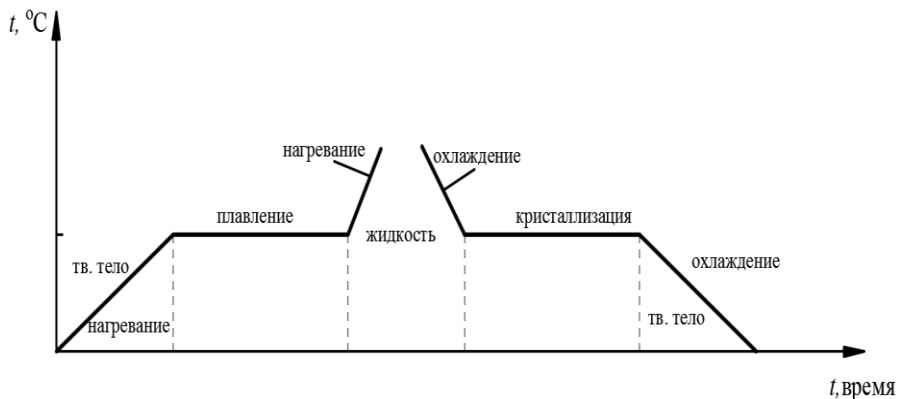


Рис. 1. Диаграмма плавления и кристаллизации

1.2. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЙ.

Состояния вещества и фазовые переходы в нем описываются при помощи диаграмм состояний. Эти диаграммы строятся в координатах p , T и описывают зависимость между температурой фазового перехода и давлением в виде кривых испарения (КИ), плавления (КП) и сублимации (КС), которые разделяют пространство диаграммы на три области. Эти области соответствуют условиям существования различных фаз вещества: твердой (ТТ), жидкой (Ж) и газообразной (Г). Пример такой диаграммы приведен на рис. 2.

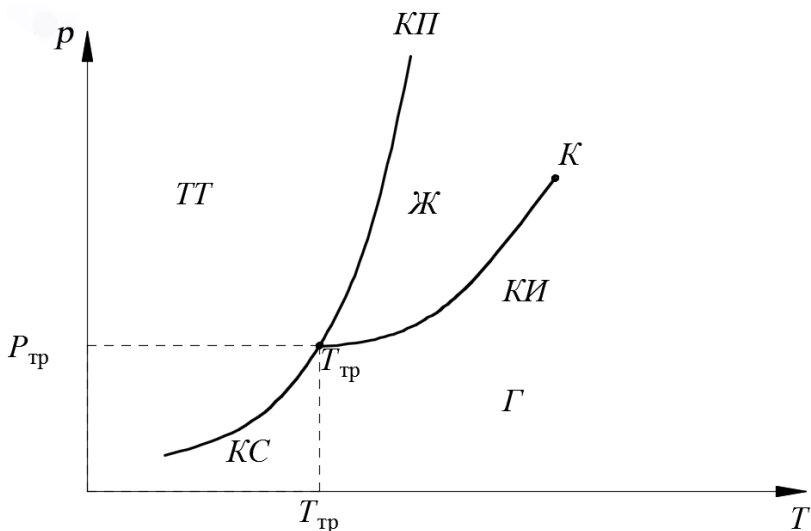


Рис.2 Диаграмма состояний.

Кривые на диаграмме называются кривыми фазового равновесия. Каждая точка на любой из них соответствует условиям равновесия двух совместно существующих фаз.

Зависимость между температурой фазового перехода и давлением определяется формулой Клапейрона-Клаузиуса:

$$dT = T \frac{V_2 - V_1}{\lambda} dp, \quad (1)$$

где λ - теплота фазового перехода (теплота испарения, теплота плавления и т.п.), V_2 - удельный объем вещества во второй фазе, V_1 - удельный объем вещества в первой фазе, T - температура фазового перехода. В соответствии с (1), поскольку λ и T являются положительными, знак производной dp/dT определяется тем, как изменяется объем (возрастает или уменьшается) при фазовом переходе. Испарение жидкости или твердого тела сопровождается

увеличением объема, поэтому для кривой испарения и кривой сублимации $\frac{dp}{dT} > 0$. Это означает, что при повышении давления увеличивается температура и наоборот. При плавлении объем, как правило, возрастает и $\frac{dp}{dT} > 0$, т.е. увеличение давления сопровождается повышением температуры плавления. В то же время для ряда веществ объем жидкой фазы меньше, чем объем твердой фазы. Наиболее известным из таких веществ является вода. К ним также относятся чугун, германий, висмут, сурьма. В этом случае $\frac{dp}{dT} < 0$ и рост давления приводит к уменьшению температуры плавления.

Точка $T_{\text{тр}}$ на рис. 2, в которой пересекаются кривые сублимации, плавления и испарения называется тройной точкой. Этой точке соответствуют температура $T_{\text{тр}}$ и равновесное давление $p_{\text{тр}}$, при которых одновременно существуют в равновесном состоянии все три фазы вещества. Любое чистое вещество имеет только одну тройную точку.

Рассмотрим вещество в жидком состоянии, находящееся в равновесии с насыщенным паром. Не изменяя объема, будем понижать температуру жидкости. Данный процесс будет сопровождаться соответствующим уменьшением давления, и продолжаться до достижения температуры кристаллизации. В ходе процесса кристаллизации температура и давление не меняются, отводимое при этом тепло, является теплом, выделяемым при кристаллизации.

По завершении кристаллизации твердая и газообразная фазы будут находиться в равновесии. Если и дальше уменьшать

температуру, будет уменьшаться давление паров, находящихся в равновесии с кристаллической фазой. Точка, соответствующая состоянию вещества, будет перемещаться вниз по кривой сублимации.

На рис. 2 видно, что кривая испарения оканчивается в критической точке K . Следовательно, возможен непрерывный переход из жидкого в газообразное состояние и обратно в обход критической точки, без пересечения кривой испарения. Это означает, что в таком непрерывном переходе фазовые превращения отсутствуют. Такое поведение возможно, так как различие между жидкой и газообразной фазами являются чисто количественными. Переход же из кристаллического в жидкое (или газообразное) состояние может быть только скачкообразным. Эти фазы вещества различаются не только количественно, но и качественно, а именно, они различаются симметрией внутреннего строения. Любое свойство симметрии системы или есть, или его нет. Таким образом, свойство симметрии может появиться или исчезнуть только скачком. Поэтому кривые плавления и сублимации не пересекаются. Кривая плавления стремится к бесконечности, а кривая сублимации стремится к началу координат ($p = 0, T = 0$).

1.3. ПОЛИМОРФИЗМ.

Твердые вещества могут находиться в разных кристаллических модификациях, которые различаются строением кристаллической решетки. Существование нескольких твердых фаз вещества называется полиморфизмом. Твердый углерод в зависимости от строения кристаллической решетки будет или графитом, или алмазом. Существует ряд разновидностей льда. Твердое железо может находиться в четырех различных модификациях (α -, β -, γ - и δ -железо). Азотнокислый аммонит имеет пять кристаллических фаз. Полиморфные превращения у твердых тел сопровождаются изменением кристаллической решетки и выделением (или поглощением) теплоты фазового перехода. Они происходят при изменении температуры и давления, а также являются фазовыми переходами. Полиморфизм возможен и в случае некоторых жидкостей (например, у расплавленной серы). В жидком состоянии полиморфные превращения сопровождаются или изменением строения молекулярных групп (полимеризация), или изменением строения самих молекул (изомерия).

Если вещество имеет несколько кристаллических модификаций, то его диаграмма состояний будет иметь более сложный вид. Рассмотрим вещество с двумя кристаллическими модификациями, которые обозначим как Тв. I и Тв. II. Его диаграмма состояний показана на рис. 3.

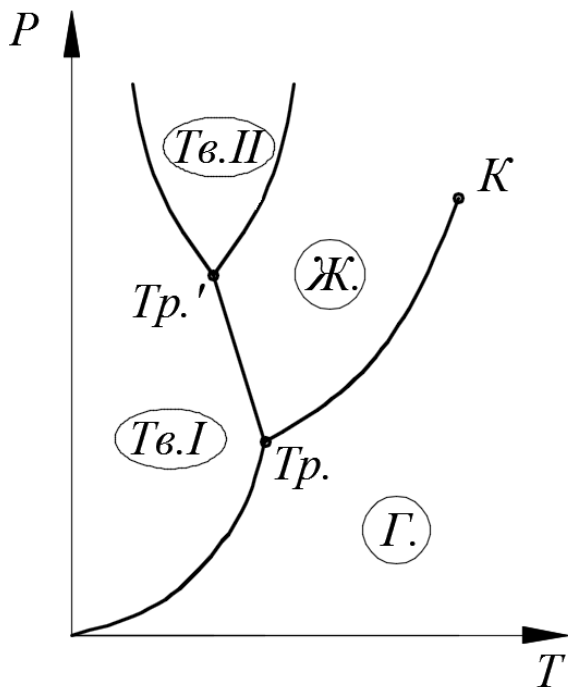


Рис. 3. Диаграмма состояний для вещества с двумя кристаллическими модификациями.

В данном случае существуют уже две тройные точки ($Tr.$ и $Tr'.$). В точке $Tr.$ в равновесном состоянии находятся жидкость, газ и первая кристаллическая модификация, а в точке $Tr'.$ – жидкость, газ и вторая кристаллическая модификация.

Полиморфные превращения между разными кристаллическими модификациями вещества сопровождаются возникновением метастабильных состояний. Если переохлаждение жидкости возможно при строгом соблюдении ряда условий, то задержка фазовых переходов в твердом состоянии и существование кристаллических модификаций в условиях, в том числе и

неприемлемых для них, распространено достаточно широко. Это может быть объяснено тем, что ионы в кристалле расположены достаточно тесно, что ограничивает их тепловое движение малыми колебаниями и затрудняет преобразование решетки из одной модификации в другую. Чтобы ускорить этот процесс, необходимо нагревать тело, делая тепловое движение более интенсивным.

Поликристаллическая структура твердой фазы является метастабильной по сравнению с монокристаллической. Вследствие этого, если нагревать мелкокристаллическое тело, оно становится крупнокристаллическим, т.к. одни кристаллы увеличиваются за счет других (явление рекристаллизации).

Полиморфное превращение происходит значительно быстрее, если в старой фазе имеются «зародыши» новой фазы. Наглядным примером роли таких «зародышей» служит явление «оловянной чумы» (превращение обычного белого олова, имеющего тетрагональную структуру, в порошкообразное серое олово с кубической структурой). При атмосферном давлении и температуре 18°C обе модификации олова находятся в равновесии. Если температура выше 18°C устойчиво белое олово, если ниже – серое. Белое олово может существовать и на морозе, однако после потепления, если в нем имеются подходящие «зародыши», может рассыпаться в порошок. Скорость превращения белого олова в серое максимальна при 0°C и резко убывает при понижении температуры.

Замедление перестройки кристаллической решетки при низких температурах приводит к существованию модификаций, которые вообще никогда не являются устойчивыми фазами. Такие модификации не изображаются на фазовой диаграмме, поскольку на ней показаны только устойчивые состояния. Данная ситуация имеет место при закалке стали.

Твердый раствор углерода в γ – железе (аустенит) устойчив при температурах 700 – 900°C (в зависимости от содержания углерода в стали). При более низких температурах он должен был бы

распасться. Но, если сталь очень быстро охладить (закалка), то аустенит не распадается, а превращается в игольчатые кристаллы новой фазы – твердый раствор с тетрагональной решеткой (мартенсит). Эта новая фаза характеризуется очень высокой твердостью, она всегда метастабильна и распадается при медленном нагреве до 250 – 300°C (отпуск).

1.4. СПЛАВЫ

В технике, особенно в машиностроении, чистые металлы применяются не столь часто. Исключительно велика роль сплавов. Это связано с тем, что сплавам можно придать те свойства, которые необходимы, и эти свойства могут быть гораздо выше свойств чистых металлов.

Если понижать температуру жидкого раствора, то при определенной температуре начинается процесс кристаллизации. Свойства образующейся новой фазы вещества зависят от компонентов раствора. Если твердая фаза образуется из смеси кристалликов различных компонентов вещества, то такая твердая фаза называется сплавом. Процесс протекания кристаллизации определяется процентным соотношением компонентов в жидком растворе. В общем случае при некоторой определенной температуре начинается кристаллизация только одного из компонентов. И только при одном определенном соотношении между компонентами начинается их одновременная кристаллизация. Такой состав называется эвтектическим, а получающийся из него сплав – эвтектическим сплавом или эвтектикой.

Рассмотрим сплав, состоящий из двух компонентов (бинарный сплав). Для такого сплава диаграмма состояния представлена на рис. 4. Точка Э соответствует эвтектическому составу сплава. Если такой

раствор охладить, то при температуре $T_э$ начинают одновременно появляться кристаллы обоих компонентов A и B .

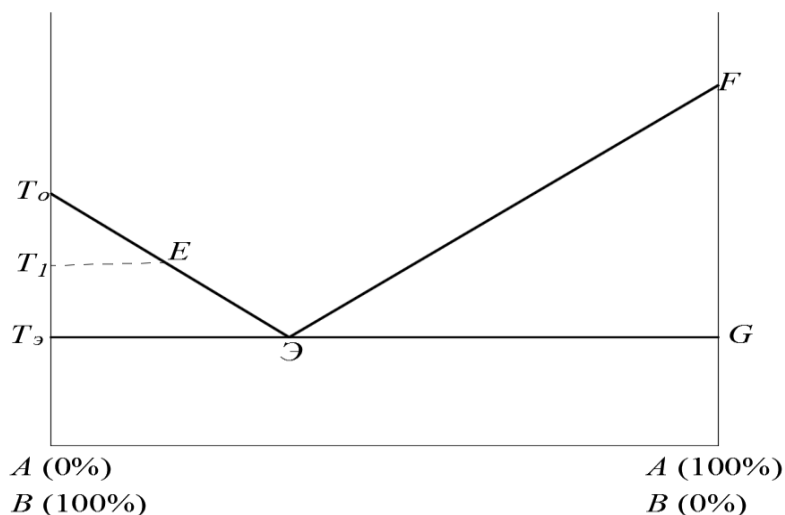


Рис. 4. Диаграмма состояний бинарного сплава.

При этом процесс кристаллизации протекает при постоянной температуре. Если рассматривать плавление такого сплава, то все процессы будут идти в обратном направлении.

Отличие жидкой фазы вещества от эвтектического раствора приводит к изменению процесса кристаллизации. Если жидкая фаза обогащена, например, компонентом B по сравнению с эвтектическим составом, (точка E на диаграмме), то кристаллизация будет проходить уже при температуре T_1 , но появляться будут только кристаллы компоненты B . В результате возникает ситуация, в которой жидкая фаза меняет свой состав, обогащаясь компонентом

А. Таким образом, раствор становится более похожим на эвтектический и его температура кристаллизации уменьшается. В процессе кристаллизации изменяются условия кристаллизации по линии $E\mathcal{E}$. После того, как будет достигнута точка \mathcal{E} , дальнейшая кристаллизация протекает при постоянной температуре. Следовательно, если состав фазы отличается от эвтектического, кристаллизация протекает в определенном интервале температур (а не при постоянной температуре). При этом твердая фаза будет больше содержать кристаллов той компоненты, которая преобладала в жидком растворе. Кристаллы же того компонента, содержание которого было ниже, будут более мелкими вкраплениями между кристаллами того компонента, содержание которого было выше. На фазовой диаграмме, представленной на рис. 4, имеются четыре области. Линия $T_0\mathcal{E}F$ разделяет жидкое состояние (сверху) от двухфазного состояния, в котором одновременно существуют жидкая и твердая фазы. Ниже линии $T_0\mathcal{E}$ находится область двухфазных состояний, когда преобладает компонент B ; ниже линии $\mathcal{E}G$ лежит область двухфазных состояний с преобладанием компонента A . Горизонтальная линия T_0G отделяет область двухфазных состояний от области твердой фазы, которая располагается ниже этой линии. Линия $T_0\mathcal{E}F$ называется линией ликвидуса, а линия $T_0\mathcal{E}G$ – линией солидуса.

В качестве примера рассмотрим металлический сплав свинец – сурьма. Свинец плавится при температуре 332°C , точка плавления сурьмы – 630°C . Ясно, что свинец соответствует компоненту B , а сурьма – компоненту A на рис. 4. Для сплава, содержащего 90% свинца и 10% сурьмы, кристаллизация начнется не при 332°C , а при 290°C . Процесс кристаллизации будет проходить в некотором интервале температур и закончится при 240°C . Для чистого вещества

(а не для сплава) процесс кристаллизации происходит при постоянной температуре и на диаграмме фазовых состояний изображается горизонтальной линией (рис. 1).

На рис. 5 представлена диаграмма кристаллизации для сплава. Сначала температура уменьшается также, как для чистого вещества. Однако затем в некоторой точке скорость снижения температуры уменьшается, хотя и не до нуля.

Достигнув значения 240°C , сплав затвердевает как чистое вещество. Причем при температуре 290°C в сплаве начинают формироваться кристаллики свинца; при этом концентрация сурьмы в жидкой фазе возрастает.

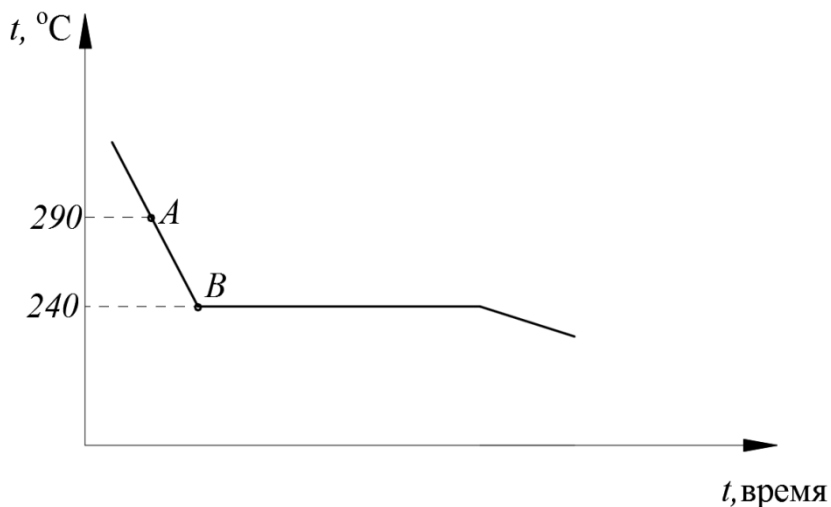


Рис. 5. Диаграмма кристаллизации бинарного сплава.

На рис. 5 видно, что кривая, изображающая этот процесс перемещается из точки A не вниз, а вправо. Выпадение кристаллов свинца происходит до точки эвтектики. Это состояние получается, когда свинца 86%, а сурьмы 14%. Затем сплав затвердевает целиком.

Если взять сплав, обогащенный сурьмой, то будет иметь место точно такой же процесс. При понижении температуры жидкой фазы начнут появляться кристаллы сурьмы и возрастать концентрация свинца. Когда будет достигнута эвтектическая концентрация, сплав будет затвердевать целиком.

1.5. ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ.

Если в процессе кристаллизации образуется твердая фаза, состоящая из кристаллов, построенных из атомов всех компонент вещества, то такая твердая фаза называется твердым раствором. Среди них различают твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. В случае твердого раствора замещения часть атомов в кристаллической решетке одного из компонентов замещается атомами другого компонента. В твердых растворах внедрения атомы одного из компонентов внедряются между узлами кристаллической решетки другого компонента. В твердых растворах вычитания происходит не только внедрение или замещение атомов одного компонента атомами другого, но при этом сохраняется решетка другого компонента с пустыми местами в части узлов.

Твердые растворы образуют при кристаллизации жидкой фазы сплавов следующих металлов: висмут и сурьма, медь и цинк, медь и золото и ряда других. Диаграмма состояний для таких соединений имеет свой специфический вид.

Рассмотрим фазовую диаграмму бинарного сплава висмут – сурьма (рис. 6).

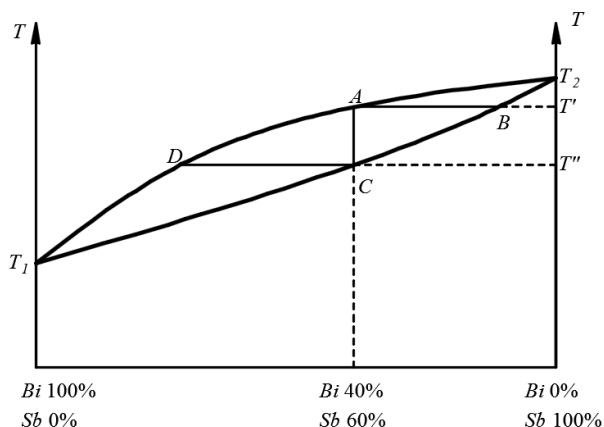


Рис. 6. Диаграмма состояний твердых растворов системы висмут – сурьма.

Линия $T_1 D A T_2$, отделяющая жидкую фазу от области, представляющей смесь твердой и жидкой фазы, состоит не из двух пересекающихся в эвтектической точке прямых (как на рис. 4), а плавно идет от точки плавления сурьмы T_2 к точке плавления висмута T_1 . Линия $T_1 C B T_2$, отделяющая область твердой фазы, от области смеси твердой и жидкой фаз, не проходит горизонтально, как на рис. 4, а также является плавной кривой. Пусть сплав содержит 40% висмута и 60% сурьмы. В точке A при охлаждении расплава начинается кристаллизация. Так как мы рассматривает твердый раствор, образование кристаллов сурьмы или висмута не происходит. Зато сразу начинается образование кристаллов, содержащих и атомы висмута и атомы сурьмы. При температуре T' состав этих кристаллов определяется абсциссой точки B . Выпадающие кристаллы более обогащены сурьмой, а оставшаяся жидкая фаза более богата висмутом. При дальнейшем понижении

температуры точка, определяющая состав выделяющихся кристаллов, перемещается по линии солидуса от B влево и из раствора выпадают кристаллы все более богатые висмутом. Когда вышеуказанная точка достигнет C , процесс кристаллизации завершается. Точка, изображающая начало процесса кристаллизации, перемещалась из A в D . Состав сформировавшегося твердого раствора зависит от скорости охлаждения. При быстром охлаждении кристаллы имеют разные составы, соответствующие точкам между B и C . При медленном охлаждении концентрации кристаллов и жидкости выравниваются и в момент затвердевания все кристаллы имеют одинаковый состав, определяемый точкой C .

Если нагревать твердый раствор, то плавление начинается в точке C при температуре T'' . При этом состав образующейся жидкой фазы будет определяться точкой D . При повышении температуры до T' , точка, соответствующая составу плавящихся кристаллов, переходит из C в B .

Диаграмма состояния значительно усложняется, если число фаз возрастает уже до трех. Рассмотрим бинарный сплав железо-углерод. Данный сплав относится к наиболее широко применяемым в промышленности; к нему относятся техническое железо и все сорта стали. Количество углерода в таком сплаве невелико и не превышает нескольких процентов.

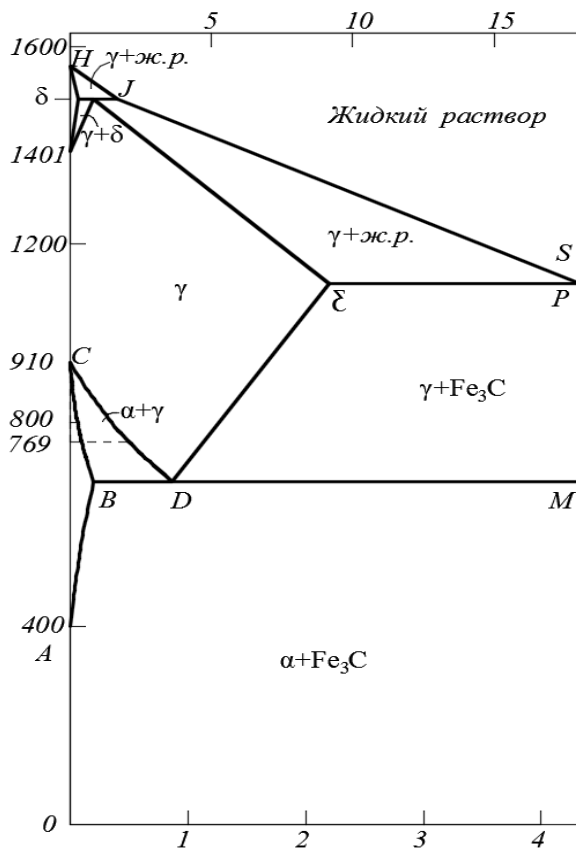


Рис.7 Диаграмма состояний системы сплавов углерод железо.

Из рис. 7 видно, что при малом содержании углерода при температурах до 910°C железо имеет объёмноцентрированную кубическую решетку (α - фаза). До 769°C железо является ферромагнетиком; при более высоких температурах оно превращается в парамагнетик. Данный переход из ферромагнитного в парамагнитное состояние, происходящий при температуре 760°C (точка Кюри), является фазовым переходом второго рода. При 910°C

α - фаза превращается в γ - фазу с гранцентрированной кубической решеткой. Превращение α - железа в γ - железо является фазовым переходом первого рода и сопровождается поглощением теплоты. При 1401°C γ - фаза превращается в δ -фазу, имеющую объемноцентрированную кубическую решетку. При увеличении концентрации углерода в сплаве температура превращения α - фазы в γ - фазу снижается, а температура превращения γ - фазы в δ -фазу повышается. При малых концентрациях углерода (не более 0,025% (весовые проценты)) атомы углерода внедряются в решетку α - фазы железа. Такой сплав называется ферритом. При более высоких концентрациях внедрение углерода происходит путем образования химического соединения Fe_3C , называемого цементитом. На рис. 7 область, соответствующая ферриту, лежит между осью ординат и линией ABC . Ниже линии BDM находится α - фаза железа и цементита, а выше этой линии область γ - фазы железа и цементита. При концентрации углерода до 2% и высоких температурах устойчивой фазой является аустенит (твердый раствор внедрения углерода в γ - фазу железа). Если концентрацию углерода увеличить, то устойчивой фазой будет сплав γ - фазы железа и цементита. На рис. 7 область этой фазы ограничена линией $DMPE$. При более высоких температурах существует эвтектическая область, область γ - фазы и жидкого раствора ограничена линией PJH . Железо с содержанием углерода 4,3% является эвтектическим сплавом (температура плавления 1130°C). При быстром охлаждении аустенитной γ - фазы образуется мартенсит – перенасыщенная углеродом α - фаза с характеристикой кристаллической структурой (тетрагональная решетка). Мартенсит характеризуется высокой твердостью.

Сплавы железа с углеродом при концентрации последнего выше 2%, содержащие другие элементы (Si, Mn, P, S и т.д.), называются чугунами. Эти сплавы используются для переработки в сталь или в специальные чугуны (при добавлении небольших количеств различных элементов).

1.6. ПРАВИЛО ФАЗ.

Пусть термодинамическая система состоит из нескольких фаз. Состав фазы можно охарактеризовать количеством химически однородных веществ, из которых она состоит. В случае неравновесной системы эти количества могут измениться независимо друг от друга. Для равновесной термодинамической системы между веществами в различных фазах выполняются некоторые определенные количественные соотношения. Поэтому не обязательно указывать содержание всех веществ в фазе, а достаточно указать содержание только некоторых. Количество остальных веществ определяется условиями термодинамического равновесия.

Минимальное число химически однородных веществ, задание которых однозначно определяет состав любой фазы термодинамически равновесной системы, называется числом компонентов системы, а сами эти вещества называются компонентами системы. Количество компонентов может задаваться произвольным образом и независимо друг от друга. Выбор компонентов, вообще говоря, является не однозначным. Важно только их число. Если число независимых компонентов равно единице, то система называется однокомпонентной; если двухкомпонентной (бинарной) и т.д.

Каждый компонент распределен некоторым образом по фазам системы. Для фаз, граничащих друг с другом, компоненты могут переходить из одной фазы в другую. В состоянии термодинамического равновесия компоненты вполне определенным образом распределены по фазам. Пусть в системе установилось термодинамическое равновесие. Нужно, чтобы оно сохранилось по отношению к переходу любого компонента из одной фазы в другую. Поэтому естественно допустить, что количества компонентов во всех фазах системы не меняется, за исключением одного, который может переходить из одной фазы в другую. В состоянии термодинамического равновесия компоненты вполне определенным образом распределены по фазам. Следовательно, систему можно рассматривать как однокомпонентную и применять к ней условие фазового равновесия для химически однородной однокомпонентной системы. Согласно этому условию, если фазы граничат друг с другом, то в состоянии равновесия должны быть равны между собой удельные термодинамические потенциалы каждого компонента во всех фазах.

Пусть в системе k компонентов, которые входят в состав n фаз. Фазы находятся в состоянии равновесия. Состояние фазы определяется ее составом, а также давлением и температурой. Тогда, чтобы удельные термодинамические потенциалы были равны между собой, должно выполняться правило фаз Гиббса: число фаз, которые могут находиться в равновесии между собой, может превышать число компонентов не более чем на два, т.е. $n \leq k + 2$.

1.7. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ.

Метод построения диаграмм состояния для трехкомпонентных сплавов предложен Д. Гиббсом и называется методом треугольника Гиббса. В данном методе используется следующая геометрическая теорема: сумма длин перпендикуляров, опущенных из любой точки, взятой внутри равностороннего треугольника, на его стороны, равна высоте этого треугольника. Если принять высоту треугольника за 100%, то длина каждого из трех перпендикуляров соответствует процентному содержанию соответствующей компоненты сплава. Площадь внутри треугольника дает область составов, обладающих определенными свойствами. В качестве примера на рис. 8 показана диаграмма состояний трехкомпонентного сплава железо – никель – хром.

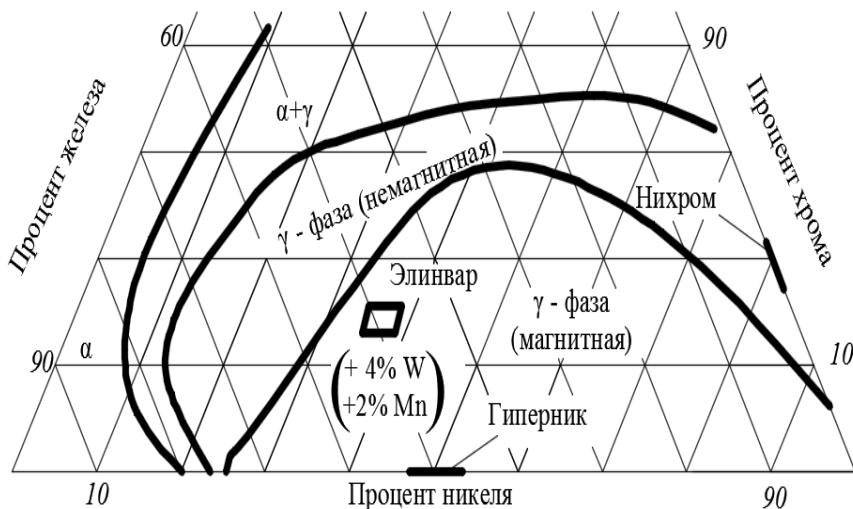


Рис. 8 Диаграмма состояний системы железо – никель – хром

Рассмотрим порядок построения диаграмм состояний для трехкомпонентных сплавов (рис. 9). Вершины A, B и C треугольника соответствуют 100-процентному содержанию компонент a, b , и c . К двум сторонам треугольника восстанавливают перпендикуляры, длины которых равны значениям соответствующих компонент сплава, взятым в долях высоты треугольника, принятой за единицу (или 100%). Длина перпендикуляра к стороне AB равна содержанию компоненты c , перпендикуляр к стороне CB равен содержанию компоненты a .

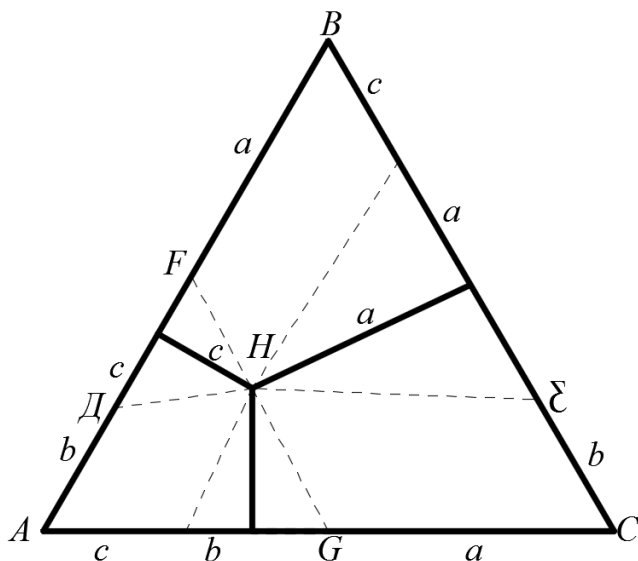


Рис.9. Построение диаграммы состояний трехкомпонентной системы (треугольник Гиббса)

Через концы перпендикуляров проводят прямые линии параллельно сторонам, из которых восстановлены перпендикуляры. Точка H пересечения этих прямых соответствует сплаву данного состава. Перпендикуляр из точки H к стороне AC равен содержанию

компоненты b . Ясно, что прямая, параллельная одной из сторон треугольника, изображает сплавы с постоянной концентрацией той компоненты, 100% которой изображает вершина, лежащая против этой прямой.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.

1. Найти изменение энтропии при нагревании воды массой 100 г. от температуры 0°C до 100°C и последующем превращении воды в пар.

Решение.

Изменение энтропии будет состоять из двух частей: изменения энтропии при нагревании воды и изменения энтропии при превращении воды в пар. Изменение энтропии при нагревании найдем из соотношения:

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mcdT}{T} = mc \ln \frac{T_2}{T_1},$$

где c – удельная теплоемкость воды. Подставляя значения. Получим $\Delta S_1 = 132 \text{ Дж/К}$.

Превращение воды в пар происходит при постоянной температуре, поэтому соответствующее изменение энтропии определяется соотношением:

$$\Delta S_2 = \frac{1}{T} \int_1^2 dQ = \frac{Q}{T},$$

где Q – количество теплоты, переданное при превращении нагретой воды в пар. Если λ – удельная теплота парообразования, то

$$\Delta S_2 = \frac{\lambda m}{T}.$$

Подставляя значения, получим $\Delta S_2 = 605$ Дж/К. Полное изменение энтропии равно $\Delta S_2 = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 737$ Дж/К.

2. Известно молярное изменение энтропии при плавлении. Найти изменение точки плавления при изменении внешнего давления на Δp . Удельные объемы жидкости и твердого тела известны, но удельная теплота плавления неизвестна.

Решение.

Рассмотрим уравнение Клапейрона-Клаузиуса

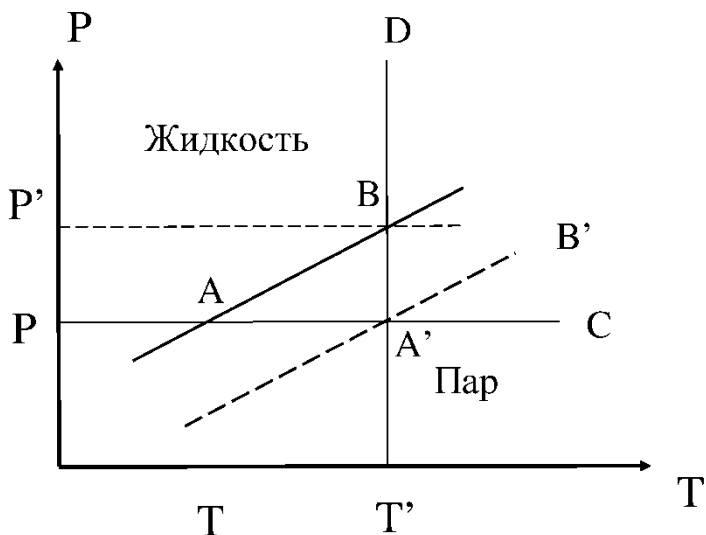
$$\Delta T = \Delta p T (V_{ж} - V_T) / L.$$

Здесь L – скрытая теплота плавления. При рассмотрении 1 моля вещества она связана с изменением энтропии соотношением $\Delta S = L / T$. В результате получаем:

$$\Delta T = \Delta p (V_{ж} - V_T) / \Delta S$$

3. Один грамм обыкновенного сахара $C_{12}H_{22}O$ растворен в 100 см^3 воды. Определить повышение точки кипения этого раствора при нормальном давлении. Молекулярный вес сахара 342; плотность воды при 100°C равна $0,96 \text{ г/см}^3$; удельная теплота испарения $q = 539 \text{ кал} \cdot \text{г}^{-1}$; универсальная газовая постоянная $R = 1,98 \text{ кал} \cdot \text{моль}^{-1}$;

число молей растворителя $\nu = \frac{1}{342 \cdot 10^2}$; $\mu\nu = 0,96$.



Решение:

Пусть AB – кривая испарения чистого растворителя (воды). Кривая испарения $A'B'$ раствора нелетучего вещества должна идти ниже. Пусть P – внешнее давление. Будем нагревать систему при постоянном давлении (изобара AC). В точках A и A' , где изобара пересекает кривые испарения растворителя и раствора, жидкости закипят (обозначим соответствующие температуры через T и T'). Видно, что при постоянном давлении раствор кипит при более высокой температуре, чем чистый растворитель. Чтобы найти T' , проведем через точку A' изотерму $A'D$. Она пересечет кривую испарения чистого растворителя в точке B (при давлении P'). T' является температурой кипения чистого раствора при давлении P' . Если концентрация раствора невелика, стороны треугольника $AA'B$ можно считать прямым. Тогда по закону Рауля $\frac{P'-P}{P'} = \frac{v'}{v}$, где v'

и ν – число молей растворенного вещества и растворителя. Пренебрегая удельным объемом жидкости по сравнению с удельным объемом пара, из уравнения Клапейрона-Клаузиуса получаем:

$$\frac{P'-P}{T'-T} = \frac{q\mu P}{RT^2} = \frac{q_{12}}{T\nu_n}, \text{ где}$$

q_{12} – удельная теплота испарения, μ – молекулярный вес молекул пара растворителя, ν_n – объем пара. В результате почленного деления получаем

$$\frac{T'-T}{P'} = \frac{\nu'}{\nu} \cdot \frac{RT^2}{\mu q_{12}P}$$

Пренебрегая различием между P и P' , можно записать

$$T - T' = \frac{\nu'}{\nu} \cdot \frac{RT^2}{\mu q_{12}}$$

Подставляя в последнюю формулу данные задачи, находим

$$T - T' = 0,0156^\circ \text{C}$$

4. Используя правила фаз, установите, какой из приводимых ответов правильно характеризует температурные условия кристаллизации чистого вещества: 1) $T = const$, т.к. число степеней свободы $C = 1 - 2 + 1 = 0$; 2) в интервале температур, т.к. $C = 1 - 1 + 1 = 1$.

Решение:

При кристаллизации существуют две фазы: жидкость и образующиеся кристаллы. Числом степеней свободы C системы называется количество факторов, которые можно изменять, не меняя числа фаз системы.

$$C = K - \Phi + \Pi,$$

где K – количество компонентов, образующих систему; Φ – число фаз в системе; Π – число внешних переменных (обычно $\Pi =$

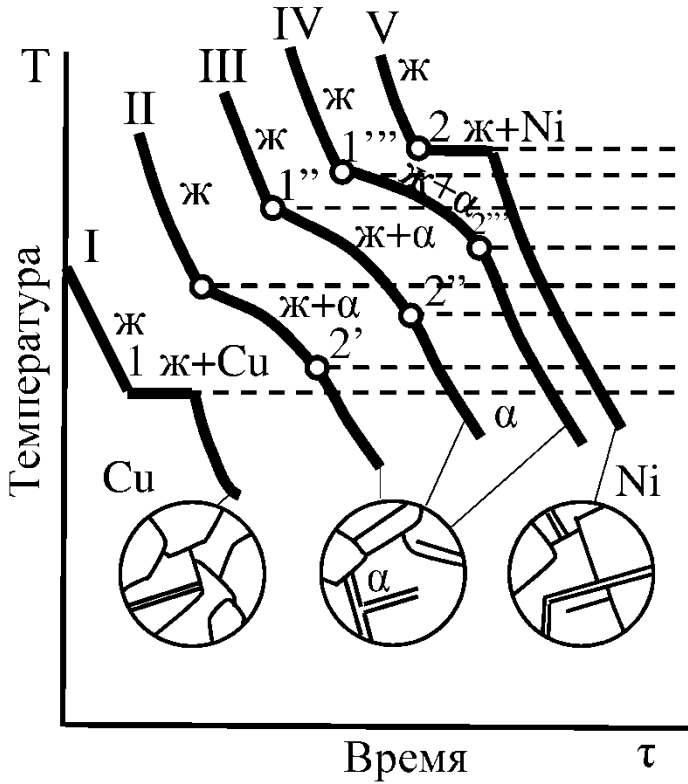
1). Т.к. компонент один, а фазы две, то правильным ответом является первый.

5. Исходя из правила фаз, определить, чем отличается температура кристаллизации двухкомпонентных сплавов от кристаллизации чистых веществ, если при кристаллизации сплава образуется одна твердая фаза.

Решение.

В условиях задачи $C = K - \Phi + 1 = 2 - 2 + 1 = 1$. Так как число степеней свободы отлично от нуля, то процесс кристаллизации сплавов происходит при изменяющейся температуре ($t \neq const$)

6. На рисунке показано, что кривые охлаждения меди и никеля могут иметь горизонтальные участки. Для сплавов II, III и IV горизонтальных участков нет; имеется только перегиб. Используя правило фаз Гиббса показать, что теоретически именно такими и должны быть кривые охлаждения для этих сплавов.



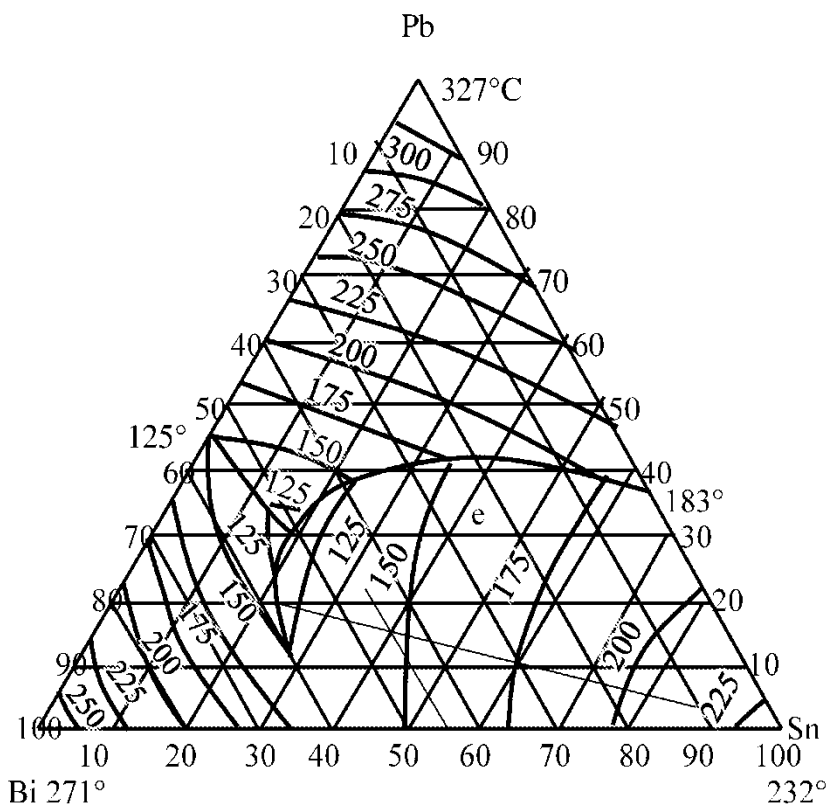
Кривые охлаждения для сплавов $Cu - Ni$

Решение.

Кривые охлаждения меди и никеля имеют горизонтальный участок, т.к. число степеней свободы при кристаллизации $C = 1 - 2 + 1 = 0$. Это означает, что кристаллизация чистых компонентов происходит при постоянной температуре. Выделяющаяся при этом теплота кристаллизации поддерживает температуру постоянной. Поэтому на кривой охлаждения имеется горизонтальный участок.

При кристаллизации сплавов II, III, IV образуется одна твердая фаза α , поэтому $C = 2 - 2 + 1 = 1$. Следовательно, кристаллизация происходит в интервале температур. Поэтому скрытая теплота кристаллизации выделяется постепенно по мере охлаждения сплава, и горизонтального участка на кривой охлаждения быть не может.

7. Из чего состоит структура сплава точки 1 системы $Pb - Sn - Bi$?



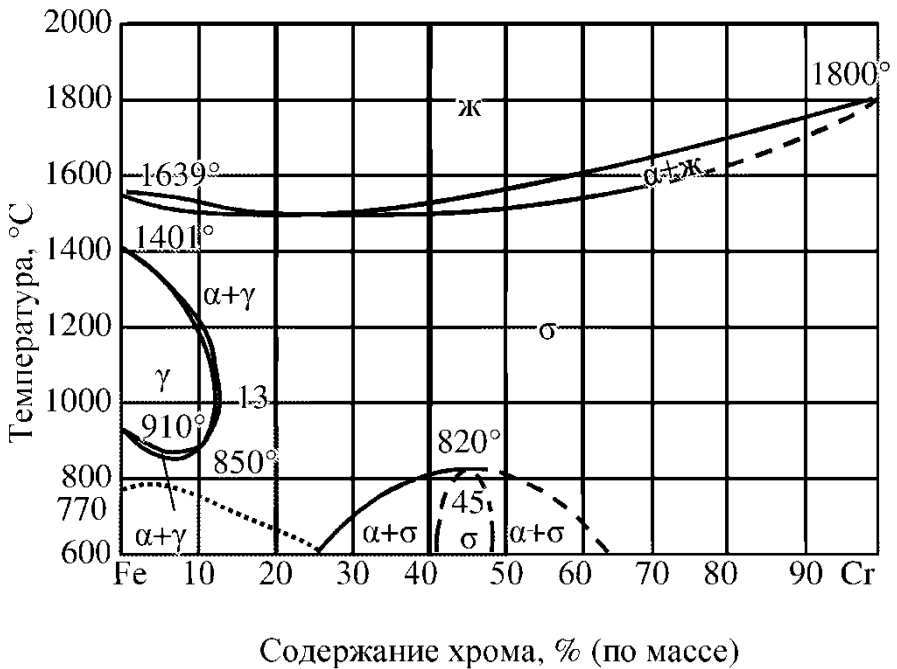
Пространственная диаграмма состояния тройной системы.

Решение:

Кристаллизация сплава начинается при температуре несколько ниже 150°C с образование кристаллов Sn . При температуре несколько ниже 125°C начинается образование кристаллов двойной эвтектики Э ($\text{Bi} + \text{Sn}$), которое заканчивается при температуре 98°C , когда образуется тройная эвтектика Э ($\text{Bi} + \text{Sn} + \text{Pb}$). В целом структура сплава состоит из эвтектики $\text{Bi} + \text{Э} (\text{Bi} + \text{Sn}) + \text{Э} (\text{Bi} + \text{Sn} + \text{Pb})$.

8. Можно ли закаливать сплав состава $95\% \text{Fe} + 5\% \text{Cr}$?

Диаграмма состояния приведена на рисунке.



Решение:

Сплав такого состава эффективен для закалки, т.к. нагрев при температуре около 950°C приводит к образованию γ -фазы. Быстрое охлаждение от этой температуры может затормозить превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ и зафиксирует неравновесное состояние.

3.1. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется фазой вещества?
2. Что называется фазовым переходом первого рода?
3. Приведите примеры фазовых переходов первого рода.
4. Что называется фазовым переходом второго рода?
5. Приведите примеры фазовых переходов второго рода.
6. Как происходит плавление вещества?
7. Что называется теплотой плавления?
8. Как происходит кристаллизация вещества?
9. Что называется теплотой кристаллизации?
10. Как можно получить переохлаждённую жидкую фазу вещества?
11. Нарисуйте диаграмму плавления и кристаллизации.
12. Что называется диаграммой состояний?
13. Нарисуйте типичную диаграмму состояний.
14. Запишите уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
15. Что называется тройной точкой на диаграмме состояний?
16. Сколько может быть тройных точек у чистого вещества?
17. Что называется критической точкой на кривой испарения?
18. Что называется полиморфизмом?
19. Нарисуйте типичную диаграмму состояний вещества, имеющего две фазы.
20. Как возникают метастабильные состояния при полиморфных превращениях?
21. За счет чего можно ускорить процесс полиморфных превращений?
22. Можно ли на диаграмме состояний указать область неустойчивых фаз?
23. Как происходит закалка и отпуск стали?
24. Что называется сплавом?
25. Какой сплав называется эвтектическим?

26. Нарисуйте типичную диаграмму состояний бинарного сплава.
27. Опишите процесс кристаллизации бинарного сплава.
28. Что на диаграмме состояний называется линией ликвидуса, в что – линией солидуса?
29. Опишите процесс плавления бинарного сплава.
30. Подробно опишите процесс кристаллизации сплава свинец – сурьма.
31. Что называется твердым раствором?
32. Какие бывают виды твердых растворов?
33. Нарисуйте типичную диаграмму состояний твердых растворов бинарного сплава.
34. Опишите процесс кристаллизации твердых растворов системы висмут – сурьма.
35. Опишите процесс плавления твердых растворов системы висмут – сурьма.
36. Нарисуйте типичную диаграмму состояний бинарного сплава, содержащего три фазы.
37. Опишите подробно процессы плавления и кристаллизации бинарного сплава железо – углерод.
38. Что называется чугунами?
39. Сформируйте правило фаз Гиббса.
40. Что называется числом компонентов системы и самими компонентами?
41. Что такое метод треугольника Гиббса?
42. Сформулируйте теорему, на использование которой основывается метод треугольника Гиббса.
43. Как на диаграмме трехкомпонентного сплава изображается сплав с постоянной концентрацией заданной компоненты?

3.2. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Лед массой 1 кг, находящийся при температуре -30°C , нагревают до температуры плавления при нормальном атмосферном давлении. Определить изменение энтропии. Удельная теплоемкость льда равна $2,09 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$, удельная теплота плавления $333 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Ответ: $1,46 \text{ Дж}/\text{K}$.

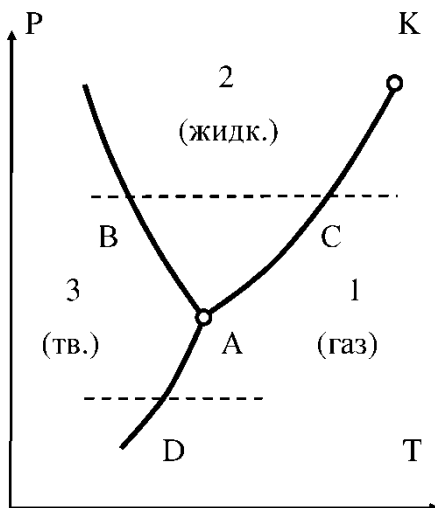
2. При плавлении 1 кмоль железа изменяет объем на $1,03 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. На сколько изменится температура плавления железа при изменении давления на 10^5 Па ?

Ответ: $0,012 \text{ K}$.

3. Изменение энтропии при таянии льда равна $388 \text{ Дж}/(\text{K} \cdot \text{моль})$. На сколько изменится температура состояния льда, если внешнее давление возрастает на 10^5 Па ?

Ответ: $0,009 \text{ K}$.

4. Показать, что в тройной точке диаграммы состояний



выполняется соотношение:

$$(v_1 - v_2) \cdot \frac{dP_{12}}{dT} + (v_3 - v_4) \cdot \frac{dP_{23}}{dT} + (v_3 - v_1) \cdot \frac{dP_{31}}{dT} = 0$$

5. Один грамм обыкновенного сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$ растворен в 100 см^3 воды. Определить понижение точки замерзания раствора сахара.

Ответ: $T - T' = -0,0543^\circ \text{C}$.

6. Из скольких фаз состоит система вода – лед, когда одновременно с водой существует пять кусков льда разной формы и размеров?

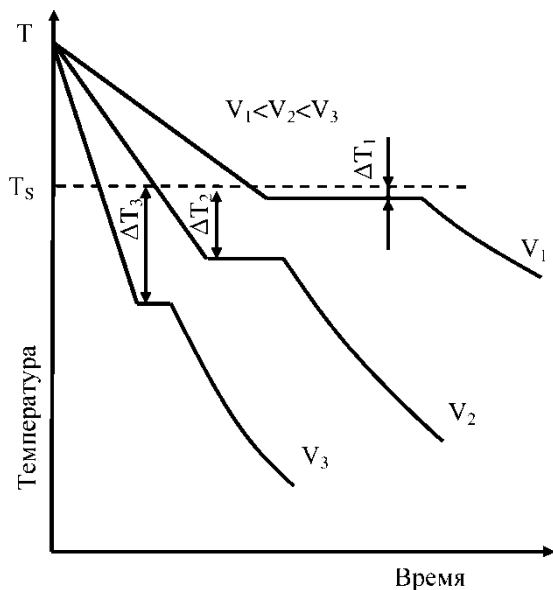
Ответ: Две (жидкая фаза – вода; твердая фаза - лед).

7. Каким условием удовлетворяют изменения энтальпии ΔH и энтропии ΔS при испарении кристаллического тела?

Ответ: ΔH увеличивается; $\Delta S > 0$, причем $T \Delta S > \Delta H$.

8. В литейном цехе изготавливают отливки и земляные формы. Механические свойства отливок из-за крупнозернистой структуры невысокие. Как следует изменить технологию, чтобы улучшить структуру и свойства отливок?

Ответ: На первый взгляд достаточно увеличить степень переохлаждения при кристаллизации отливок. Однако реализовать это сложно. Если разместить формы в холодильнике с низкой температурой, то результат будет нулевой, поскольку условия охлаждения определяет теплопроводность формовочного материала, и ко времени установки в холодильник металл уже закристаллизуется. Проблема решается, если учесть, что степень переохлаждения зависит от скорости охлаждения (см. рисунок).

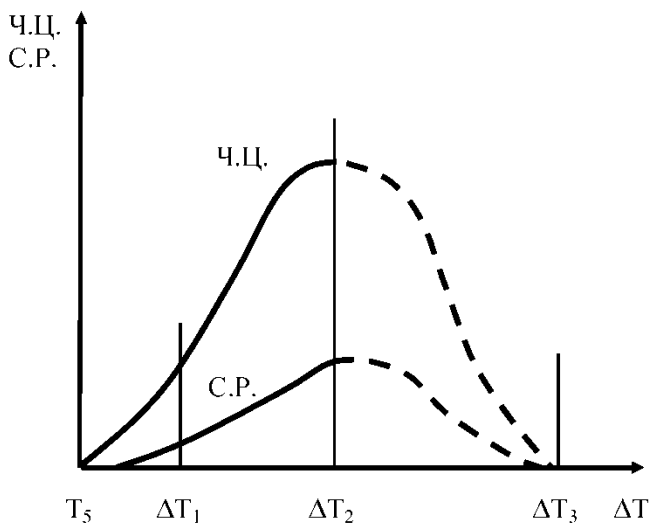


Схемы кривых охлаждения чистого металла от скорости охлаждения ($v_1 < v_2 < v_3$)

Для отливок нужно использовать кокиль (разборная форма для литья, изготавливаемая из металла). Металлическая форма имеет теплопроводимость приблизительно в 40 раз более высокую, чем земляная.

Её использование приводит к увеличению степени переохлаждения, а отливки в результате приобретают мелкокристаллическое строение, что улучшит их механические свойства.

9. В титане происходит полиморфное превращение $Ti_{\beta} \rightarrow Ti_{\alpha}$ при $882,5^{\circ}\text{C}$. Считая, что кривые влияния степени переохлаждения ΔT на число центров кристаллизации (Ч.Ц.) и скорость роста кристаллов (С.Р.), представленные на рисунке, соответствуют охлаждению титана Ti_{β} , начиная от $882,5^{\circ}\text{C}$, определите, какая структура титана образуется при степенях переохлаждения ΔT_1 , ΔT_2 и ΔT_3 .



Влияние степени переохлаждения ΔT на число центров кристаллизации (Ч.Ц.) и скорость роста кристаллов (С.Р.)

Ответ: ΔT_1 – крупнозернистый Ti_α , при ΔT_2 – молекулярный Ti_α , при ΔT_3 – переохлажденный Ti_β .

10. Возможна ли кристаллизация двухкомпонентного сплава при постоянной температуре?

Ответ: Возможна, если при кристаллизации образуются две твердые фазы. В этом случае $C = 2 - 3 + 1 = 0$, что означает, что $t = const$.

11. Определить количество кристаллов при температуре T_3 в точке и, если общее количество сплава равно 100 кг.

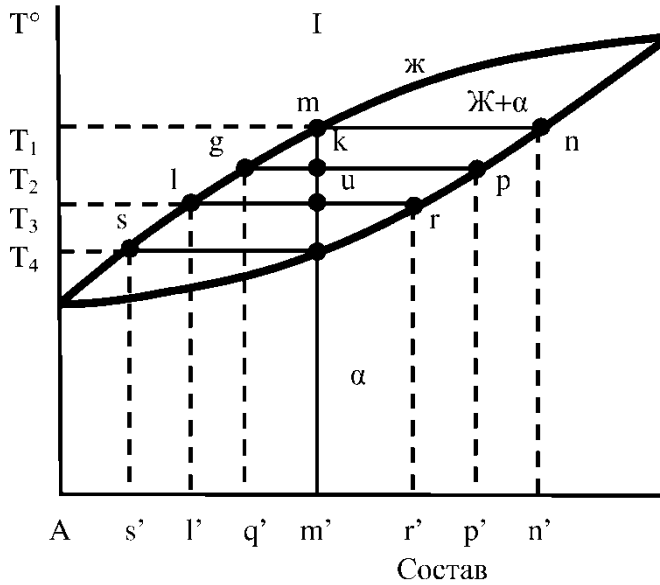


Диаграмма состояния

Ответ: относительное количество α - кристаллов равно

$\frac{l_u}{l_r} = 0,56$. Следовательно их будет 56 кг.

12. Определить количество жидкой фазы у сплава состава 65% Ni и 35% Cu в точке 2".

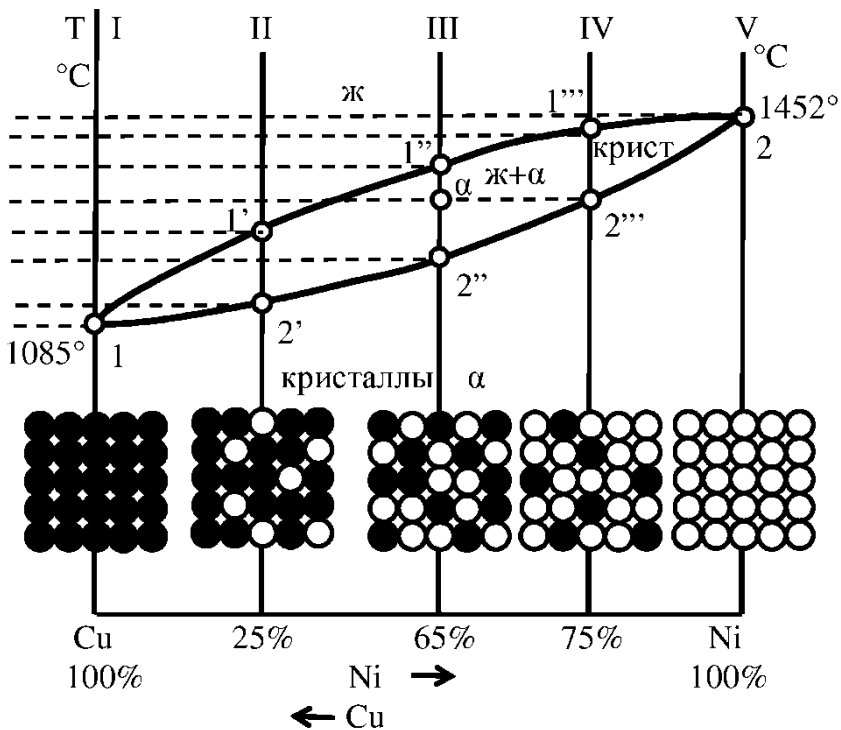
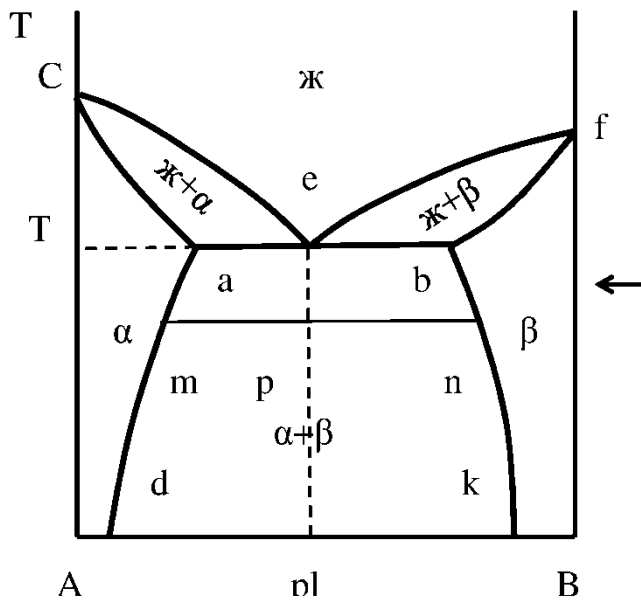


Диаграмма состояний для сплавов $Cu - Ni$.
Кривые охлаждения для сплавов I, II, III, IV и V.

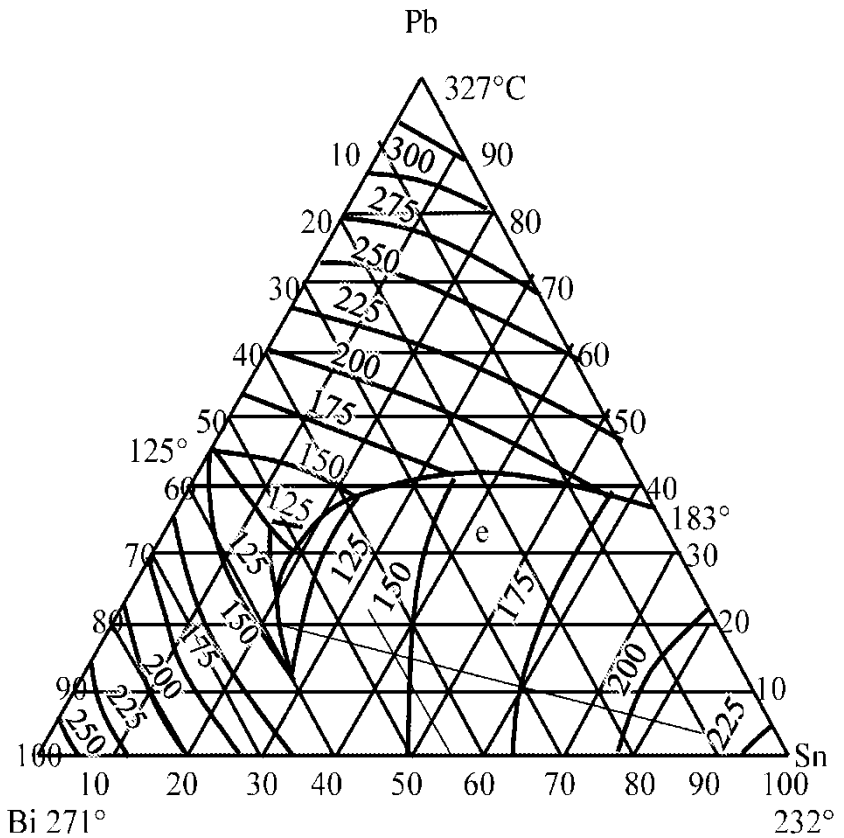
Ответ: Количество жидкой фазы равно нулю. При этой температуре кристаллизация закончилась и жидкой фазы нет.

13. Каково количество α - фазы в точке p для диаграммы состояния двойного сплава, приведенной на рисунке?



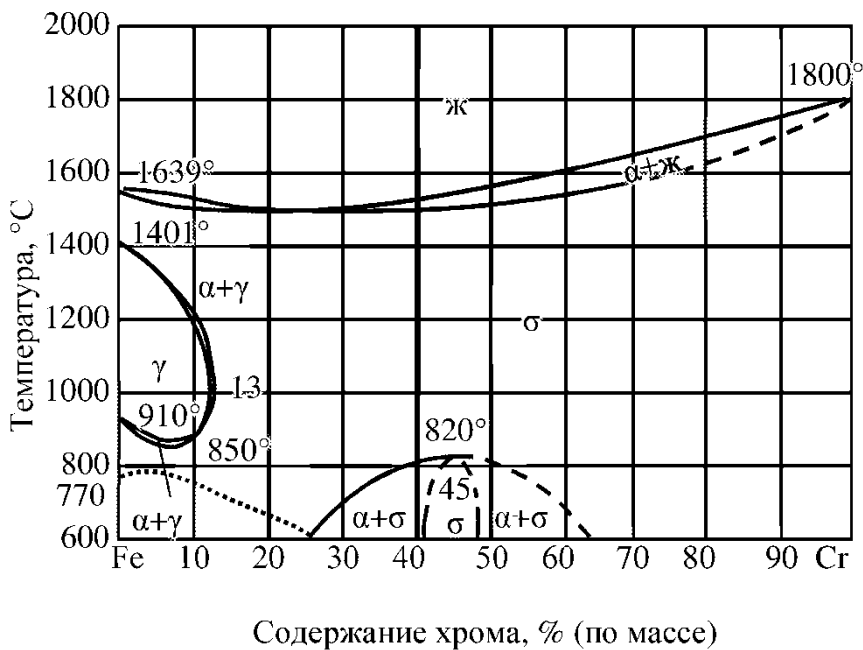
Ответ: Количество α - фазы равно $\frac{np}{mn}$.

14. Чему равен состав тройного сплава $Pb - Sn - Bi$ в точке e ?



Ответ: 30%Bi, 40%Sn, 30%Pb.

15. Можно ли закалить сталь (сплав состава 80%Fe + 20%Cr), диаграмма состояний которой представлена на рисунке?



Ответ: Данный сплав не дает эффекта при термической обработке, т.к. не имеет фазовых превращений в твердом состоянии.

4.ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

ФИЗИКА

Учебная программа учреждения высшего образования

по учебной дисциплине для специальностей:

- 1-36 01 02 «Материаловедение в машиностроении»;
- 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением»;
- 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»;
- 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»;
- 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)»;
- 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка»
 - специализация 1-42 01 01-01 03 «Металловедение, технология и оборудование термической обработки металлов»;
 - специализация 1-42 01 01-01 01 «Литейное производство черных и цветных металлов»;
 - специализация 1-42 01 01-03 «Металлургическое производство и материалобработка (промышленная безопасность)»

ПОСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Физика» разработана в соответствии с требованиями образовательных стандартов по вышеуказанным специальностям и специализациям.

Целью изучения курса физики является:

- формирование современного физического мышления и научного мировоззрения;
- изучение основных понятий, законов, принципов и теорий классической и квантовой физики;
- изучение основных физических явлений и процессов и их трактовка с точки зрения современных научных представлений;
- ознакомление с методами физических исследований;
- приблизить курс физики к особенностям и содержанию инженерной деятельности и показать место физики в современной технике и технологии;
- создать принципиально важные предпосылки для дальнейшего развития личности студентов при получении профессионального инженерно-технического образования.

Задачи изучения дисциплины «Физика»:

- создание у студентов широкой теоретической подготовки в области физики, позволяющей будущим инженерам ориентироваться в потоке научной и технической информации и обеспечивающей им возможность использования знаний по физике в технике;
- обеспечение методологической подготовки, позволяющей понимать процесс познания и структуру научного знания, использовать различные физические понятия, определять границы применимости принципов, законов и теорий;
- ознакомление с современной научной аппаратурой, формирование навыков проведения физического эксперимента;
- овладение примерами и методами решения конкретных задач из отдельных разделов физики;
- формирование умения оценивать степень достоверности результатов, полученных в экспериментальных или теоретических исследованиях.

Для изучения курса физики необходимо знание следующих разделов математики:

- элементы линейной алгебры и аналитической геометрии;
- дифференциальное исчисление функций одной и нескольких переменных;
- исследование функций с помощью производных;
- определенный и неопределенный интегралы, криволинейные интегралы, интегралы по поверхности и объему;
- элементы теории дифференциальных уравнений;
- векторный анализ и основные понятия теории поля;
- теория вероятностей и математическая статистика.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные понятия, законы и физические модели механики, физики колебаний, статистической физики и термодинамики электричества и магнетизма, квантовой физики;
- новейшие достижения в области физики и перспективы их использования в науке и технике;
- методы теоретического и экспериментального исследования в физике;
- методы численной оценки порядка исследуемых величин.

уметь:

- применять основные законы физики для решения прикладных инженерных задач;
- использовать основные измерительные приборы;
- производить обработку результатов физических экспериментов;

владеть:

- навыками обработки физических экспериментов;
- знаниями основных физических законов электротехники и теплотехники.

Диагностика компетенций студента

Оценка уровня знаний студента на экзамене и при оценке промежуточных учебных достижений студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента используется следующий диагностический инструментарий:

- защита выполненных на практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита отчетов по выполненным лабораторным работам;
- проведение текущих контрольных работ по отдельным темам;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- защита расчетно-графических работ;
- сдача зачета по дисциплине;
- сдача экзамена.

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующих компетенций:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками. АК-4.

Уметь работать самостоятельно. АК-5. Быть способным породить новые идеи (обладать креативностью).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом к решению проблем.

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

СЛК-1. Обладать качеством гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.

СЛК-6. Уметь работать в коллективе.

СЛК-7. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности.

ПК-2. Применять соответствующий физико-математический аппарат, методы математического анализа, теоретического и экспериментального исследования в физике, химии, экологии для решения проблем, возникших в ходе профессиональной деятельности.

ПК-4. Профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы.

ПК-6 Анализировать и оценивать собранные данные.

Согласно учебным планам для очной формы получения высшего образования на изучение учебной дисциплины отведено всего 520-530 часов. Распределение часов аудиторных занятий для студентов дневного отделения приведено в Таблице 1.

Таблица 1.

Очная форма получения высшего образования						
Специальности	Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
1-36 01 02 1-36 01 05 1-36 01 06	1	1	34	34	17	экзамен
1-36 02 01 1-42 01 01	1	2	34	34	17	экзамен
	2	3	34	17	17	экзамен
Итого:			102	85	51	
Всего аудиторных часов:			238			

Согласно учебным планам для заочной формы получения высшего образования на изучение учебной дисциплины отведено всего 520-530 часов. Распределение часов аудиторных занятий для студентов заочного отделения приведено в Таблице 2.

Таблица 2.

Заочная форма получения высшего образования						
Специальности	Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
	1	1	6			
1-36 01 06	1	2	6	6	8	экзамен
	2	3	6	6	8	экзамен
	2	4	6	6	8	экзамен
Итого:			24	18	24	
Всего аудиторных часов:			66			

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ **ВВЕДЕНИЕ**

Предмет физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Современные компьютерные технологии и применение компьютерного моделирования в изучение физики. Задачи курса физики. Общая структура курса. Системы единиц измерения.

Предмет механики. Пространство и время в классической механике. Нерелятивистская и релятивистская механика. Квантовая и классическая механика.

Кинематика, динамика, статика. Материальная точка, система материальных точек, абсолютно твердое тело, сплошная среда. Число степеней свободы механической системы.

Тема 1. КИНЕМАТИКА

Система отсчета. Кинематика материальной точки. Перемещение, путь, траектория. Скорость и ускорение. Вычисление пройденного пути. Тангенциальное и нормальное ускорение. Поступательное движение твердого тела.

Кинематика вращательного движения твердого тела. Угловая скорость и угловое ускорение. Связь между угловыми и линейными кинематическими характеристиками.

Тема 2. ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Основная задача динамики. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. Масса, сила, импульс. Второй закон Ньютона. Импульс силы. Третий закон Ньютона. Инвариантность уравнений движения относительно преобразований Галилея. Силы трения.

Упругие силы. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести и вес. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.

Тема 3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Внутренние и внешние силы. Импульс системы. Закон сохранения импульса. Центр инерции (центр масс) механической системы. Уравнение движения центра инерции. Реактивное движение. Уравнение движения тела переменной массы. Энергия, работа и мощность. Коэффициент полезного действия. Кинетическая энергия. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия частицы в силовом поле. Механическая энергия системы. Закон сохранения механической энергии. Закон сохранения полной энергии системы. Законы сохранения и свойства симметрии пространства-времени. Удар абсолютно упругих и неупругих твердых тел.

Тема 4. ДИНАМИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Момент инерции твердого тела относительно неподвижной оси. Главные оси и главные моменты инерции твердого тела. Моменты инерции некоторых тел регулярной формы. Теорема Штейнера. Момент силы относительно точки и оси. Уравнение движения твердого тела, вращающегося относительно неподвижной оси. Момент импульса относительно точки и относительно оси. Закон сохранения момента импульса и его связь со свойством изотропности пространства. Кинетическая энергия вращения твердого тела. Работа и мощность внешних сил при вращении твердого тела. Свободные оси. Гироскоп.

Тема 5. МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

Общие свойства жидкостей и газов. Идеальная жидкость. Кинематическое описание движения жидкости. Уравнение неразрывности и уравнение Бернулли. Вязкость. Силы внутреннего трения. Динамический и кинематический коэффициент вязкости. Ламинарное и турбулентное течение жидкостей. Метод Стокса и метод Пуазейля определения коэффициента вязкости. Движение тел в жидкостях и газах.

Тема 6. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Общие сведения о колебаниях. Механические гармонические колебания и их характеристики: амплитуда, фаза, период, круговая частота, начальная фаза. Энергия гармонических колебаний. Дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний. Гармонический осциллятор. Энергия гармонического осциллятора. Пружинный, физический и математический маятники. Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты. Биения. Понятие о представлении сложных периодических колебаний в виде разложения в ряд Фурье по гармоническим колебаниям. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Фигуры Лиссажу. Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний и его решение. Коэффициент затухания, декремент затухания, логарифмический декремент затухания, добротность. Аперидический процесс. Автоколебания. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его общее решение. Установившиеся вынужденные колебания. Резонанс. Резонансные кривые. Понятие об ангармонических колебаниях.

Тема 7. УПРУГИЕ ВОЛНЫ

Волновые процессы. Механизм образования волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Плоские, цилиндрические и сферические волны. Упругие волны в газах, жидкостях и твердых телах. Уравнение плоской волны. Длина волны, волновое число, фаза плоской волны. Фронт волны и волновая поверхность. Фазовая скорость. Волновое уравнение. Суперпозиция волн. Групповая скорость. Волновой пакет. Энергия упругой волны. Плотность потока энергии. Вектор Умова. Когерентность волн. Интерференция волн. Стоячие волны. Уравнение стоячей волны и его анализ. Звуковые волны. Характеристики звука. Эффект Доплера в акустике. Применение ультразвука.

Тема 8. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Постулаты специальной теории относительности. Понятие события. Преобразования Лоренца и требования релятивистской инвариантности. Релятивистский закон сложения скоростей. Относительность одновременности. Релятивистские изменения интервала времени и интервала длины. Импульс и энергия релятивистской частицы. Взаимосвязь энергии, импульса и массы. Энергия покоя. Основной закон релятивистской динамики материальной частицы.

Раздел 2. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ ВВЕДЕНИЕ

Статистический и термодинамический методы исследования. Макроскопическое состояние. Макроскопические параметры как средние значения. Термодинамические системы и параметры. Тепловое равновесие. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные процессы.

Тема 9. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ

Идеальный газ. Законы идеального газа. Смесь идеальных газов. Закон Дальтона. Уравнение Клапейрона-Менделеева. Давление газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул. Молекулярно-кинетический смысл температуры.

Микроскопические параметры. Вероятность флуктуации. Понятие функции распределения случайной величины. Функция распределения Максвелла молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Характерные скорости теплового движения молекул газа. Барометрическая формула. Распределение Больцмана молекул идеального газа по координатам во внешнем потенциальном поле.

Тема 10. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМАХ

Понятие о физической кинетике. Среднее число столкновений и средняя длина пробега молекул. Время релаксации. Явления переноса. Опытные законы теплопроводности, диффузии и внутреннего трения (вязкости) и их объяснение с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Понятие вакуума.

Тема 11. ТЕРМОДИНАМИКА

Число степеней свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. Границы применимости закона о равномерном распределении энергии и понятие о квантовании энергии вращения и колебания

молекул. Внутренняя энергия идеального газа. Работа газа при изменении объема. Количество теплоты. Теплоемкость. Уравнение Майера. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики к изопротессам. Адиабатный процесс. Понятие политропного процесса.

Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс. Энтропия. Энтропия идеального газа. Статистическое толкование энтропии. Принцип возрастания энтропии. Второе начало термодинамики. Теорема Нернста. Тепловые двигатели и холодильные машины. Цикл Карно. Максимальный коэффициент полезного действия тепловой машины.

Тема 12. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ

Силы и потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия. Реальные газы. Эффективный диаметр молекулы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние и параметры критического состояния. Давление насыщенного пара. Метастабильные состояния. Внутренняя энергия реального газа. Эффект Джоуля-Томсона для реального газа. Понятие энтальпии. Температура инверсии. Сжижение газов.

Тема 13. ЖИДКОСТИ

Строение и свойства жидкостей. Поверхностное натяжение. Поверхностно-активные вещества. Смачивание. Давление под изогнутой поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Капиллярные явления. Мениск. Формула для высоты подъема жидкости в капилляре.

Тема 14. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

Твердые тела. Строение кристаллов. Моно- и поликристаллы. Типы кристаллических решеток. Ионные, атомные, металлические и молекулярные кристаллы. Дефекты кристаллической решетки: вакансии, примеси внедрения, примеси замещения. Краевые и винтовые дислокации. Закон Дюлонга-Пти теплоемкости твердых тел и границы его применимости. Жидкие кристаллы.

Тема 15. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Фазы состояния вещества. Условия равновесия фаз. Фазовые переходы первого рода. Диаграммы состояний. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка. Трехфазная система «твердое тело – жидкость – газ». Тройная точка. Фазовые переходы второго рода. Сверхтекучесть жидкого гелия.

Раздел 3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ ВВЕДЕНИЕ

Предмет классической электродинамики. Электрический заряд и его дискретность. Закон сохранения электрического заряда.

Тема 16. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

Закон Кулона. Электростатическое поле. Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции для напряженностей электростатических полей системы зарядов. Поток вектора напряженности. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Гаусса для расчета напряженности электростатических полей. Работа при перемещении заряда в электростатическом поле. Теорема о циркуляции вектора напряженности. Потенциал электростатического поля. Связь потенциала и

напряженности. Принцип суперпозиции для потенциалов системы зарядов. Разность потенциалов. Вычисление разности потенциалов по напряженности поля. Электрический диполь. Момент сил, действующих на диполь в электростатическом поле. Потенциальная энергия диполя в электростатическом поле.

Тема 17. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ

Электрическое поле в веществе. Диэлектрики. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Поляризация диэлектриков. Виды поляризации. Поляризованность. Напряженность поля в диэлектрике. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрическая восприимчивость. Вектор электрического смещения. Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике. Граничные условия на границе раздела двух диэлектриков. Сегнетоэлектрики. Диэлектрический гистерезис. Пьезоэлектрики, пьезоэлектрики и электреты. Проводники. Распределение заряда в проводнике. Поле внутри проводника и у его поверхности. Электростатическое поле в полости идеального проводника. Электростатическая защита. Электроемкость уединенного проводника. Емкость системы проводников. Конденсаторы. Емкость конденсаторов различной геометрической формы. Емкость при параллельном и последовательном соединении системы конденсаторов. Энергия системы зарядов, уединенного проводника и конденсатора. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

Тема 18. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Постоянный электрический ток. Сила и плотность тока. Сторонние силы. Электродвижущая сила. Уравнение непрерывности. Проводники и изоляторы. Закон Ома для однородного участка цепи в интегральной и дифференциальной форме. Сопротивление проводника. Закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме. Работа и мощность тока. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Закон Ома для замкнутой цепи. Правила Кирхгофа для разветвленных цепей.

Тема 19. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТОКИ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Классическая электронная теория электропроводности металлов. Вывод законов Ома, Джоуля-Ленца и Видемана-Франца. Границы применимости классической электронной теории проводимости. Работа выхода электронов из металла. Поверхностный скачок потенциала. Эмиссионные явления (термоэлектронная, фотоэлектронная, вторичная электронная и автоэлектронная эмиссии). Электрический ток в газах. Несамостоятельный газовый разряд. Ионизация и рекомбинация газа. Самостоятельный газовый разряд. Ударная ионизация, напряжение пробоя. Виды самостоятельных газовых разрядов (тлеющий, искровой, дуговой и коронный разряды). Плазма.

Тема 20. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Магнитное поле. Вектор магнитного момента. Индукция и напряженность магнитного поля. Принцип суперпозиции. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение для расчетов магнитного поля (магнитное поле прямолинейного проводника с током и магнитное поле

кругового тока). Взаимодействие параллельных токов. Закон Ампера. Магнитная постоянная.

Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Ускорители заряженных частиц. Эффект Холла. МГД-генератор. Масс-спектрографы.

Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока для магнитного поля в вакууме (теорема о циркуляции вектора магнитной индукции). Магнитные поля соленоида и тороида. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для потока вектора магнитной индукции. Дивергенция и ротор магнитного поля. Сила, действующая на контур с током в магнитном поле. Работа сил магнитного поля по перемещению контура с током.

Тема 21. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ

Намагничивание вещества. Магнитные моменты электронов и атомов.

Намагниченность. Магнитная восприимчивость. Магнитная проницаемость вещества. Токи намагничивания. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля. Граничные условия на границе раздела двух магнетиков. Виды магнетиков. Пара- и диамагнетики. Ферромагнетики. Домены. Спиновая теория магнетизма. Обменные силы. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Точка Кюри. Антиферромагнетики. Точка Нееля. Ферриты.

Тема 22. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Опыты Фарадея. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца. Вихревые токи (токи Фуко). Индуктивность контура с током. Явление самоиндукции. Электродвижущая сила самоиндукции. Токи при размыкании и замыкании цепи. Взаимная индуктивность. Энергия магнитного поля. Объемная плотность энергии. Трансформаторы. Работа перемагничивания ферромагнетика.

Тема 23. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Колебательный контур. Свободные гармонические колебания в идеальном колебательном контуре. Дифференциальное уравнение свободных колебаний и его решение. Формула Томсона. Свободные затухающие колебания в колебательном контуре. Логарифмический декремент затухания. Добротность контура. Дифференциальное уравнение вынужденных электромагнитных колебаний и его решение. Переменный ток. Закон Ома для цепи переменного тока. Резонанс напряжений. Резонанс токов. Мощность в цепи переменного тока. Действующие значения тока и напряжения.

Тема 24. УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Плотность тока смещения. Полный ток. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Инвариантность уравнений Максвелла относительно преобразований Лоренца. Относительный характер разделения электромагнитного поля на электрическое и магнитное поля.

Тема 25. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Основные свойства электромагнитных волн. Опыты Герца и Лебедева. Шкала электромагнитных волн. Дифференциальное уравнение

электромагнитной волны. Плоская электромагнитная волна. Поперечность и монохроматичность электромагнитных волн. Энергия и импульс электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Излучение колеблющегося электрического диполя.

Раздел 4. ОПТИКА

ВВЕДЕНИЕ

Развитие представлений о природе света. Световая волна. Показатель преломления среды. Законы геометрической оптики. Тонкие линзы. Аберрации оптических систем. Световой поток. Фотометрические величины и их единицы. Элементы электронной оптики.

Тема 26. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Принцип суперпозиции волн. Когерентность и монохроматичность световых волн. Время, длина и радиус пространственной когерентности. Закон сложения интенсивностей. Интерференция света. Оптическая разность хода. Условия интерференционных минимумов и максимумов. Методы наблюдения интерференции (метод Юнга, зеркала Френеля, бипризмы Френеля). Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников. Интерференция света в тонких пленках. Полосы равного наклона. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона. Интерференция многих волн. Просветление оптики. Интерферометры. Интерферометр Майкельсона.

Тема 27. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейность распространения света. Зонные пластинки. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера на одной щели и на дифракционной решетке. Спектральное разложение света на дифракционной решетке. Разрешающая способность оптических приборов. Дифракция рентгеновских лучей на пространственной структуре. Формула Вульфа-Брэггов. Рентгеноструктурный анализ. Рентгеновская спектроскопия. Понятие о голографии.

Тема 28. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Естественный и поляризованный свет. Виды поляризации света. Степень поляризации. Закон Малюса. Поляризация при отражении и преломлении на границе раздела двух диэлектриков. Закон Брюстера. Стопа Столетова. Двойное лучепреломление. Обыкновенный и необыкновенный лучи. Одноосные и двухосные кристаллы. Оптическая ось и главная плоскость кристалла. Дихроизм. Поляризаторы и поляризационные призмы. Поляризаторы и анализаторы. Кристаллическая пластинка между двумя поляризаторами. Пластинки в четверть волны и в полволны. Искусственная оптическая анизотропия. Возникновение искусственной анизотропии под действием механических напряжений. Эффект Керра. Вращение плоскости поляризации. Оптически активные вещества. Эффект Фарадея.

Тема 29. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсия. Групповая скорость. Электронная теория дисперсии. Поглощение света. Закон Бугера.

Спектры поглощения. Рассеяние света. Эффект Доплера. Излучение Вавилова-Черенкова.

Раздел 5. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

Тема 30. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

Тепловое излучение и его характеристики. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения (законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Вина, формула Рэлея-Джинса). Трудности классической теории теплового излучения. Квантовая гипотеза и формула Планка. Вывод законов теплового излучения из формулы Планка. Оптическая пирометрия.

Фотоэффект. Виды фотоэффекта. Законы внешнего фотоэффекта. Фотоны. Формула Эйнштейна. Многофотонный фотоэффект. Применение фотоэффекта. Энергия и импульс фотона. Давление света. Эффект Комптона. Корпускулярные и волновые свойства электромагнитного излучения.

Тема 31. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ

Линейчатый спектр атома водорода. Постулаты Бора. Теория Бора водородоподобного атома. Опыт Франка и Герца. Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов. Опыт Дэвиссона и Джермера. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Волновая функция и ее свойства. Нормировка волновой функции. Принцип суперпозиции состояний. Статистическая интерпретация волновой функции.

Тема 32. УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА

Общее (нестационарное) уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Принцип причинности в квантовой механике. Стационарные состояния. Свободная частица. Частица в одномерной прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме. Уровни энергии. Главное квантовое число. Принцип соответствия Бора. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Квантовый линейный гармонический осциллятор.

Тема 33. ФИЗИКА АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

Квантовомеханическая модель атома водорода. Водородоподобные атомы. Энергетические уровни. Квантовые числа. Спин электрона. Спиновое квантовое число. Механические и магнитные моменты электронов и атомов. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана. Атом в электрическом поле. Эффект Штарка. Принцип неразличимости тождественных частиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по оболочкам. Периодическая система элементов. Энергетические уровни молекул. Молекула водорода. Химические связи. Обменное взаимодействие. Ионная и ковалентная связь. Электронные, колебательные и вращательные состояния многоатомных молекул.

Тема 34. ИЗЛУЧЕНИЕ И СПЕКТРЫ

Спектры атомов и молекул. Рентгеновские спектры. Закон Мозли. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света. Спектральный анализ. Люминесценция. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучение

света. Коэффициенты Эйнштейна для переходов в двухуровневой системе. Принцип работы лазера. Различные типы лазеров.

Тема 35. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ

Квантовая статистика. Статистика Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Квазичастицы. Фотонный газ. Фононный газ. Сверхтекучесть. Электронный газ в металлах. Энергия Ферми. Сверхпроводимость. Высокотемпературная сверхпроводимость. Эффект Джозефсона.

Тема 36. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Зонная теория твердых тел. Распределение электронов по энергиям. Уровень Ферми. Металлы, диэлектрики и проводники. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Электроны проводимости и дырки. Доноры и акцепторы. Фотоэффект в полупроводниках. Люминесценция твердых тел. Люминесцентный анализ. Люминесцентная дефектоскопия. Контактные явления. Ряд Вольта. Контактная разность потенциалов. Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томсона. Применение термоэлектрических явлений. Контакт металл-полупроводник. Контакт электронного и дырочного полупроводников (p-n переход). Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Полупроводниковые диоды и транзисторы, интегральные схемы.

Раздел 6. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Тема 37. АТОМНОЕ ЯДРО И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Строение атомного ядра. Дефект масс и энергия связи. Модели ядра. Ядерные силы. Радиоактивность. Виды ионизирующего излучения: α , β и γ - излучение. Закон радиоактивного распада. Взаимодействие радиационного излучения с веществом. Биологическое действие ионизирующих излучений. Ядерные реакции и их основные типы. Цепная реакция деления. Ядерный реактор. Ядерная энергетика. Экологические проблемы ядерной энергетика. Термоядерные реакции синтеза. Проблема управляемых термоядерных реакций.

Виды фундаментальных взаимодействий. Классификация элементарных частиц. Частицы и античастицы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

очная форма получения высшего образования

для специальностей:

1-36 01 02, 1-36 01 05, 1-36 01 06, 1-36 02 01, 1-42 01 01

№	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Итого	Формы организации учебного процесса
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Кинематика.	2	1				
2.	Динамика материальной точки.	2	1	2			
3.	Законы сохранения в механике	2	2	2			
4.	Динамика твердого тела.	3	2	6			
5.	Механика сплошных сред.	1	2	2			
6.	Механические колебания.	4	2	4			
7.	Упругие волны.	4	2	4			
8.	Специальная теория относительности.	1					
9.	Молекулярно-кинетическая теория газов.	2	2	2			
10.	Явления переноса в термодинамически неравновесных системах.	2		2			
11.	Термодинамика.	2	2	4			

12.	Реальные газы.	2	2	2	2			
13.	Жидкости.	2	2	2	4			
14.	Кристаллическое состояние	2	2					
15.	Фазовые переходы	1	1					
Итого за семестр:		34	17	34				Экзамен
Семестр 2								
16.	Электростатическое поле в вакууме.	4	4	4	4			
17.	Электростатическое поле в веществе.	4	1	2				
18.	Постоянный электрический ток.	4	3	6				
19.	Электрические токи в различных средах.	3	1	6				
20.	Магнитное поле постоянного тока.	4	3	4				
21.	Магнитное поле в веществе.	3	2	2				
22.	Электромагнитная индукция.	4	2	6				
23.	Электрические колебания.	4	4	4				
24.	Уравнения Максвелла.	2	1					
25.	Электромагнитные волны.	2	2					
Итого за семестр:		34	17	34				Экзамен
Семестр 3								
26.	Введение. Интерференция света.	6	3					
27.	Дифракция света.	6	3	2				
28.	Поляризация света.	2	2	4				
29.	Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.	2	2	2				
30.	Квантовая природа излучения.	3	2					
31.	Волновые свойства микрочастиц.	2	1					
32.	Уравнение Шредингера.	2						
33.	Физика атомов и молекул.	2	1					
34.	Излучение и спектры.	2		2				
35.	Элементы квантовой статистики.	2	1	1				
36.	Элементы физики твердого тела.	3	1	2				
37.	Атомное ядро и элементарные частицы	2	1	2				

Итого за семестр:	34	17	17	Экзамен
Итого:	102	51	85	
Всего аудиторных часов:	238			

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
заочная форма получения высшего образования
для специальности 11-36 01 06

№	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов							Формы контроля
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы	СР	ЗР	И	Э	
1		3	4	5	6	7	8		
1.	Кинематика.								
2.	Динамика материальной точки.								
3.	Законы сохранения в механике	1	1						
4.	Динамика твердого тела.	1	1	1					
5.	Механика сплошных сред.								
6.	Механические колебания.			1					
7.	Упругие волны.	1	1	1					
8.	Специальная теория относительности.								

9.	Молекулярно-кинетическая теория газов.								
10.	Явления переноса в термодинамически неравновесных системах.								
11.	Термодинамика.								
12.	Реальные газы.								
13.	Жидкости.								
14.	Кристаллическое состояние								
15.	Фазовые переходы								
Итого за семестр:									
Семестр 2									
16.	Электростатическое поле в вакууме.								4
17.	Электростатическое поле в веществе.								
18.	Постоянный электрический ток.								
19.	Электрические токи в различных средах.								
20.	Магнитное поле постоянного тока.								
21.	Магнитное поле в веществе.								
22.	Электромагнитная индукция.								
23.	Электрические колебания.								
24.	Уравнения Максвелла.								
25.	Электромагнитные волны.								
Итого за семестр:									
Семестр 3									
26.	Введение. Интерференция света.								
27.	Дифракция света.								
28.	Поляризация света.								
29.	Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.								
30.	Квантовая природа излучения.								
31.	Волновые свойства микрочастиц.								
32.	Уравнение Шредингера.								
33.	Физика атомов и молекул.								
34.	Излучение и спектры.								
35.	Элементы квантовой статистики.								
Итого за семестр:									
Семестр 4									
Итого за семестр:									
Экзамен									

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

1. Кинематика материальной точки.
2. Динамика материальной точки. Законы Ньютона.
3. Законы сохранения импульса и механической энергии.
4. Работа, мощность, коэффициент полезного действия.
5. Момент инерции. Вычисление момента инерции для тел правильной формы. Теорема Штейнера.
6. Динамика вращательного движения.
7. Статика.
8. Механика сплошных сред. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли. Вязкость.
9. Механические колебания. Различные виды маятников.
10. Упругие волны. Эффект Доплера в акустике.
11. Динамика релятивистского движения.
12. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа.
13. Функция распределения Максвелла молекул газа по скоростям и энергиям. Распределение Больцмана молекул газа в потенциальном поле.
14. Термодинамика.
15. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам.
16. Цикл Карно. Тепловые двигатели и машины.
17. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Эффект Джоуля-Томсона.
18. Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение. Капиллярность.
19. Электростатическое поле. Напряженность. Поле системы зарядов.
20. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме.
21. Потенциал. Вычисление разности потенциалов по напряженности поля.
22. Конденсаторы.
23. Постоянный электрический ток. Закон Ома.
24. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца.
25. Правила Кирхгофа расчета разветвленных цепей.
26. Магнитное поле в вакууме. Закон Био-Савара-Лапласа.
27. Закон Ампера.
28. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Сила Лоренца. Эффект Холла.
29. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.
30. Закон полного тока для магнитного поля в вакууме. Теорема Гаусса для потока вектора магнитной индукции.
31. Электромагнитная индукция.
32. Самоиндукция. Токи при размыкании и замыкании цепи.
33. Взаимная индукция. Трансформаторы.
34. Электромагнитные колебания.
35. Переменный ток. Закон Ома для цепи переменного тока.

36. Электромагнитные волны. Энергия электромагнитных волн. Излучение диполя.
37. Геометрическая оптика.
38. Интерференция света.
39. Дифракция света.
40. Дифракция на пространственной решетке. Разрешающая способность оптических приборов.
41. Поляризация света.
42. Дисперсия света.
43. Фотозффект. Эффект Комптона.
44. Эффект Доплера. Излучение Вавилова-Черенкова.
45. Законы теплового излучения.
46. Гипотеза и формула Планка.
47. Волновые свойства микрочастиц. Соотношение неопределенностей.
48. Волновая функция.
49. Уравнение Шредингера.
50. Линейный гармонический осциллятор в квантовой механике.
51. Физика атомов и молекул.
52. Излучение и спектры.
53. Зонная теория твердых тел.
54. Радиоактивный распад и ядерные реакции.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Вводное занятие. Теория измерений и погрешностей.
2. Определение массы тела косвенным методом измерений.
3. Определение момента инерции твердого тела методом крутильных колебаний.
4. Определение момента инерции крестообразного маятника.
5. Измерение скорости полета тела баллистическим методом.
6. Исследование динамики упругого соударения шаров.
7. Измерение коэффициента трения качения методом наклонного маятника.
8. Определение скорости ультразвука в жидкости и модуля объемной упругости методом стоячей волны.
9. Определение отношения теплоемкостей газов методом адиабатического расширения.
10. Определение коэффициента поверхностного натяжения методом Стокса.
11. Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний.
12. Механика и термодинамика звука в газовой среде.
13. Применение измерительных приборов для изучения электромагнитных явлений, регистрации и измерения физических величин.
14. Изучение компенсационного метода измерения физических величин.
15. Изучение линейных и нелинейных элементов электрической цепи и Исследование их вольт-амперных характеристик.
16. Изучение индуктивности и взаимной индуктивности.

17. Исследование свободных колебаний в электрической цепи.
18. Исследование вынужденных колебаний в электрической цепи.
19. Полупроводниковые приборы: диод и стабилитрон.
20. Изучение полупроводников и исследование электрических параметров транзистора.
21. Изучение явления фотоэффекта в полупроводнике.
22. Изучение законов движения заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.
23. Изучение магнитного поля в веществе и свойств ферромагнитных материалов.
24. Исследование термоэлектрических явлений.
25. Изучение тонкой линзы.
26. Изучение аберрации линз.
27. Исследование фотометрических характеристик точечных источников света.
28. Спектральные приборы и их основные характеристики.
29. Определение радиуса кривизны линзы при помощи интерференционных Полос равной толщины.
30. Изучение дифракции Френеля.
31. Изучение дифракции Фраунгофера.
32. Определение длин волн в дифракционных спектрах.
33. Получение и анализ циркулярно и эллиптически поляризованного света.
34. Определение удельного вращения и концентрации раствора сахара полутеневым поляриметром.
35. Изучение вращения плоскости поляризации света (эффект Фарадея).
36. Фотоэффект.
37. Дифракция электронов на кристаллических структурах.
38. Определение постоянной Стефана-Больцмана при помощи оптического пирометра.
39. Определение постоянной Ридберга по длинам волн видимого спектра водорода.
40. Определение потенциала возбуждения атома аргона.
41. Оптические квантовые генераторы.
42. Анализ поляризации лазерного излучения.

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1-5. М., Астрель АСТ, 2003-2004.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1-4. М., КНОРУС, 2009.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. М., Академия, 2007.
4. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М., Академия, 2008.
5. Наркевич И.И., Волмянский Э.И., Лобко С.И. Физика. Т. 1-2. Мн., Вышэйшая школа, 2004.

6. Лебедев А.Н. Физика. Т. 1-4. М., Физматлит, 2008.
7. Демидченко В.И. Физика. Ростов-на-Дону, Феникс, 2008.
8. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. М., Физматлит, 2008.
9. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. С-Пб., Книжный мир, 2007.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 1-5. М., Наука, 1983-1986.
2. Иродов И.Е. Основные законы механики. М., Высшая школа, 1985.
3. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М., Высшая школа, 1983.
4. Калашников С.Г. Электричество. М., Физматлит, 2008.
5. Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм. М., Интеллект, 2008.
6. Саржевский А.М. Оптика. Мн., Университетское, 1984-1986.
7. Астахов А.В., Широков Ю.М. Курс общей физики. Т. 1-3. М., Наука, 1977-1983.
8. Берклеевский курс физики. Т. 1-5. М., Наука, 1986.
9. Фейнмановские лекции по физике. Т. 1-10. М., Мир, 1977-1978.

4.2. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. – М.: Физматлит, Лань, 2006. – 240 с.
2. Канашевич, Т.Н. Совершенствование методической системы преподавателя как условие реализации компетентностного подхода в техническом университете / Т.Н. Канашевич, М.О. Шумская // Педагогическая наука и образование. – 2017. – № 4. – С. 67 – 71.
3. Кикоин, А.К. Молекулярная физика / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. – М.: Директмедиа, 2016. – 478 с.
4. Князев, М.А. Оценка эффективности включения мотивационно-прикладного компонента в методическую систему преподавателя физики в учреждении высшего технического образования / М.А. Князев, И.А. Сатилов, Т.Н. Канашевич, М.О. Шумская // Высшая школа. – 2018. – № 3. – С. 49 – 54.
5. Ландау, Л.Д., Ахиезер, А.И., Лифшиц, Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика / Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. – М.: Изд. Группа URSS, 2014. – 340 с.
6. Матвеев, А.Н. Молекулярная физика: учебн. пособие / А.Н. Матвеев. – 4-е изд. – М.: Высшая школа, 2010. – 368 с.
7. Мозберг, Р.К. Материаловедение / Р.К. Мозберг. – М.: Высшая школа, 1991. – 448 с.
8. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев. – М.: АСТ, Астрель, 2002. – 432 с.
9. Сивухин, Д.В. Курс общей физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1990. – 520 с.
10. Телесин, Р.В. Молекулярная физика / Р.В. Телесин. – СПб.: Лань, 2009. – 368 с.
11. Физика. Фазовые переходы в сплавах и растворах : учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-36 02 01 «Машины и технологии литейного производства», 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» / Т.Н. Канашевич [и др.]. – Минск, БНТУ, 2019. – 40 с.

12. Чертов, А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Физматлит, 2007. – 640 с.