**25.03.2020 год.**

**Урок № 85 - 86** **Кристаллизация и плавление твердого тела. Структура твердых тел. Кристаллическая решетка. Механические свойства твердых тел.**

**Основной материал:** Процесс кристаллизации. Процесс плавления. Удельная теплота плавления и кристаллизации. Кристаллические тела. Монокристалл. Поликристалл. Кристаллическая решетка. Типы кристаллических решеток. Полиморфизм. Анизотропия Деформация. Виды деформации. Модуль Юнга. Закон Гука. Пластическая и упругая деформации. Предел прочности.

**1. Твердое тело**

**1.1. Структура твердых тел**

**Твёрдое тело** – это одно из четырёх агрегатных состояний вещества, отличающееся от других агрегатных состояний (жидкости, газов, плазмы) стабильностью формы и характером теплового движения атомов, совершающих малые колебания около положений равновесия.

Твёрдое тело состоит из миллиарда частиц (атомов), которые взаимодействуют между собой. Это обусловливает появление определённого порядка в системе и особых свойств всего количества микрочастиц. Структура твёрдых тел многообразна. По характеру относительного расположения частиц твердые тела делят на три вида: кристаллические, аморфные и композиты. **Кристаллические тела.** В отсутствие внешних воздействий твердое тело сохраняет свою форму и объем. Это объясняется тем, что притяжение между атомами (или молекулами) у них больше, чем у жидкостей (и тем более газов). Оно достаточно, чтобы удержать атомы около положений равновесия.

Молекулы или атомы большинства твердых тел, расположены в определенном порядке. Такие твердые тела называют кристаллическими.

Кроме того, в отличие от жидкостей, точки положений равновесия атомов или ионов твердого тела, будучи соединенными, располагаются в вершинах правильной пространственной решетки, которая называется кристаллической.

**Кристаллическая решетка** — пространственная структура с регулярным, периодически повторяющимся расположением частиц. Положения равновесия, относительно которых происходят тепловые колебания частиц, называются узлами кристаллической решетки.

**Полиморфизм** — существование различных кристаллических структур у одного и того же вещества.

Алмаз, графит и фуллерен — три разновидности углерода, имеющие разную кристаллическую структуру (рис. 1).

В результате нагревания в вакууме при температуре около 150 °С алмаз превращается в графит.

Алмаз — самый твердый на земле минерал.

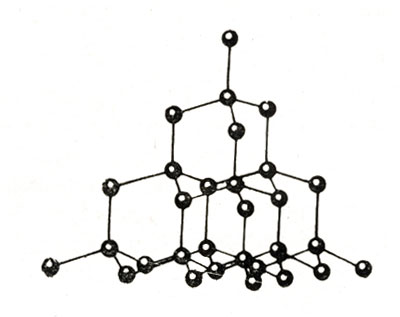
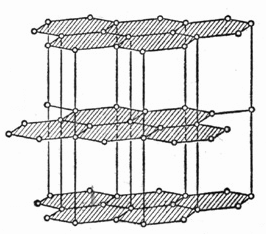
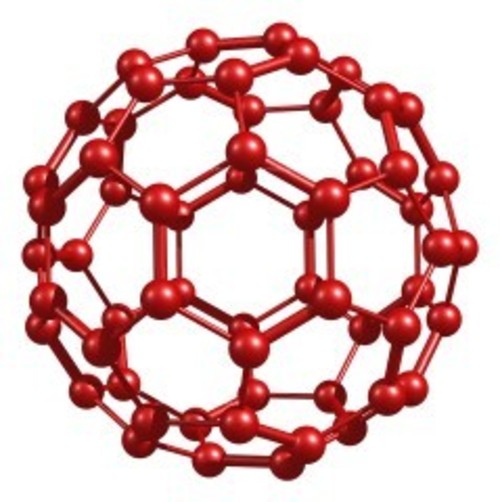
****       

Рис.1. Различные кристаллические состояния углерода: алмаз, графит, фуллерен (слева направо)

Кристаллическое тело может быть монокристаллом или поликристаллом.

**Монокристалл** — твердое тело, частицы которого образуют единую кристаллическую решетку (одиночный кристалл).

К монокристаллам относятся природные кристаллы (кварц, алмаз, турмалин), крупинки соли, сахара, соды.

Плотность расположения частиц в кристаллической решетке не одинакова по различным направлениям. Это приводит к зависимости свойств монокристаллов от направления — анизотропии.

**Анизотропия монокристаллов.** Одним из главных свойств монокристаллов, которым они отличаются от жидкостей и газов, является анизотропия их физических свойств. Под анизотропией понимают зависимость физических свойств от направления в кристалле.

**Поликристалл** — твердое тело, состоящее из беспорядочно ориентированных монокристаллов.

Поликристаллическими являются большинство твердых тел, с которыми мы имеем дело в быту — сахар-рафинад, а также такие металлические изделия, как вилки, ложки. Беспорядочная ориентация сросшихся микрокристалликов, из которых они состоят, приводит к исчезновению анизотропии свойств.

**Аморфные тела. Аморфные тела** — это твердые тела, для которых характерно неупорядоченное расположение частиц в пространстве.

В этих телах молекулы (или атомы) колеблются около хаотически расположенных точек и, подобно молекулам жидкости, имеют определенное время оседлой жизни. Но, в отличие от жидкостей, время это у них очень велико.

К аморфным телам относятся стекло, янтарь, различные другие смолы, пластмассы. Хотя при комнатной температуре эти тела сохраняют свою форму, но при повышении температуры они постепенно размягчаются и начинают течь, как жидкости. Аморфные тела не имеют определенной температуры плавления, а значит, и температуры кристаллизации.

Этим они отличаются от кристаллических тел, которые при повышении температуры переходят в жидкое состояние не постепенно, а скачком (при вполне определенной температуре — температуре плавления).

**Изотропия аморфных тел.**Все аморфные тела изотропны, т. е. имеют одинаковые физические свойства по разным направлениям. При ударе они ведут себя как твердые тела — раскалываются, а при очень длительном воздействии — текут.

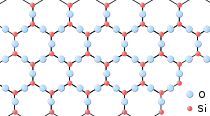
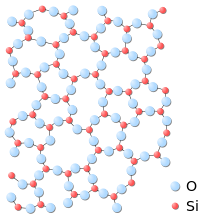


Рис.2. Схематическое изображение атомной структуры неупорядоченного аморфного (левее) и упорядоченного кристаллического (правее) твёрдого тела.

**Композиты.** **Композиты**— твердые тела, в которых атомы располагаются упорядоченно в определенной области пространства, но этот порядок не повторяется с регулярной периодичностью. Композиты, такие, как дерево, бетон, кость, кровеносные сосуды и др., состоят из различных, связанных друг с другом материалов.

**1.2. Свойства твердых тел**

Под свойствами твёрдых тел понимается их специфическое поведение при воздействии определенных сил и полей. Их существует пять: механические, тепловые, электрические, магнитные и оптические.

Рассмотрим все эти виды свойств по отдельности.

1.2.1. Механические свойства

Механические свойства твердых тел обусловлены их молекулярной структурой. Внешнее механическое воздействие на тело (например, температура, давление, конкретная нагрузка, магнитное или электрическое поле) может приводить к изменению его формы и объема, т. е. к деформации.

**Деформация** — изменение формы и размера твердого тела под действием внешних сил.

В зависимости от величины приложенной силы деформация может быть упругой, пластической или разрушительной.

**Упругая деформация** — деформация, исчезающая после прекращения действия внешней силы.

Упруго деформируются резина, сталь, человеческая кожа и сухожилия.

**Пластическая деформация** — деформация, сохраняющаяся после прекращения действия внешней силы.

Пластичны свинец, алюминий, воск, пластилин, жевательная резинка.

Каждое твёрдое тело имеет присущий ему порог деформации, после которой наступает разрушение. Свойство твёрдого тела сопротивляться разрушению характеризуется прочностью. При разрушении в твёрдом теле появляются и распространяются трещины, которые в конце концов приводят к разлому.

**Предел упругости** — максимальное напряжение в материале, при котором деформация еще является упругой.

При дальнейшем увеличении деформации материал разрушается.

**Предел прочности** — максимальное напряжение, возникающее в теле до его разрушения.

При сжатии стержня межатомные расстояния уменьшаются. Результирующая сила отталкивания атомов препятствует сжатию. Более резкое возрастание сил отталкивания атомов (при сжатии образца) по сравнению с силами притяжения (при его расширении) объясняет различие пределов прочности при растяжении и сжатии разных материалов.

1.2.2. Тепловые свойства

Тепловые свойства можно подразделить на кристаллизацию и плавление твердого тела.

1.2.2.1. Кристаллизация твердого тела

Рассмотрим фазовый переход жидкость — твердое тело. Плотно упакованные молекулы жидкости в основном колеблются относительно положений равновесия. Однако некоторые (наиболее быстрые) молекулы обладают достаточной кинетической энергией для перескока в соседнее положение равновесия. Поэтому относительное положение молекул в жидкости оказывается упорядоченным лишь в пределах двух-трех слоев (ближний порядок).

Молекулы жидкости, движущиеся хаотически и имеющие значительную кинетическую энергию, могут проходить соседние положения равновесия, не задерживаясь в них. Движение таких молекул подобно шарику, с большой скоростью проскакивающему углубления.

**Кристаллизация** (затвердевание) — фазовый переход вещества из жидкого состояния в кристаллическое (твердое).

Кристаллизация возникает при охлаждении жидкости. Сжатия жидкости при кристаллизации не происходит, так как молекулы в жидкости упакованы так же плотно, как и в твердом теле.

При охлаждении жидкости из-за уменьшения кинетической энергии молекулы начинают задерживаться около положения устойчивого равновесия. Так же колеблется шарик в достаточно глубокой яме и не может из нее выбраться .

Именно так происходит кристаллизация жидкости: при определенной температуре все молекулы оказываются в положении устойчивого равновесия, их относительное расположение становится упорядоченным.

При кристаллизации жидкости происходит резкий, скачкообразный переход от неупорядоченного расположения частиц к упорядоченному.

1.2.2.2. Плавление твердого тела

Подобно шарику, колеблющемуся в яме, молекулы твердого тела колеблются около положений равновесия, взаимодействуя с ближайшими соседями. Плавление твердого тела — процесс, обратный кристаллизации.

**Плавление** — фазовый переход вещества из кристаллического (твердого) состояния в жидкое.

При повышении температуры твердого тела возрастает кинетическая энергия колеблющихся молекул и соответственно амплитуда их колебаний. При определенной температуре, называемой температурой плавления, кинетическая энергия частиц становится достаточной для их перехода в соседнее положение.

При плавлении кристаллическая решетка разрушается. Из-за упорядоченного взаимного расположения молекулы в твердом теле связаны между собой примерно одинаковыми силами, поэтому разрушение связей происходит практически одновременно. Плавление твердого тела происходит при той же температуре, при которой это же вещество отвердевает.

Подводимое извне количество теплоты идет на разрушение кристаллической решетки, т. е. на увеличение потенциальной энергии молекул. Средняя кинетическая энергия молекул при плавлении не изменяется. Строгое постоянство температуры плавления льда позволило выбрать ее в качестве нуля отсчета температурной шкалы Цельсия.

1.2.3. Электрические свойства

Все вещества состоят из молекул, молекулы — из атомов. В центре атома находится состоящее из протонов (положительно заряженные частицы) и нейтронов (нейтрально заряженные частицы) ядро, вокруг него на своих орбитах вращаются электроны (отрицательно заряженные частицы).

Металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение. В узлах кристаллической решетки находятся положительно заряженные ионы. В пространстве между ними движутся свободные электроны, не связанные со своими атомами.

Свободные электроны движутся в металле беспорядочно. Если же создать в нем электрическое поле, то электроны начнут двигаться в направлении действия электрических сил, возникнет электрический ток.

**Электрический ток** — направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц, которое создается электрическим полем.

**Электрическое поле** — особая форма материи, существующая вокруг тел или частиц, обладающих электрическим зарядом, а также в свободном виде в электромагнитных волнах. Электрическое поле непосредственно невидимо, но может наблюдаться по его действию и с помощью приборов. Основным действием электрического поля является ускорение тел или частиц, обладающих электрическим зарядом.

Способность вещества проводить электрический ток называется электрической проводимостью.

**Диэлектрик** (изолятор) — вещество, содержащее только связанные заряды. Следовательно, они почти не проводят электрический ток. Электроны появляются в диэлектриках только при нагреве до высоких температур. Это многие виды резины, различные смолы, парафин, полиэтилен, слюда, керамика, эбонит, янтарь, стекло, шелк, мех, пластмассы.

Полупроводник по электропроводности занимают промежуточное место между проводниками и непроводниками (диэлектриками). В полупроводнике энергия связи электрона с атомом соизмерима с энергией его взаимодействия с соседним атомом. Свободные электроны могут образоваться в полупроводнике лишь при получении ими дополнительной энергии (в результате нагревания или под действием электрического поля).

**Полупроводник** — вещество, в котором количество свободных зарядов зависит от внешних условий (температура, напряженность электрического поля).

К полупроводникам относят вещества, составляющие 80% массы земной коры. Самым распространённым в природе полупроводником является кремний, составляющий почти 30 % земной коры.

Разная электропроводность тел объясняется тем, что сила притяжения электронов к ядру у проводников слабее, чем у диэлектриков. В присутствии электрического поля электроны металлов способны оторваться от атома и стать свободными. В диэлектриках связь электрона с ядром настолько велика, что электрические силы не в состоянии ее разорвать.

Способность любого электрона перемещаться и, следовательно, поддерживать электрический ток ограничивается его столкновениями с решеткой, а также с атомами примесей в твердом теле.

1.2.4. Магнитные свойства

Возьмем некоторое твердое вещество. Его намагниченность связана с магнитными свойствами частиц (молекул и атомов), из которых он состоит. Рассмотрим, какие контуры с током возможны на микроуровне.

Магнетизм атомов обусловлен двумя основными причинами:

1) движением электронов вокруг ядра по замкнутым орбитам (орбитальный магнитный момент);

2) собственным вращением (спином) электронов (спиновой магнитный момент).

**Магнетизм**— форма взаимодействия движущихся электрических зарядов, осуществляемая на расстоянии посредством магнитного поля.

**Магнитное поле** — силовое поле в пространстве, окружающем токи и постоянные магниты. Магнитное поле создается только движущимися зарядами и действуют только на движущиеся заряды.

**Магнит** — тело, обладающее собственным магнитным полем.

Наряду с электричеством, магнетизм — одно из проявлений электромагнитного взаимодействия.

От свойств среды зависит магнитное взаимодействие токов. Есть вещества, которые усиливают или уменьшают силу магнитного поля. Все вещества в той или иной степени магнитны. Их разделили на три группы: парамагнетики, диамагнетики и ферромагнетики.

**Парамагнетики** — это такие вещества, которые незначительно увеличивают магнитные поля.

Парамагнетики намагничиваются во внешнем магнитном поле другого вещества по направлению поля. Это свойство веществ называют парамагнетизмом. Поэтому они очень слабо притягиваются к магниту.

В неоднородном магнитном поле парамагнетики втягиваются в область сильного магнитного поля. Атомы (молекулы или ионы) парамагнетика обладают собственным магнитными моментами, которые под действием внешних полей ориентируются по полю и тем самым создают результирующее поле, превышающее внешнее. Парамагнетики втягиваются в магнитное поле. В отсутствие внешнего магнитного поля парамагнетик не намагничен, так как из-за теплового движения собственные магнитные моменты атомов ориентированы совершенно беспорядочно. Например парамагнетиками являются платина, алюминий, литий, калий, натрий.

**Магнитный момент**— основная величина, характеризующая магнитные свойства вещества. Магнитным моментом обладают элементарные частицы, атомные ядра, электронные оболочки атомов и молекул.

**Диамагнетики** — это такие вещества, которые незначительно уменьшают магнитные поля.

Диамагнетики намагничиваются против направления внешнего магнитного поля. Диамагнитные, по сравнению с пара- и ферромагнитными, вещества, ещё слабее отталкиваются от магнита. Все вещества, не обладающие одним из других типов магнетизма, являются диамагнитными; к ним относится большинство веществ. Это, например, пластики, медь, свинец, цинк, соль, серебро, золото, стекло. Человек в магнитном поле ведет себя как диамагнетик.

**Ферромагнетики** — это вещества (твердые), которые могут обладать спонтанной намагниченностью, т.е. намагничены уже при отсутствии внешнего магнитного поля. Ферромагнетики— материалы, которые обычно и считаются магнитными. Они притягиваются к магниту достаточно сильно — так, что притяжение ощущается. Ферромагнитные свойства вещества проявляются только тогда, когда соответствующее вещество находится в кристаллическом состоянии. Магнитные свойства ферромагнетиков сильно зависят от температуры, так как ориентации магнитных полей доменов (область намагниченности в ферромагнитном кристалле) препятствует тепловое движение. Для каждого ферромагнетика существует определенная температура, при котором доменная структура полностью разрушается, и ферромагнетик превращается в парамагнетик. Это значение температуры называется точкой Кюри. Так для чистого железа значение температуры Кюри приблизительно равно 900°C. Типичные представители ферромагнетиков – это железо, кобальт, никель и многие их сплавы.

1.2.5. Оптические свойства

**Оптика** — раздел физики, в котором изучается свет.

Оптические свойства твёрдых тел очень разнообразны. В основном — это отражение, преломление и поглощение света.

Наблюдения показывают, что свет нагревает тела, значит, он передает энергию.

**Свет** — в физической оптике электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом.

Свет может рассматриваться либо как электромагнитная волна, скорость распространения в вакууме которой постоянна, либо как поток фотонов.

**Фотон** — элементарная частица, квант (неделимая часть) электромагнитного излучения (в узком смысле — света). Это безмассовая частица, способная существовать в вакууме только двигаясь со скоростью света. Электрический заряд фотона равен нулю.

**Как проходит свет через твердые тела.** Известно, что в центре атома находится состоящее из протонов и нейтронов ядро, вокруг него на своих орбитах вращаются электроны. Свет можно представить, как поток фотонов. Все зависит от того, как происходят столкновения электронов с фотонами. Например, когда по вращающемуся вокруг протона электрону ударяется фотон, то вся его энергия переходит к электрону. Фотон поглощается им и исчезает. В свою очередь, электрон получает дополнительную энергию (ту, которая была у фотона) и с ее помощью перемещается на более высокую орбиту, начиная таким образом вращаться дальше от ядра. Обычно дальние орбиты менее устойчивы, поэтому через некоторое время электрон выпускает взятую частицу и возвращается на свою устойчивую орбиту. Испущенный фотон отправляется в любую произвольную сторону, после чего поглощается каким-то соседним атомом. Он продолжит блуждать в веществе до тех пор, пока не излучится обратно или в конечном итоге не пойдет на нагрев этого вещества.

Важно то, что электронные орбиты расположены вокруг атомного ядра не хаотично. У атомов каждого химического элемента имеется четко сформированный набор уровней или орбит, то есть электрон не в состоянии подняться выше или опуститься пониже. Он имеет возможность перескочить только на четкий промежуток вниз или вверх. А все эти уровни отличаются разной энергией. Поэтому выходит, что только фотон с какой-то определенной, точно заданной энергией в состоянии направить электрон на более высокую орбиту.

Выходит, что среди всех летящих фотонов с разными показателями заряда энергии только тот стыкуется с атомом, у которого энергия будет точно равна разнице энергий между уровнями отдельно взятого конкретного атома. Остальные пролетят мимо и не смогут сообщить электрону заданную порцию энергии для возможности перехода на другой уровень. Так свет проходит сквозь вещества.

В однородной среде свет распространяется прямолинейно. При особых условиях прямолинейность распространения света нарушается. Свет на границе между телами испытывает преломление, отражение и поглощение.

При падении световых излучений на поверхность тела часть света отражается от этой поверхности. Это явление называется **отражением света**. Например, Луна, в отличие от звезд, в том числе и Солнца, не излучает света, однако может отражать чужой. Поэтому лунный свет — это всего лишь солнечные лучи, отраженные от поверхности Луны.

Металлы в основном имеют высокий коэффициент отражения света в видимой области спектра, много диэлектриков прозрачные, как, например, стекло.

Прозрачность стекла объясняется тем, что электроны в его атомах расположены на таких орбитах, что для их перехода на более высокий уровень необходима энергия, которой недостаточно у фотона видимого света. По этой причине фотон не сталкивается с атомами и достаточно легко проходит сквозь стекло.

Бывает так, что часть излучений проникает внутрь тела и распространяется в нем, изменив направление. Это явление называется **преломлением света**. Например, ложка, опущенная в стакан с водой, кажется надломленной на границе воды и воздуха. Это объясняется тем, что световой пучок при переходе из одной среды в другую меняет свое направление.

Причина преломления света: изменение скорости света в слу­чае перехода из одной среды в другую. В любой другой среде скорость света меньше, чем в вакууме. В твердых телах скорость света меньше всего.

Так же бывает так, что часть излучений, попав внутрь тела, может поглотиться, превратившись в другой вид энергии. Это явление называется **поглощение света.**

Причина поглощения света, т.е. перехода энергии световой волны в тепловую энергию, следующая. Атомы вещества, внутри которых происходят вызванные световой волной колебания электронов, участвуют в хаотическом тепловом движении и сталкиваются друг с другом. При каждом столкновении энергия колебательного движения электронов переходит в энергию теплового движения атомов - происходит поглощение света.

В твердых телах, где взаимодействие между атомами велико, наблюдается большое поглощение.

Выводы

Их твердых тел состоят большинство окружающих нас предметов. У твердых тел есть множество свойств, которые используют люди в науке.

Например, электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел широко используются в радиотехнике и электротехнике, в приборостроении и т. п. Полупроводниковые приборы заменили электронные лампы; соленоиды заменяют электромагниты, которые применяются в металлургических заводах; создаются высокочастотные устройства и измерительные приборы, использующие проводники.

Современная наука и техника постоянно предъявляют высокие требования к механическим свойствам твердых тел. Например, широкое использование металлов связано с тем, что они обладают целым комплексом механических свойств: высокая прочность, твердость и упругость, и в то же время – хорошая пластичность и вязкость.

Но твёрдые тела, встречающиеся в природе, характеризуются бесконечным множеством разнообразных свойств, которые постоянно пополняются.