



**Министерство образования и науки РФ
Новгородский государственный
университет
имени Ярослава Мудрого**

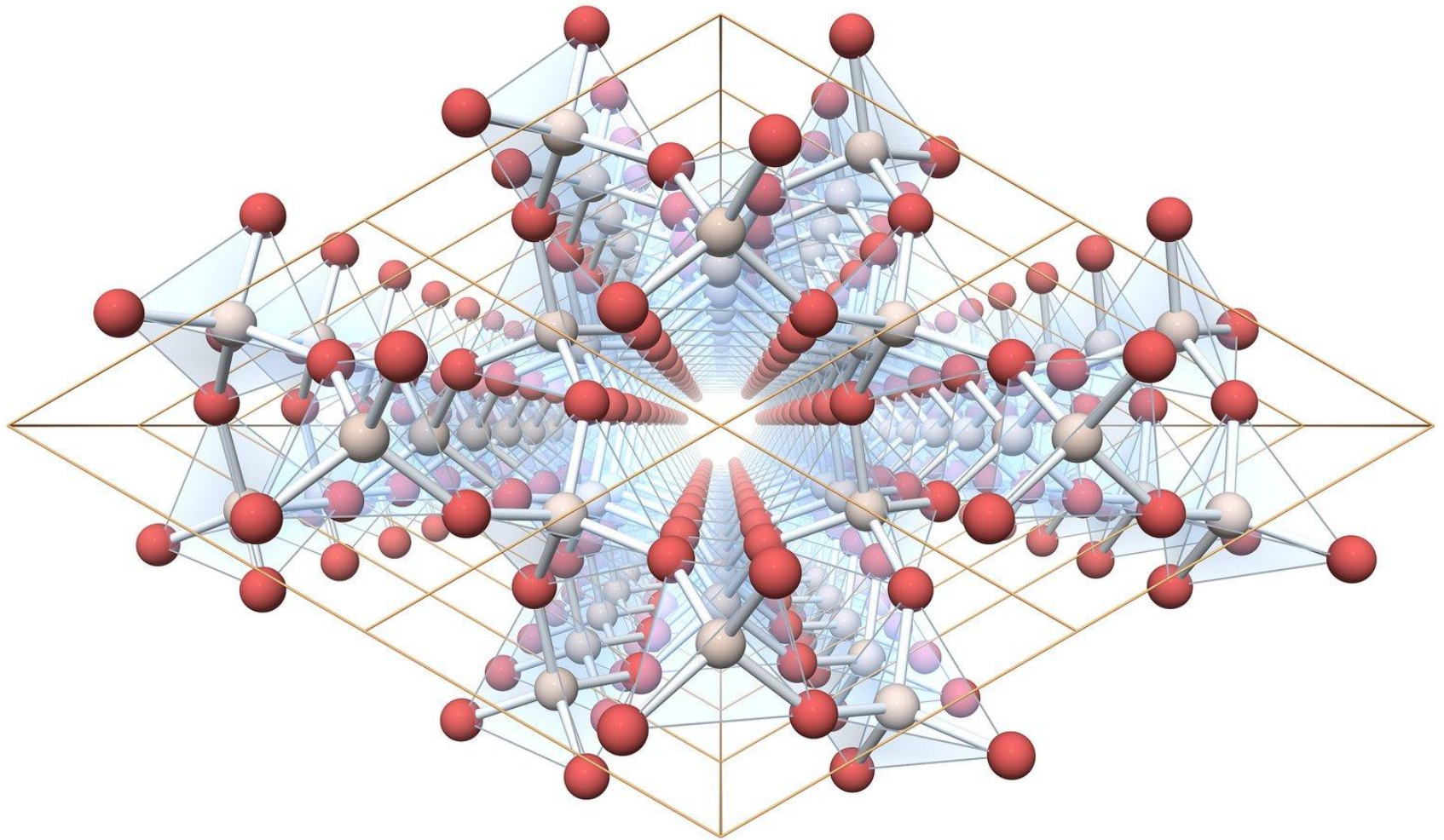
кафедра ТХО



**Учебно-методический комплекс: модуль
«Материаловедение промышленного
производства, разработан для бакалавров по
направлению 44.03.05**

Составитель : доцент кафедры Мельников

**Великий Новгород
2020 г.**



- **Материаловедением называют науку, изучающую взаимосвязь между составом, строением и свойствами материалов.**
- Современную промышленность характеризуют непрерывно растущая энергонапряженность, а также тяжелые условия эксплуатации машин (высокий вакуум, низкие или высокие температуры, агрессивные среды, высокая радиация и т.д.). Такие условия работы машин предъявляют к материалам особые требования. Для удовлетворения этих требований создано много сплавов на основе различных металлов.
- В современной технике широко применяют стали, обеспечивающие высокую конструктивную прочность, и сплавы, которые остаются прочными при высоких температурах, вязкими при температурах, близких к абсолютному нулю, обладающие высокой коррозионной стойкостью в агрессивных средах или другими физико-химическими свойствами.

Металловедение — наука, изучающая зависимость между составом, строением и свойствами металлов и сплавов и закономерности их изменения под воздействием внешних факторов: тепловых, химических, механических, электромагнитных и радиоактивных.

История науки

- Впервые существование связи между строением стали, и ее свойствами было установлено П.П.Аносовым (1799—1851 гг.).
- Важнейшие положения научного металловедения были заложены русским металлургом Д. К.Черновым (1839—1921 гг.). Д.К.Чернов в работе, опубликованной в 1868 г., показал, что в стали в твердом состоянии при ее нагреве (или охлаждении) до определенных температур (впоследствии названных критическими точками) происходят фазовые превращения, вызывающие значительные изменения свойств стали. В 1876 г. им были изложены основы современной теории кристаллизации металлов. Эти и последующие работы Д. К. Чернова создали фундамент современного металловедения и термической обработки стали.
- В начале XX в. большую роль в развитии металловедения сыграли работы Н.С. Курнакова, применившего для исследования металлов методы физико-химического анализа (электрический, дилатометрический, магнитный и др.).
- Широкое использование рентгеновского анализа, предпринятое с начала 20-х г., позволило установить кристаллическое строение металлических фаз и изучить изменения его в зависимости от обработки сплава. Эти важные исследования провели М. Лауэ и П. Дебай (Германия), Г. В. Вульф (СССР), У. Г. Брэгг и У. Л. Брэгг (Англия), А. Веетрен, В. Фрагмен (Швеция) и др.
- Начиная с 1928—1930 гг. большое внимание уделяется, теории фазовых превращений в сплавах. В числе работ, выполненных в этом направлении, следует отметить исследования Э. Бэйна и Р. Мейла (США) и Велера (Германия).
- После Великой Октябрьской революции (1917 г.), особенно в период индустриализации страны, были образованы многочисленные исследовательские лаборатории на заводах и втузах, а также был создан ряд специализированных исследовательских институтов, в которых развернулась широкая работа в области металловедения и термической обработки металлов. Большой вклад в развитие металловедения и технологии термической обработки внесли С. С. Штейнберг, Н. А. Минкевич, Г. В. Курдюмов А. М, Бочвар, А. А. Бочвар, С. Т. Кишкин, В. Д. Садовский, А. П. Гуляев и их школы.

■ Все металлы и сплавы принято делить на две группы:

- Железо и сплавы на его основе (сталь, чугун) называют *черными* металлами.

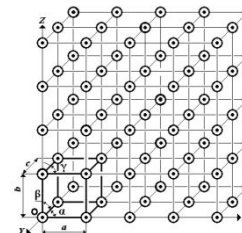
Наибольшее применение нашли черные металлы. На основе железа изготавливается не менее 90% всех конструкционных и инструментальных материалов. По сравнению с цветными металлами стоимость железа и его сплавов невелика.

- *цветными* - остальные металлы (Be, Mg, Al, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ag, Sr, W, Au, Hg, Pb и др.) и их сплавы - (табл. Дм. Менделеева)

Цветные металлы по сходным свойствам подразделяют на легкие металлы (Be, Mg, Al, Ti), обладающие малой плотностью (менее 3 г/см³); легкоплавкие металлы (Zn, Cd, Sn, Sb, Hg, Pb, Bi); тугоплавкие металлы (Ti, Cr, Zr, Nb, Mo, W, V и др.), с температурой плавления выше, чем у железа (1539°С); благородные металлы (Ph, Pd, Ag, Os, Pt, Au и др.), обладающие химической инертностью; урановые металлы (U, Th, Pa) — актиноиды, используемые в атомной технике; редкоземельные металлы (РЗМ), лантаноиды (Ce, Pr, Nd, Sm и др.) и сходные с ними итрий и скандий, применяемые как присадки к различным

Строение металлических материалов

- Атомы в металле в определенном порядке и располагаются на расстояниях друг от друга, соответствующих минимальной суммарной силе взаимодействия, образуя правильную кристаллическую решетку, соответствующую минимальной энергии взаимодействия.
- Таким образом, устойчивость металла, представляющего собой ионно-электронную систему, определяется силами притяжения и отталкивания между ионами и обобщенными электронами, образуя металлическую связь.
- Свойства кристаллов зависят от электронного строения атомов и характера взаимодействия их в кристалле, а так же от пространственного расположения атомов и их химического состава. Чистые металлы, как правило, обладают низкой прочностью и применяются сравнительно редко. Наиболее широко в современной технике используются сплавы, состоящие из двух или более элементов.
- Кристаллическая решетка представляет собой воображаемую пространственную сетку, в узлах которой располагаются атомы (ионы), образующие твердое кристаллическое тело.



- Жирными линиями выделен наименьший параллелепипед (кристалл), последовательным перемещением которого в пространстве вдоль трех осей может быть построена вся решетка или кристалл. Наименьший параллелепипед (кристалл), дающий представление об атомной структуре металла во всем объеме, называется элементарной ячейкой. Для описания элементарной ячейки кристаллической решетки используют три отрезка (a , b , c), равные расстояниям до ближайших соседей по осям координат, и три угла (α , β , γ) между этими отрезками. Соотношения между этими величинами определяются симметрией, согласно которой все кристаллы подразделяют на семь систем – сингоний.
- Большинство металлов имеют кристаллическую решетку одного из трех типов: Объемно-центрированный куб – ОЦК – имеют металлы: K, Na, Li, Ti, Zr, W, Ta, Fe α , Cr и др.; гранецентрированный куб – ГЦК – имеют металлы: Fe β , Sr, Tn, Pb, Ni, Ag, Au, Pd, Pt, Cu, Co α и др.; гексагональная плотноупакованная – ГПУ – имеют металлы: Mg, Ti α , Cd, Os, Zn, Co β и др.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Анизотропия и симметрия физических свойств являются наиболее характерными особенностями кристаллов, обусловленными симметрией их внутреннего строения.

При описании внутренней структуры кристаллов обычно пользуются понятием **кристаллической решетки**, которая представляет собой **регулярную пространственную сетку, узлам которой соответствуют атомы, ионы или молекулы, образующие кристалл.**

В периодической решетке всегда можно выделить **элементарную ячейку**, транслируя которую в пространстве легко получить представление о структуре всего материала.

В анизотропной кристаллической среде удобно ориентироваться с помощью трехмерной системы координат, выбираемой в соответствии с симметрией кристалла. **В общем случае это косоугольные координаты** с неодинаковыми масштабными отрезками по осям: $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$.

Направления кристаллографических осей координат соответствуют направлениям ребер элементарной ячейки, а масштабные отрезки по осям – длинам этих ребер.

Решетка, построенная путем параллельного переноса (трансляции) какого-либо узла по трем направлениям, называется **трансляционной решеткой**.

В 1848 г. французский кристаллограф О. Бравэ доказал, что существует всего 14 типов трансляционных решеток, отличающихся друг от друга соотношением длин и взаимной ориентацией ребер элементарной ячейки кристалла.

Эти пространственные решетки получили название **решеток Бравэ**.

Элементарные ячейки, содержащие частицы только в вершинах транслируемого параллелепипеда, называют **простыми или примитивными**.

Положение химических элементов в Периодической системе и типы решеток их простых веществ

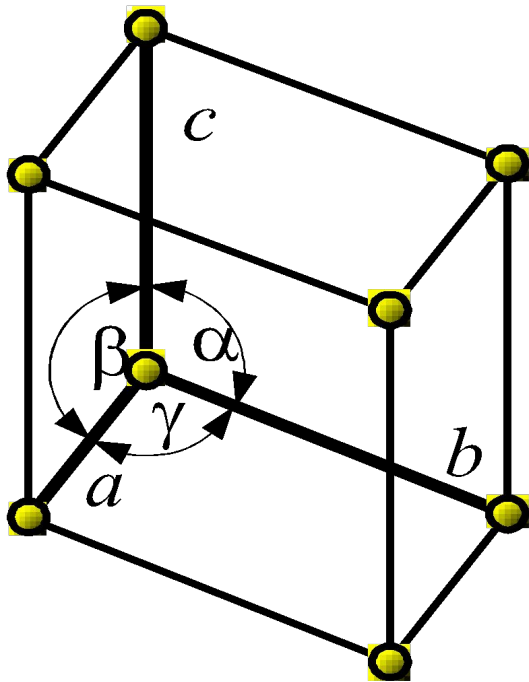
Период	Группа							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1							H ₂	He
2	Li	Be	B	C	N ₂	O ₂	F ₂	Ne
3	Na	Mg	Al	Si	P ₄	S ₈	Cl ₂	Ar
4	K	Ca...	Ga	Ge	As	Se	Br ₂	Kr
5	Rb	Sr...	In	Sn	Sb	Te	I ₂	Xe
Тип кристаллической решетки	Металлическая					Атомная	Молекулярная	

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Характеристика трансляционных групп пространственных решеток
Бравэ

во взаимосвязи с кристаллическими системами

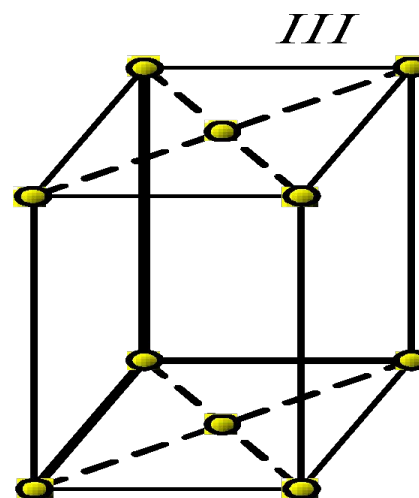
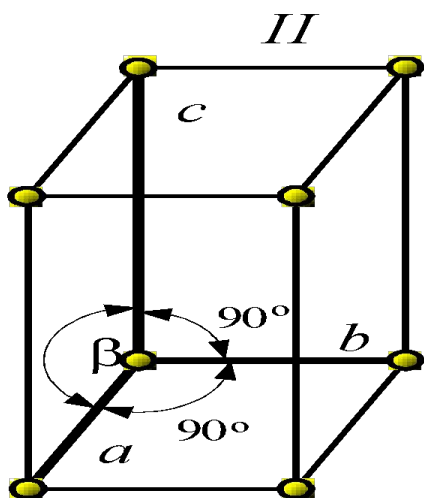
I



Кристаллическая система (сингония)	Пространственная решетка	Трансляционная группа
1. Триклинная	<i>I</i> – простая	$a \neq b \neq c ;$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Характеристика трансляционных групп пространственных решеток Бравэ во взаимосвязи с кристаллическими системами

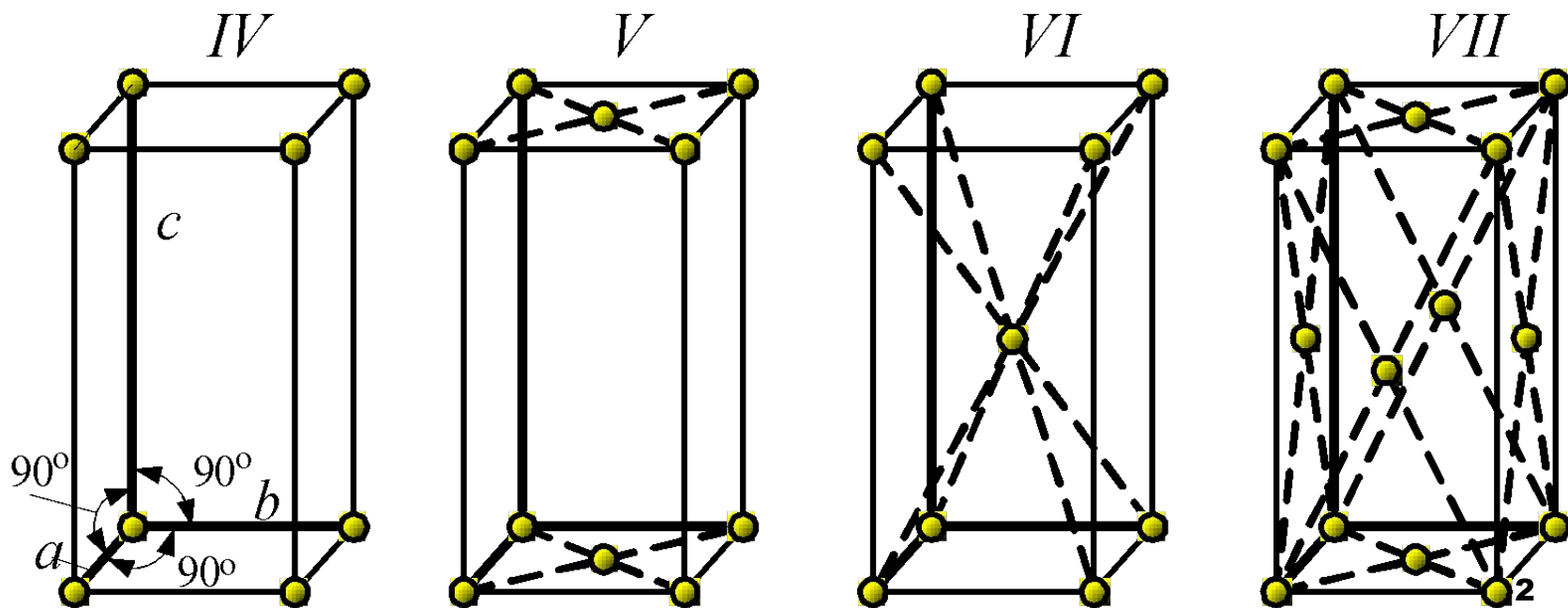


Кристаллическая система (сингония)	Пространственная решетка	Трансляционная группа
2. Моноклинная	<i>II</i> – простая <i>III</i> – базоцентрированная	$a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = 90^\circ$; $\beta \neq 90^\circ$

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Характеристика трансляционных групп пространственных решеток Бравэ

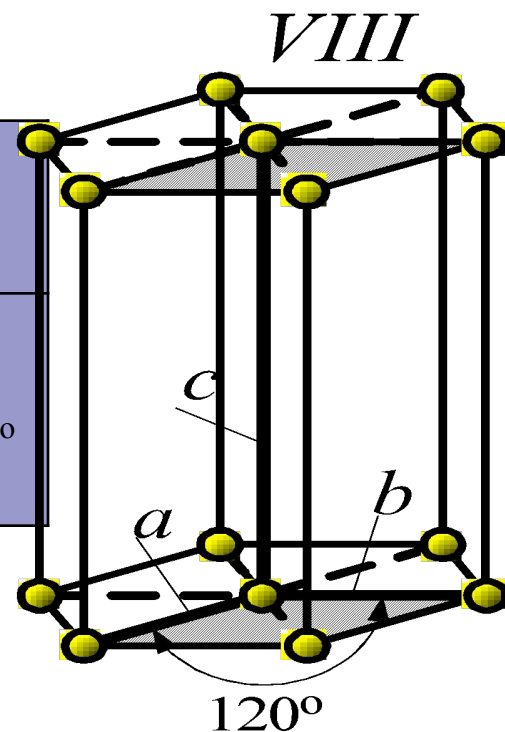
Кристаллическая система (сингония)	Пространственная решетка	Трансляционная группа
3. Ромбическая (орторомбическая)	<i>IV</i> – простая <i>V</i> – базоцентрированная <i>VI</i> – объемноцентрированная <i>VII</i> – гранецентрированная	$a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Характеристика трансляционных групп пространственных решеток Бравэ
во взаимосвязи с кристаллическими системами

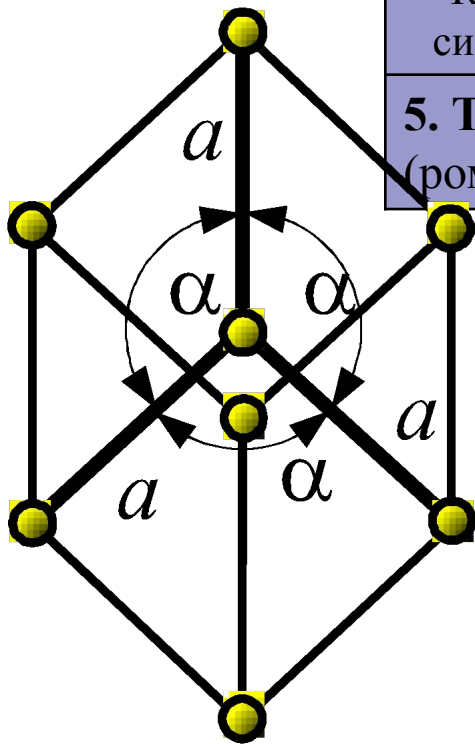
Кристаллическая система (сингония)	Пространственная решетка	Трансляционная группа
4. Гексагональная	<i>VIII</i> – простая	$a = b \neq c$; $\alpha = \beta = 90^\circ$; $\gamma = 120^\circ$



ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Характеристика трансляционных групп пространственных решеток Бравэ во взаимосвязи с кристаллическими системами

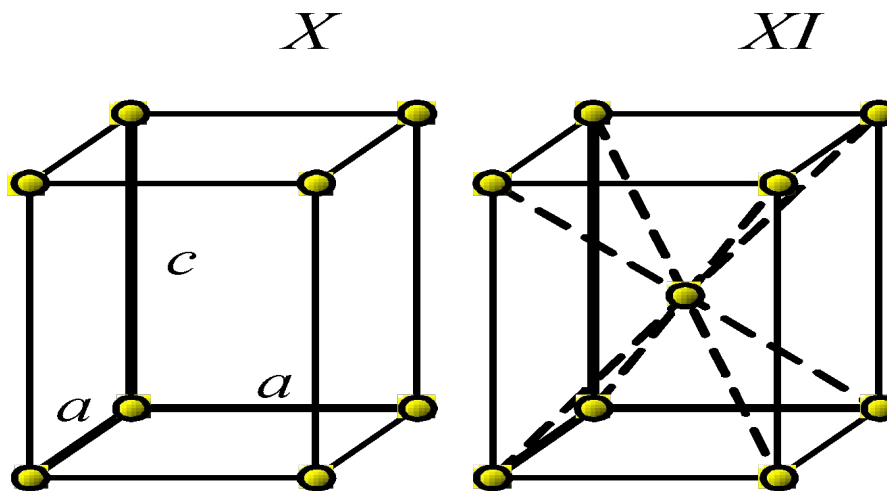
IX



Кристаллическая система (сингония)	Пространственная решетка	Трансляционная группа
5. Тригональная (ромбоэдрическая)	<i>IX</i> – ромбоэдрическая (примитивная)	$a = b = c ;$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$

Характеристика трансляционных групп пространственных решеток Бравэ во взаимосвязи с кристаллическими системами

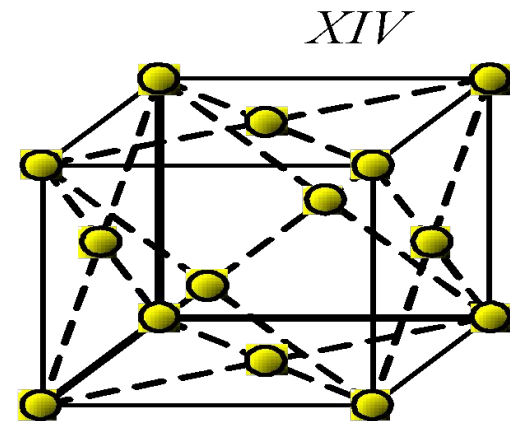
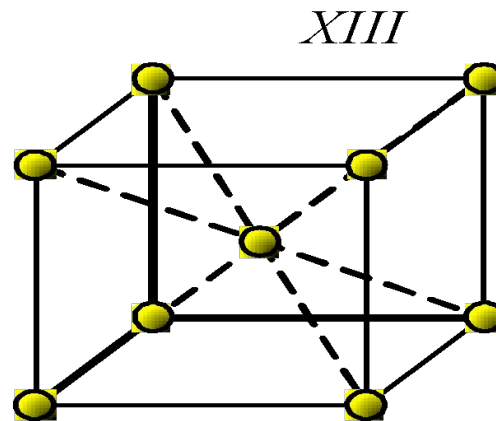
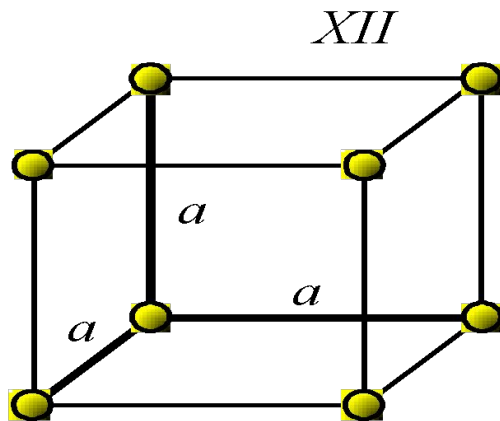
Кристаллическая система (сингония)	Пространственная решетка	Трансляционная группа
6. Тетрагональная	X – простая XI – объемноцентрированная	$a = b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Характеристика трансляционных групп пространственных решеток Бравэ

Кристаллическая система (сингония)	Пространственная решетка	Трансляционная группа
7. Кубическая	<i>XII</i> – простая <i>XIII</i> – объемно-центрированная <i>XIV</i> – гранецентрированная	$a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



Число атомов, содержащееся в элементарной кристаллической ячейке твердого тела называют кратностью кристаллической ячейки k

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Характеристика химических связей в различных кристаллических веществах

Тип Химической связи	Название вещества	Тип кристаллической структуры	Межатомное расстояние, Å	Энергия связи		Температура плавления, К
				кДж/моль	эВ / атом	
Ковалентная (гомеополярная) связь	Алмаз	Кубическая	1,544	711	7,38	4300
	Кремний	Тип алмаза	2,352	445,6	4,64	1687
	Карбид кремния	Гексагональная	1,888	1184	12,33	4320
	Германий	Тип алмаза	2,450	371,5	3,87	1209
Ионная (гетерополярная) связь	NaCl	Кубическая	2,820	758,6	7,90	1074
	KCl	Типа NaCl	3,147	693,7	7,22	1044
	AgBr	«	2,88	518,5	5,4	697
	BaF ₂	Флюорит	2,69	1628,6	17,3	1563
Металлическая связь	Алюминий	Г.ц.к.	2,863	320,7	3,34	933
	Железо	О.ц.к.	2,482	411,9	4,29	1813
	Медь	Г.ц.к.	2,556	337,1	3,50	1356
	Натрий	О.ц.к.	3,716	108,8	1,13	371
	Серебро	Г.ц.к.	2,89	285,1	2,96	1234
Молекулярная связь (связь Ван-дер-Ваальса)	Неон	Г.ц.к	3,13	1,88	0,02	24
	Аргон	«	3,76	7,74	0,08	84
	Ксенон	«	4,35	16,0	0,166	161
	Хлор	Тетрагональная	4,34	28,9	0,3	171
	Метан	Г.ц.к.	–	10,8	0,11	90

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Кристаллические материалы могут существовать как в форме крупных монокристаллов или достаточно тонких монокристаллических слоев, нанесенных на подложку, так и в виде поликристаллических веществ, представляющих собой совокупность большого числа сросшихся друг с другом сравнительно мелких кристаллических зерен (кристаллитов).

Под **монокристаллом** понимают однородное твердое тело периодического строения без явных макродефектов структуры, вызывающих нарушение дальнего порядка в расположении атомов, ионов или молекул.


В случае **поликристалла** в пределах каждого зерна также сохраняется упорядоченность структуры, однако регулярное расположение частиц нарушается на границах раздела, при переходе от одного зерна к другому. Граница между зернами представляет собой **переходной слой** толщиной $1 \div 5$ нм. Вследствие хаотической ориентации зерен в поликристаллических веществах отсутствует анизотропия физических свойств.

Реальный кристалл отличается от идеального наличием различных структурных несовершенств - дефектов, которые могут быть точечными, линейными, поверхностными и объемными. Размеры точечных дефектов близки к межатомному расстоянию. У линейных дефектов длина на несколько порядков больше ширины, у поверхностных дефектов мала толщина, а ширина и длина больше ее на несколько порядков. Объемные дефекты (поры, трещины) имеют значительные размеры во всех трех направлениях.

К точечным дефектам относятся вакансии, межузельные атомы основного вещества, чужеродные атомы внедрения и замещения.

Вакансией называется пустой узел кристаллической решетки. Атом, перемещенный из узла в позицию между узлами, называется межузельными. Если чужеродный атом находится между узлами или на ребрах решетки, то это атом внедрения, а в случае его расположения в свободном узле кристаллической решетки – атом замещения.

Важнейшими видами линейных несовершенств являются краевые и винтовые дислокации.



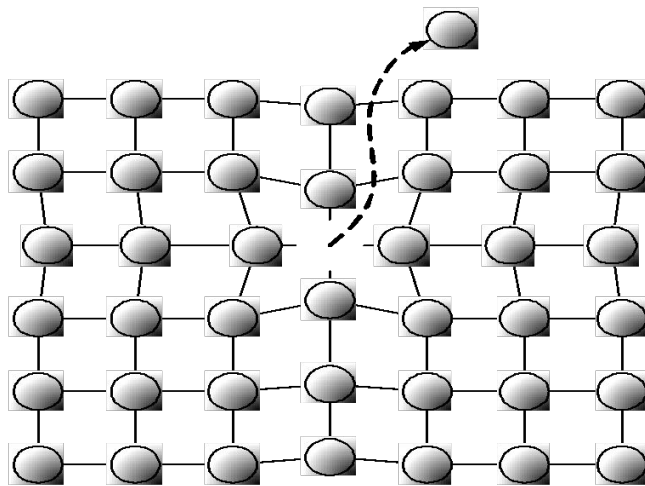
Реальное твердое тело имеет поликристаллическое строение, т.е. состоит из множества кристаллов, соприкасающихся между собой. Отдельные кристаллы, образованные из множества элементарных кристаллов, получили название «зерно».

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

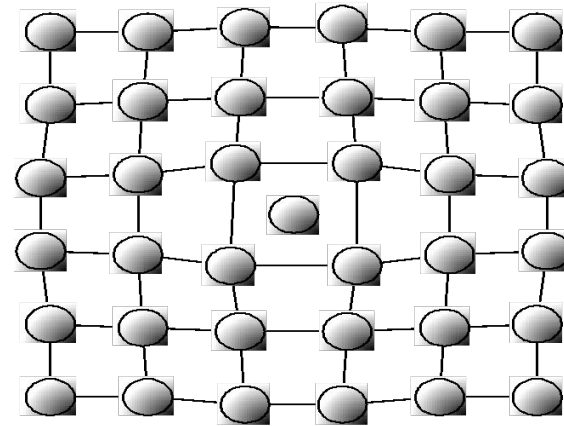
Динамические – тепловые колебания атомов

Статические – нарушения идеальности кристаллической решетки

Точечные дефекты структуры кристаллической решетки:



а



б

а – свободный узел решетки (вакансия);

б – собственный атом в междоузлии;

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

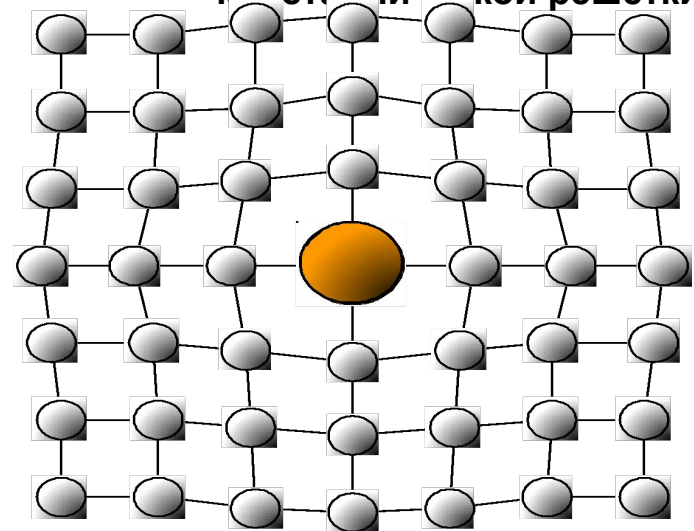
Динамические - тепловые колебания атомов

Статические – нарушения идеальности кристаллической решетки

Относительная концентрация точечных дефектов в реальных кристаллах, как правило, невелика, **НО** их влияние на физические свойства материалов оказывается весьма существенным.

Содержание некоторых примесей в количестве тысячных долей атомного процента может вызвать изменение удельного электрического сопротивления полупроводниковых кристаллов в $10^5 - 10^6$ раз.

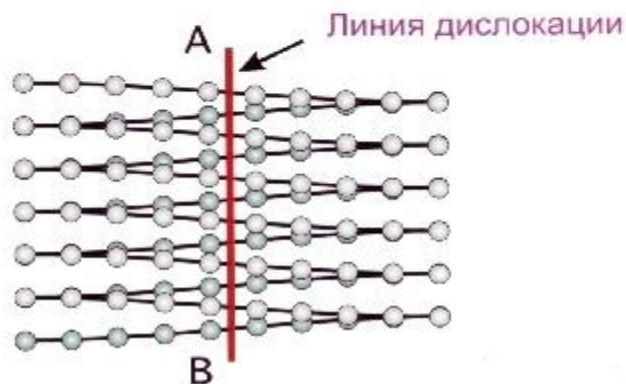
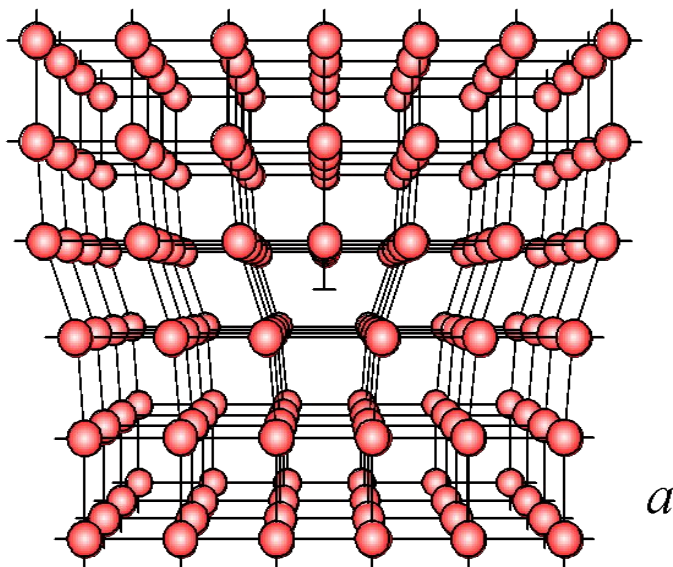
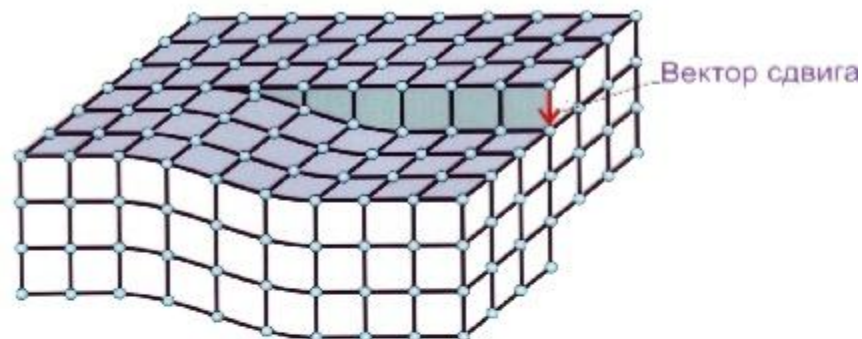
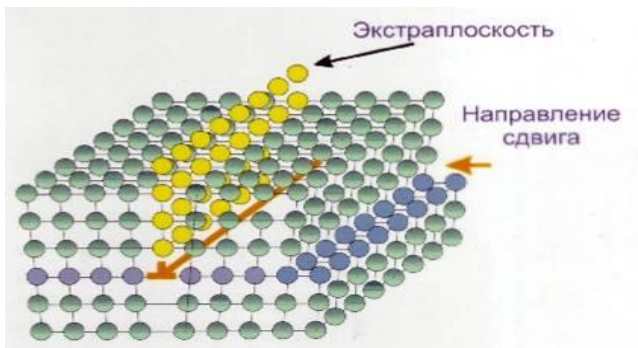
Точечные дефекты
структуры
кристаллической решетки



чужеродный атом в узле
решетки (атом примеси)

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

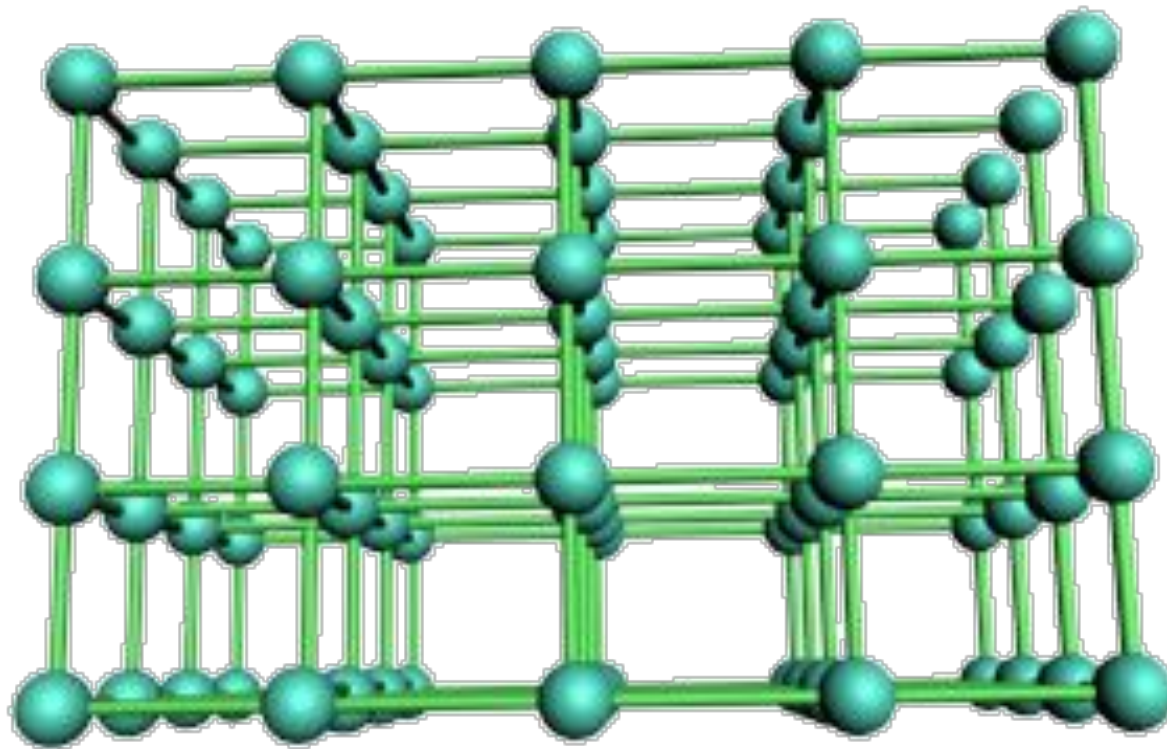
Протяженные дефекты структуры кристаллической решетки:



а – перспективное изображения расположения атомов вблизи краевой дислокации в кубической решетке;

б – модель винтовой дислокации

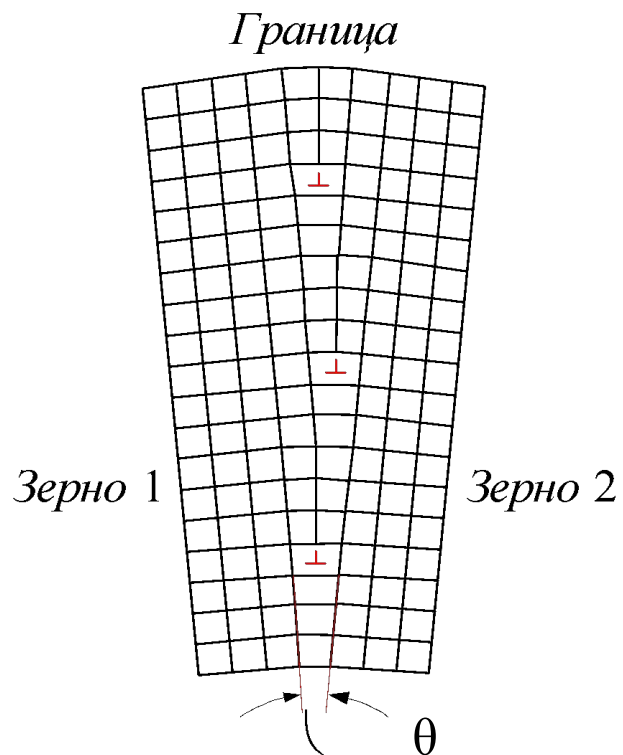
дефекты структуры кристаллической решетки



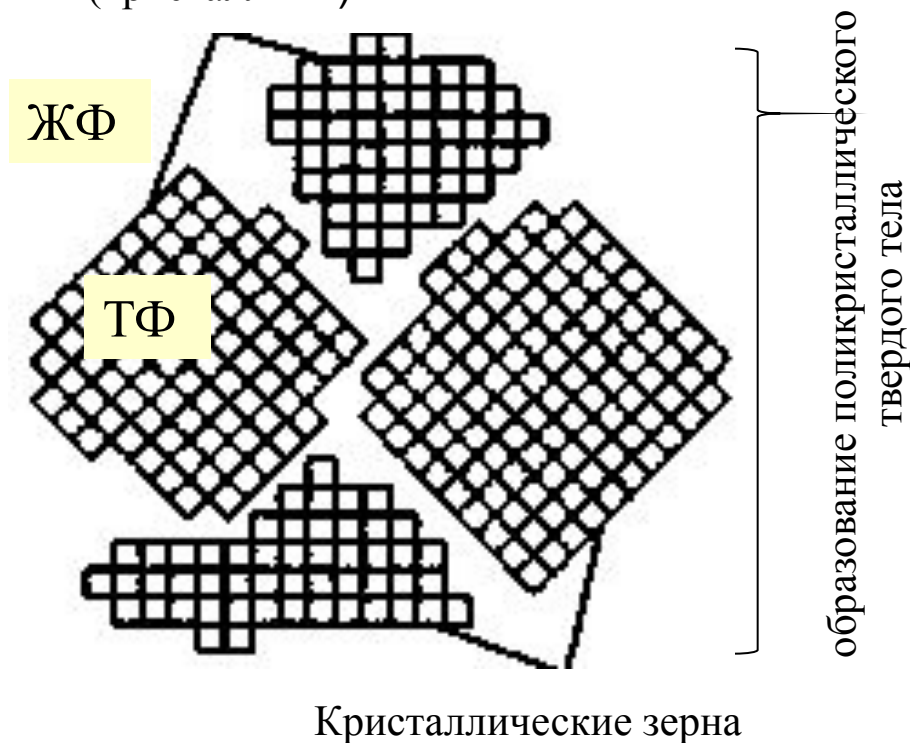
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Протяженные дефекты структуры кристаллической решетки:

Граница двух сросшихся зерен, разориентированных относительно друг друга на малый угол θ .



Кристаллические зерна (кристаллиты)



Полиморфизм (аллотропия)

Полиморфизм – способность твердых веществ образовывать две и более кристаллические структуры, устойчивые при различных температурах и давлениях. Отвечающие им кристаллические структуры называют полиморфными формами или аллотропными модификациями вещества.

Полиморфизм

Примером полиморфизма является низкотемпературное превращение белого олова (β -Sn) в серое (α -Sn), известное в технике как "оловянная чума"; полиморфизм у углерода – существование его в виде алмаза или графита.

Графит в обычных условиях графит является более устойчивой модификацией, чем алмаз. Однако при повышении давления устойчивость алмаза растет, а графита падает, и при достаточно высоких давлениях алмаз становится более устойчивым.

Если при этом повысить температуру, чтобы увеличить подвижность атомов, то графит можно перевести в алмаз (получение искусственных алмазов). Синтез проводится под давлением порядка 10^{10} Па при температуре на уровне 2000°C .

Искусственные алмазы имеют более высокую прочность и твердость, нежели природные кристаллы.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Твердые тела, которые характеризуются случайным хаотичным расположением частиц, называют **аморфными**. В отличие от кристаллов аморфные тела изотропны по свойствам, не имеют определенной температуры плавления и характеризуются достаточно широким температурным интервалом размягчения (стекла и многие пластики).

В стеклах при отсутствии периодичности в строении наблюдается определенный *ближний порядок*, т.е. закономерное расположение ближайших соседей относительно каждого атома.

Стеклообразное состояние – состояние сильно *переохлажденной жидкости*, т.е. жидкости с очень высокой вязкостью. Именно высокая вязкость ограничивает диффузионную активность атомов и препятствует образованию кристаллической фазы. Такое состояние термодинамически неустойчиво и при отжиге может происходить "расстекловывание" материала, т.е. переход в более устойчивое кристаллическое состояние (*помутнение стекол*).

Полиморфизм (аллотропия)

- Аллотро́пия (от др.-греч. ἄλλος — «другой», τρόπος — «поворот, свойство») — существование двух и более простых веществ одного и того же химического элемента, различных по строению и свойствам — так называемых аллотропных (или аллотропических) модификаций или форм*.
- Явление аллотропии обусловлено либо различным составом молекул простого вещества (аллотропия состава), либо способом размещения атомов или молекул в кристаллической решётке (аллотропия формы).

* История - понятие аллотропии введено в науку Й. Берцелиусом в 1841 году для обозначения разных форм существования элементов; одновременно он предполагал, по-видимому, применить его и к изомерии соединений. После принятия гипотезы А. Авогадро в 1860 году стало понятно, что элементы могут существовать в виде многоатомных молекул, например, O_2 — кислород и O_3 — озон. В начале XX века было признано, что различия в кристаллической структуре простых веществ (например, углерода или фосфора) также являются причиной аллотропии. В 1912 году В. Оствальд отметил, что аллотропия элементов является просто частным случаем полиморфизма кристаллов, и предложил отказаться от этого термина. Однако по настоящее время эти термины используются параллельно. Аллотропия относится только к простым веществам, независимо от их агрегатного состояния; полиморфизм — только к твёрдому состоянию независимо от того, простое это вещество или сложное. Таким образом, эти термины совпадают для простых твёрдых веществ (кристаллическая сера, фосфор, железо и др.).

Примеры аллотропии

- В настоящее время известно более 400 разновидностей простых веществ. Способность элемента к образованию аллотропных форм обусловлена строением атома, которое определяет тип химической связи, строение молекул и кристаллов.
- Как правило, большее число аллотропных форм образуют элементы, имеющие переменные значения координационного числа или степени окисления (олово, фосфор). Другим важным фактором является катенация — способность атомов элемента образовывать гомоцепные структуры (например, сера).
- Склонность к аллотропии более выражена у неметаллов, за исключением галогенов, благородных газов, и полуметаллов.

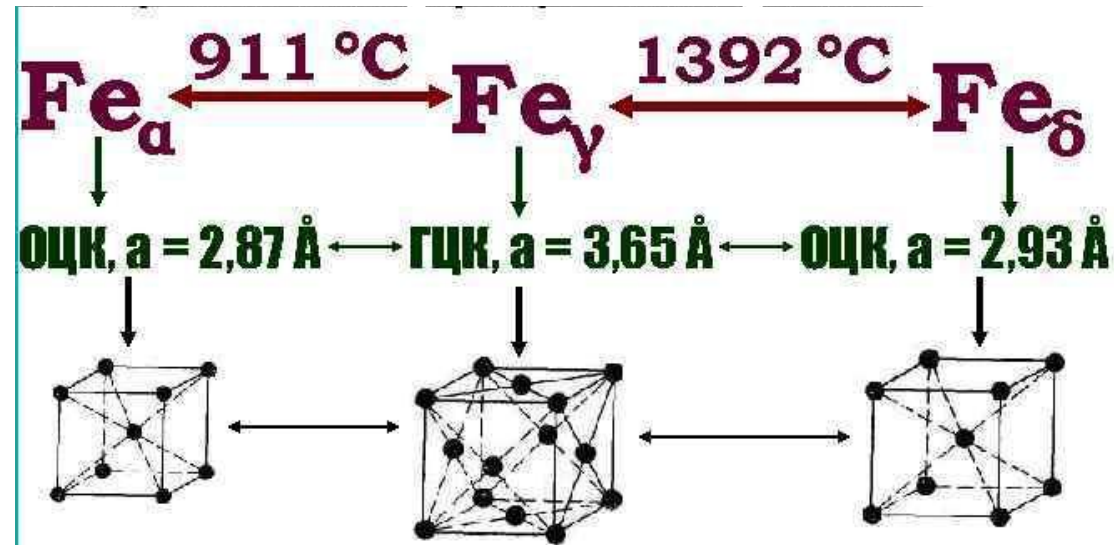
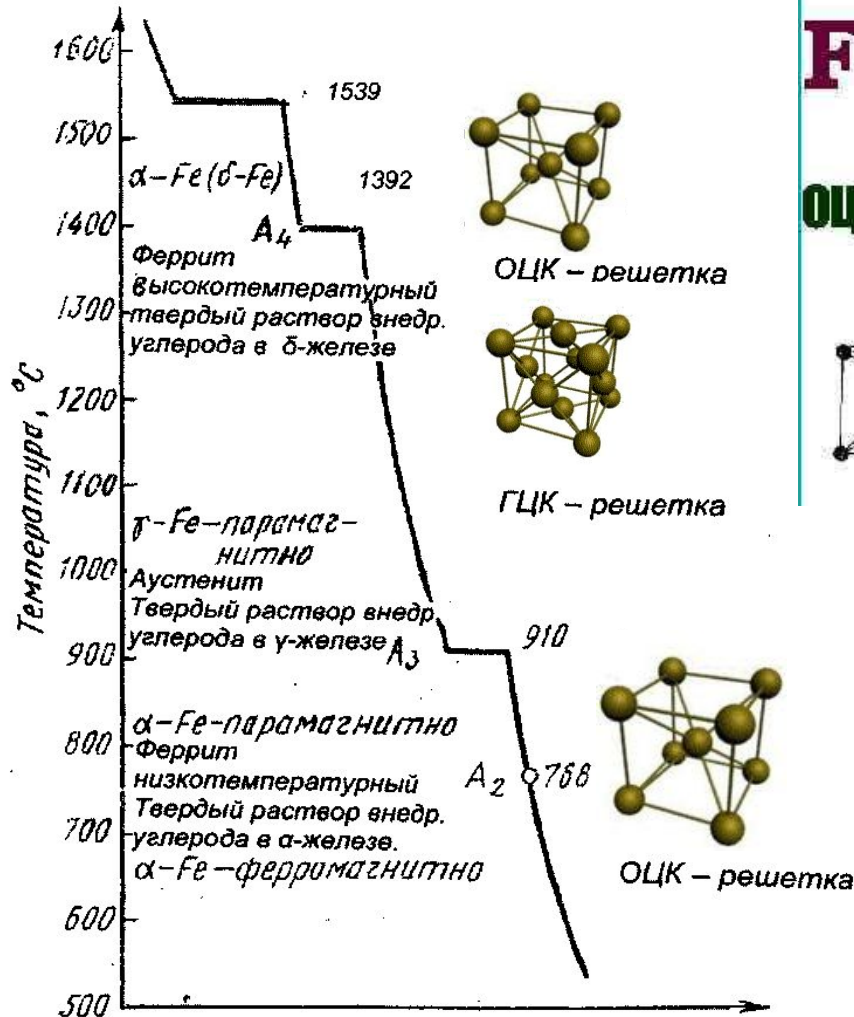
(Принято обозначать различные аллотропические формы одного и того же элемента строчными буквами греческого алфавита; причём форму, существующую при самых низких температурах, обозначают буквой α , при более высоких температурах — β , γ и т. д.)

Аллотропия металлов

- Существуют среди металлов, которые встречаются в природе в больших количествах (до *U*, без *Tc* и *Pm*), 28 имеют аллотропные формы при атмосферном давлении: *Li, Be, Na, Ca, Sc, Ti, Mn, Fe, Co, Sr, Y, Zr, Sn, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Yb, Hf, Tl, Th, Pa, U*.
- Существуют аллотропные формы ряда металлов, образующиеся при их технологической обработке: *Ti* при 882°C, *Fe* при 912°C и 1394°C, *Co* при 422°C, *Zr* при 863°C, *Sn* при 13°C и *U* при 668°C и 776°C.

Элемент	Аллотропные модификации
Олово:	Олово существует в трех аллотропных модификациях. Серое олово (α -Sn) мелкокристаллический порошок, полупроводник, имеющий алмазоподобную кристаллическую решётку, существует при температуре ниже 13,2 °С. Белое олово (β -Sn) — пластичный серебристый металл, устойчивый в интервале температур 13,2—161 °С. Высокотемпературное гамма-олово (γ -Sn), имеющее ромбическую структуру, отличается высокой плотностью и хрупкостью, устойчиво между 161 и 232 °С (температура плавления чистого олова).
Железо:	Для железа известны четыре кристаллические модификации: до 769 °С (точка Кюри) существует α -Fe (феррит) с объёмноцентрированной кубической решёткой и свойствами ферромагнетика; в температурном интервале 769—917 °С существует β -Fe, который отличается от α -Fe только параметрами объёмноцентрированной кубической решётки и магнитными свойствами парамагнетика; в температурном интервале 917—1394 °С существует γ -Fe (аустенит) с гранецентрированной кубической решёткой; выше 1394 °С устойчиво δ -Fe с объёмноцентрированной кубической решёткой
Лантаноиды:	Церий, самарий, диспрозий и иттербий имеют по три аллотропических модификации; празеодим, неодим, гадолиний и тербий — по две.
Актиноиды:	Для всех актиноидов, кроме актиния, характерен полиморфизм. Кристаллические структуры протактиния, урана, нептуния и плутония по своей сложности не имеют аналогов среди лантаноидов и более похожи на структуры 3d-переходных металлов. Плутоний имеет семь полиморфных модификаций (в том числе, при обычном давлении — 6), а уран, прометий, нептуний, америций, берклий и калифорний — три. Лёгкие актиноиды в точке плавления имеют объёмно-центрированную решётку, а начиная с плутония — гранецентрированную.

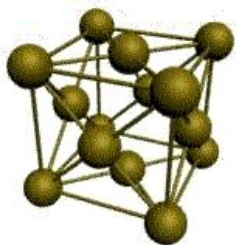
Аллотропическое превращение железа



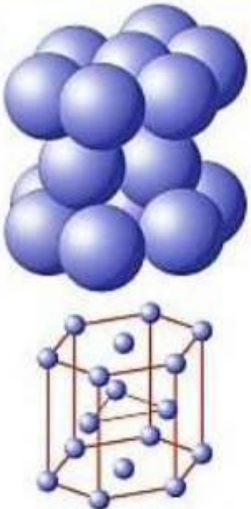
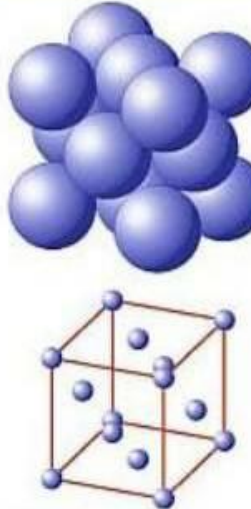
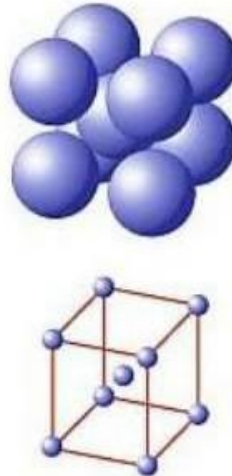
Кристаллическое строение Me, алмаза и др.

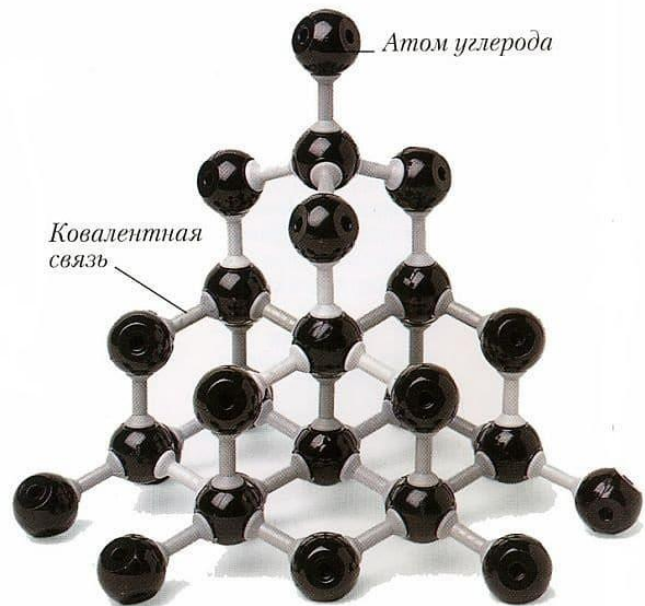
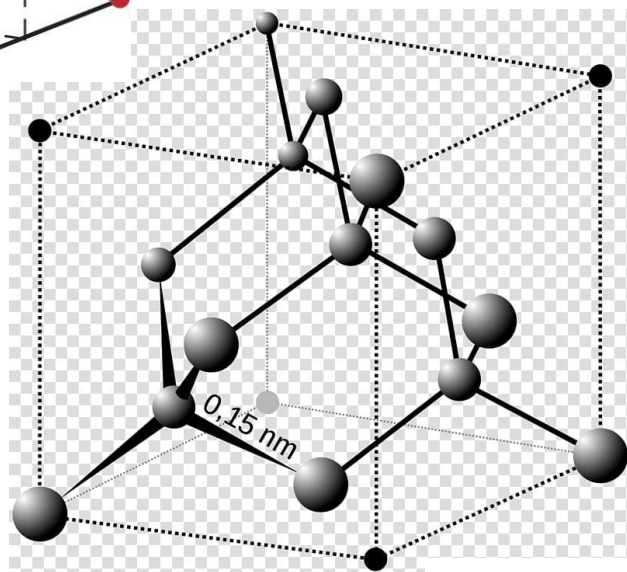
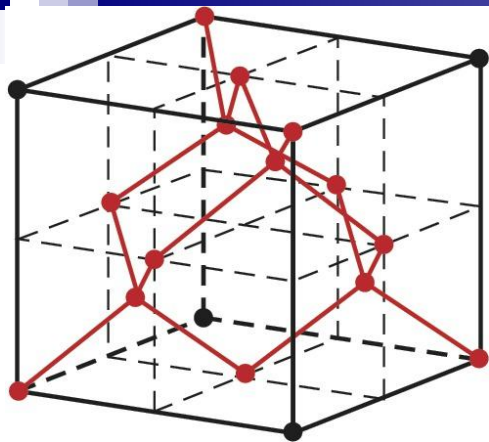
Характеристика химических связей в различных кристаллических веществах

Тип Химической связи	Название вещества	Тип кристаллической структуры	Межатомное расстояние, Å	Энергия связи		Температура плавления, К
				кДж/моль	эВ /атом	
Ковалентная (гомополярная) связь	Алмаз	Кубическая	1,544	711	7,38	4300
	Кремний	Тип алмаза	2,352	445,6	4,64	1687
	Карбид кремния	Гексагональная	1,888	1184	12,33	4320
	Германий	Тип алмаза	2,450	371,5	3,87	1209
Ионная (гетерополярная) связь	NaCl	Кубическая	2,820	758,6	7,90	1074
	KCl	Типа NaCl	3,147	693,7	7,22	1044
	AgBr	«	2,88	518,5	5,4	697
	BaF ₂	Флюорит	2,69	1628,6	17,3	1563
Металлическая связь	Алюминий	Г.ц.к.	2,863	320,7	3,34	933
	Железо	О.ц.к.	2,482	411,9	4,29	1813
	Медь	Г.ц.к.	2,556	337,1	3,50	1356
	Натрий	О.ц.к.	3,716	108,8	1,13	371
	Серебро	Г.ц.к.	2,89	285,1	2,96	1234
Молекулярная связь (связь Ван-дер-Ваальса)	Неон	Г.ц.к.	3,13	1,88	0,02	24
	Аргон	«	3,76	7,74	0,08	84
	Ксенон	«	4,35	16,0	0,166	161
	Хлор	Тетрагональная	4,34	28,9	0,3	171
	Метан	Г.ц.к.	–	10,8	0,11	90

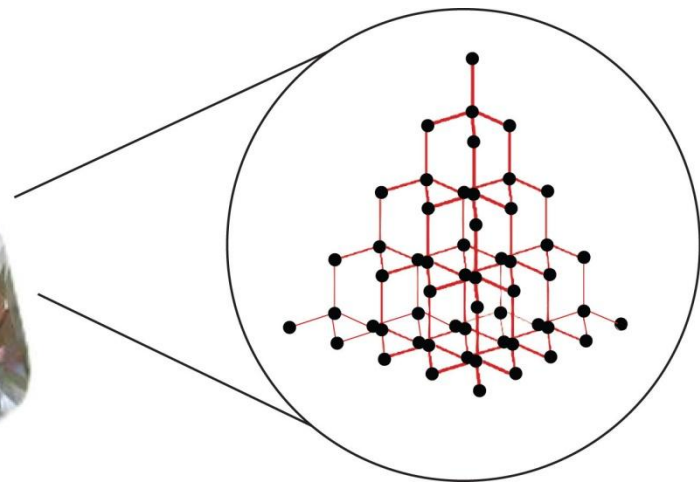


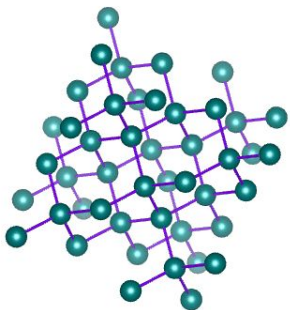
РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ УПАКОВКИ МЕТАЛЛОВ (ТРЕХМЕРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ)

<p>Гексагональная плотная упаковка</p>	<p>Гранецентрированная кубическая упаковка</p>	<p>Объемноцентрированная кубическая упаковка</p>
<p>а</p> 	<p>б</p> 	<p>в</p> 
<p>Типичные представители</p>	<p>Типичные представители</p>	<p>Типичные представители</p>
<p>Магний, титан, кобальт, цинк, кадмий</p>	<p>Алюминий, кальций, никель, медь, свинец, серебро, золото</p>	<p>Щелочные металлы, барий, ванадий, хром, железо</p>

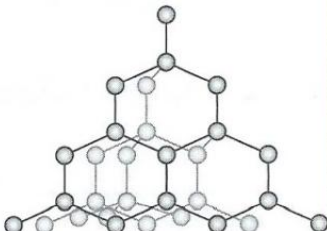
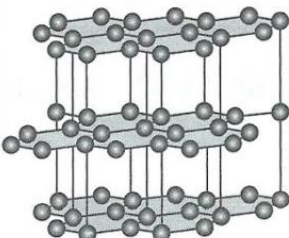
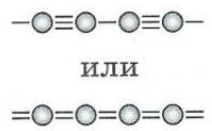
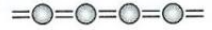
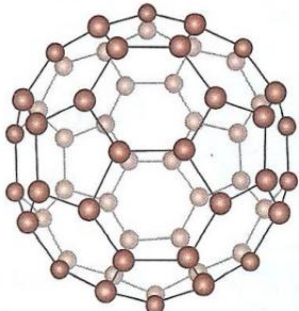


СТРУКТУРА АЛМАЗА





АЛЛОТРОПНЫЕ МОДИФИКАЦИИ УГЛЕРОДА

Название	Алмаз	Графит	Карбины	Фуллерены
Строение	Состоит из связанных между собой тетраэдров 	Состоит из слоёв шестиугольников 	Состоит из линейных макромолекул  или 	Состоит из молекул C ₆₀ или C ₇₀ (полые сферы) 
Плотность, г/см ³	3,52	2,27	3,27	1,7
Цвет	□ Бесцветный	■ Серо-чёрный	□ Бесцветный	■ Тёмно-красный



Переходы аллотропии

- Энантиотропный переход - переход одной аллотропной модификации в другую происходит при изменении температуры или давления (или одновременном воздействии обоих факторов) и связан со скачкообразным изменением свойств вещества.
- Этот процесс бывает обратимым (энантиотропным) и необратимым (монотропным). Примером энантиотропного перехода может служить превращение ромбической серы в моноклинную α -S (ромб.) \leftrightarrow β -S (монокл.) при $95,6^\circ\text{C}$. При обычной температуре стабильной является ромбическая модификация серы, которая при нагревании до $95,6^\circ\text{C}$ при нормальном давлении переходит в моноклинную форму. Последняя при охлаждении ниже $95,6^\circ\text{C}$ вновь переходит в ромбическую форму.
- Таким образом, переход одной формы серы в другую происходит при одной и той же температуре, и сами формы называются энантиотропными.

Монотропные переходы

К монотропному переходу относится:

- превращение белого фосфора P_4 под давлением 1,25 ГПа и температуре 200°C в более стабильную модификацию — чёрный фосфор. При возвращении к обычным условиям обратный переход не происходит. Переход из нестабильной формы в стабильную в принципе возможен при любой температуре, а обратный — нет, то есть определенная точка перехода отсутствует.
- Ещё один пример — превращение графита в алмаз при давлении 6 ГПа и температуре 1500°C в присутствии катализатора (никель, хром, железо и другие металлы), то есть при условиях термодинамической устойчивости алмаза. Тогда как алмаз легко и быстро переходит в графит при температурах выше 1000°C . В обоих случаях давление способствует превращению, поскольку образуются вещества с более высокой плотностью, чем исходные.
- Три известные модификации олова переходят друг в друга различным образом. При обычных условиях устойчиво $\beta\text{-Sn}$ (пластичное белое олово) с тетрагональной кристаллической решеткой. Выше 173°C $\beta\text{-Sn}$ энантиотропно превращается в хрупкую модификацию $\gamma\text{-Sn}$, а ниже $13,2^\circ\text{C}$ $\beta\text{-Sn}$ переходит монотропно в порошкообразное $\alpha\text{-Sn}$ (серое олово) с кубической решёткой типа алмаза. Этот полиморфный переход происходит с малой скоростью, но резко ускоряется в контакте с серым оловом — плотные куски белого олова рассыпаются в пыль («оловянная чума»). (Обратный процесс возможен только путём переплавки).