

Ставропольский государственный аграрный университет



кафедра технического
сервиса, стандартизации и
метрологии

ЛЕКЦИЯ

2

Кристаллическое строение материалов

2. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

- Твердые тела делят на *кристаллические и аморфные*.
- *Кристаллические тела* при нагреве остаются твердыми до определенной температуры (температуры плавления), при которой они переходят в жидкое состояние.
- *Аморфные тела* при нагреве размягчаются в большом температурном интервале; сначала они становятся вязкими и лишь затем переходят в жидкое состояние.

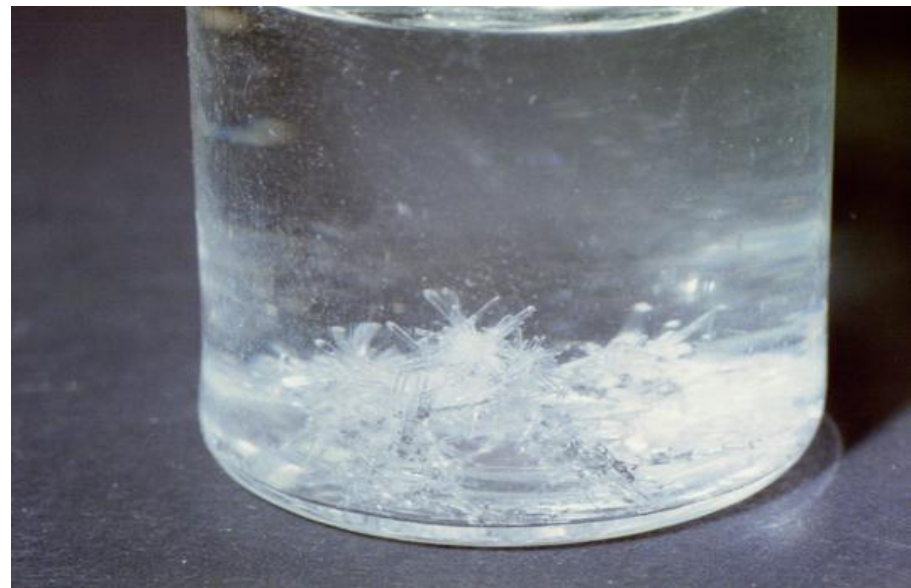
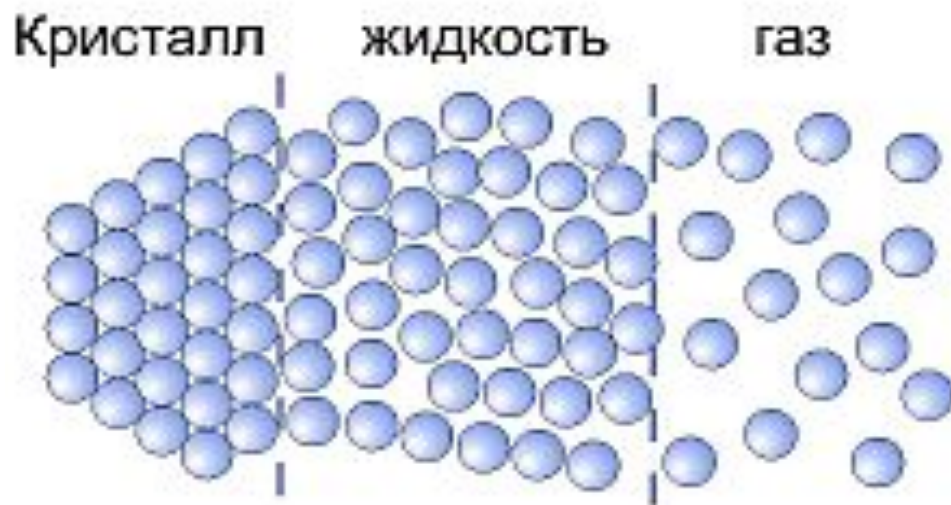
Все металлы и их сплавы — тела кристаллические.

Для описания кристаллической структуры металлов пользуются понятием *кристаллической решетки*.

- *Кристаллическая решетка металлов* — это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой располагаются атомы (ионы), образующие металл. Частицы вещества (ионы, атомы), из которых построен кристалл, *расположены в определенном геометрическом порядке*, который периодически повторяется в пространстве.
- *В кристаллах аморфных тел* (стекло, пластмассы) *атомы располагаются в пространстве беспорядочно, хаотично*.
- Формирование кристаллической решетки в металле происходит следующим образом. При переходе металла из жидкого в твердое состояние расстояние между атомами сокращается, а силы взаимодействия между ними возрастают

Всякое вещество может находиться в 3-х агрегатных состояниях :

твердом, жидком, газообразном .



Т.О жидкое состояние является промежуточным между твердым и газообразным.

НО! При соответствующих условиях возможен непосредственный переход из твердого состояния в газообразное без расплавления – этот переход называется **сублимацией**

Правильное, закономерное расположение частиц(атомов, молекул) в пространстве характеризует **кристаллическое строение**.

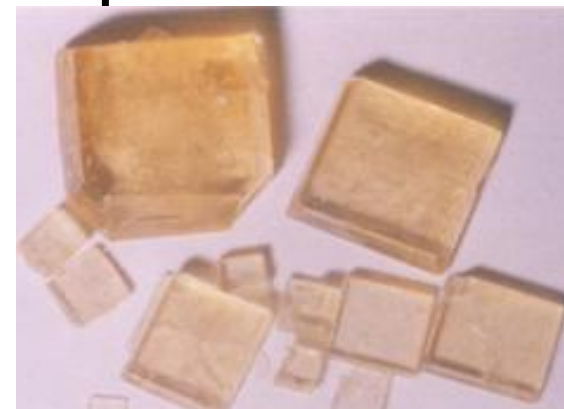
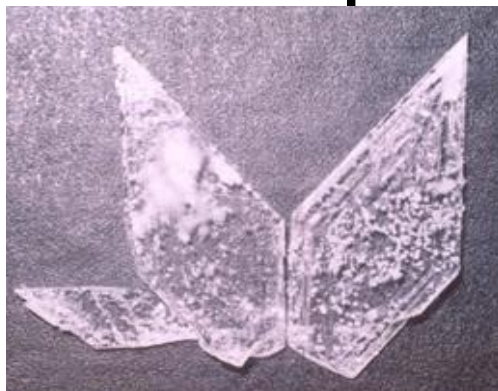
Каждое твердое вещество имеет свою форму кристаллов в зависимости от строения кристаллической решетки:



Кристаллы твердых веществ



Кристаллы твердых веществ



Превращение жидкости в твердое вещество



Кристаллическое строение металлов и сплавов.

В большинстве случаев техника использует кристаллические материалы. Субструктура материала - кристаллическое строение наряду с химическим составом определяет все свойства.

В реальных металлах кристаллы выпадают из расплавов при охлаждении и создаются физико-химическими процессами при нагреве твердого тела.

Атомы в кристаллах расположены закономерно в узлах кристаллической решетки или в местах пересечения кристаллических плоскостей.

Все пространство кристалла можно разбить на элементарные ячейки.

Повторяя в пространстве элементарную ячейку, можно описать весь кристалл.

Простейшей кристаллической ячейкой является куб, по вершинам которого располагаются атомы.

Основные типы кристаллических решеток металлов:

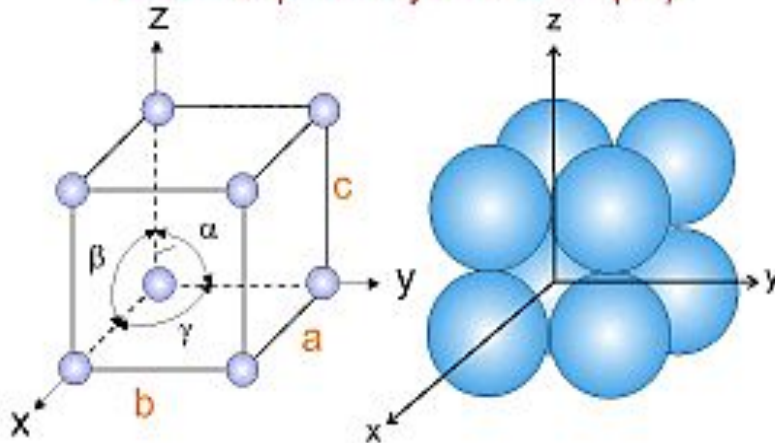
объемцентрированная кубическая (О.Ц.К.);

гранцентрированная кубическая (Г.Ц.К.);

гексоганальная плотноупакованная (Г.П.У.)

Виды кристаллических решеток

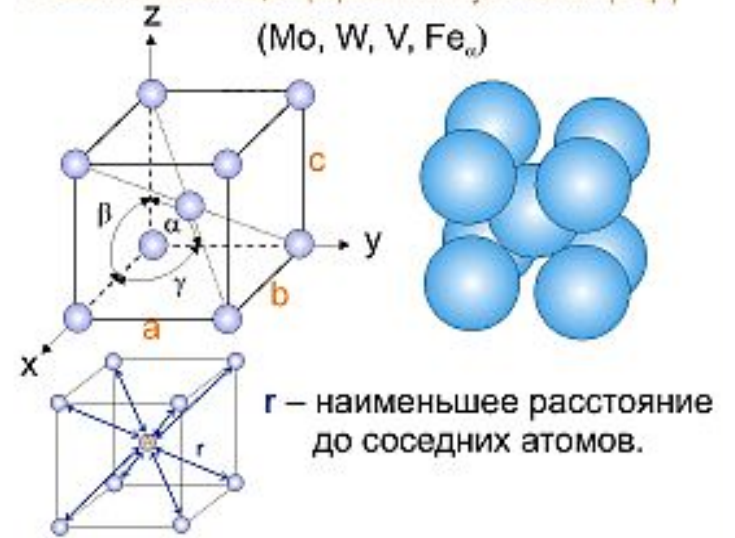
Решетка простая кубическая (ПК)



Характеристики решетки

Углы между осями	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Период решетки	$a = b = c$
Число атомов на ячейку	$n = 1$
Координационное число	$Z = 6$
Коэффициент компактности	$K = 0,52$

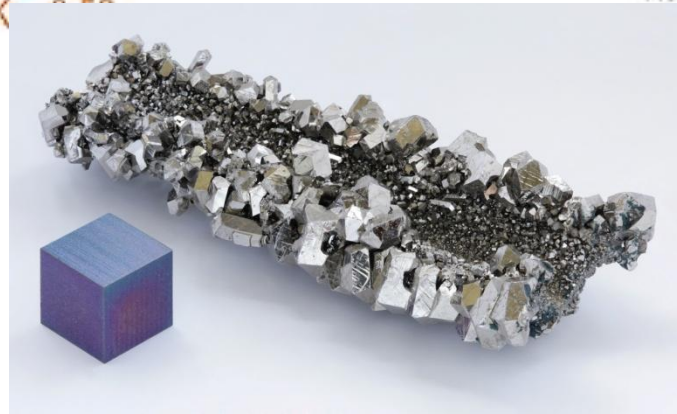
Решетка объемноцентрированная кубическая (ОЦК)



r – наименьшее расстояние до соседних атомов.

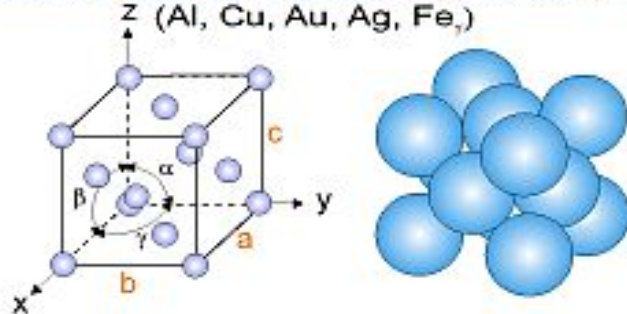
Характеристики решетки:

Углы между осями	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Период решетки	$a = b = c$
Число атомов на ячейку	$n = 2$
Координационное число	$Z = 8$
Коэффициент компактности	$K = 0,68$



Виды кристаллических решеток

Решетка гранецентрированная кубическая (ГЦК)



r – наименьшее расстояние до соседних атомов.

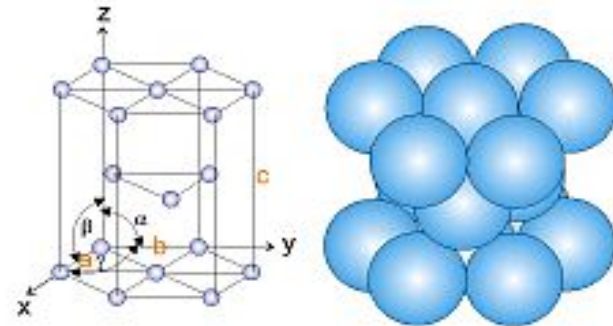


Характеристики решетки:

Углы между осями	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Период решетки	$a = b = c$
Число атомов на ячейку	$n = 4$
Координационное число	$Z = 12$
Коэффициент компактности	$K = 0,74$

Решетка гексагональная плотноупакованная (ГП)

(Mg, Co_α, Zn, Ti_α, Cd)

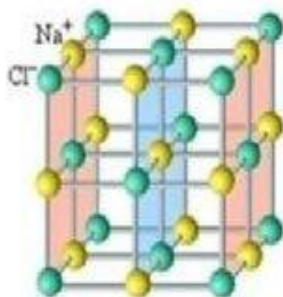


Характеристики решетки:

Углы между осями	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
Период решетки	$a = b \quad c/a = 1,633$
Число атомов на ячейку	$n = 6$
Координационное число	$Z = 12$
Коэффициент компактности	$K = 0,74$

Кристаллы металлов обычно имеют небольшие размеры, поэтому металлическое изделие состоит из очень большого числа кристаллов. Такое строение называется **поликристаллическим**.

Кристаллическая решетка



Тип решетки

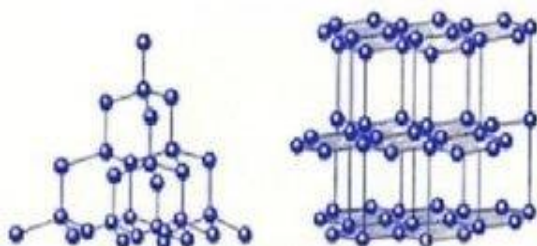
Примеры веществ

Физические свойства веществ

Ионная

Соли, оксиды и гидроксиды типичных металлов

Твердые, хрупкие, тугоплавкие, многие растворимы в воде, расплавы проводят электрический ток

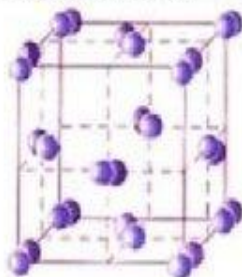


Кристаллические решетки алмаза (слева) и графита (справа)

Атомная

алмаз(C), графит(C), бор(B), кремний(Si), оксид алюминия (Al_2O_3), оксид кремния (IV)- SiO_2

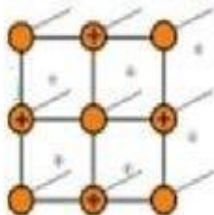
Очень твердые, очень тугоплавкие, прочные, нелетучие, не растворимы в воде



Молекулярная

При обычных усл. – г/ж ($O_2, H_2, Cl_2, N_2, Br_2, H_2O, CO_2, HCl$)
Сера S_8 , белый фосфор P_4 , йод I_2 ; органические вещества

Непрочные, летучие, легкоплавкие, способны к возгонке, имеют небольшую твердость



Металлическая

Металлы и сплавы

Ковкие, обладают блеском, пластичностью, тепло- и электропроводны

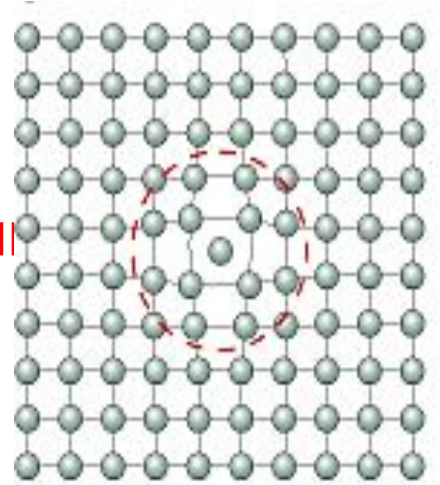
Все реальные кристаллические тела (металлы) имеют дефекты кристаллической структуры, что влияет на свойства твердых тел.

Таковыми дефектами являются:

- **линейные (одномерные) дефекты – дислокации**

они бывают краевые, винтовые и смешанные криволинейные;

(в чистых металлах число дислокаций превышает 1 миллион)

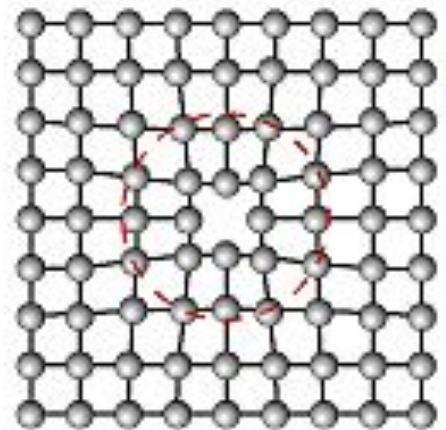


- **поверхностные (двумерные) дефекты - границы зерен,**
дефекты упаковки ячеек и т.д.

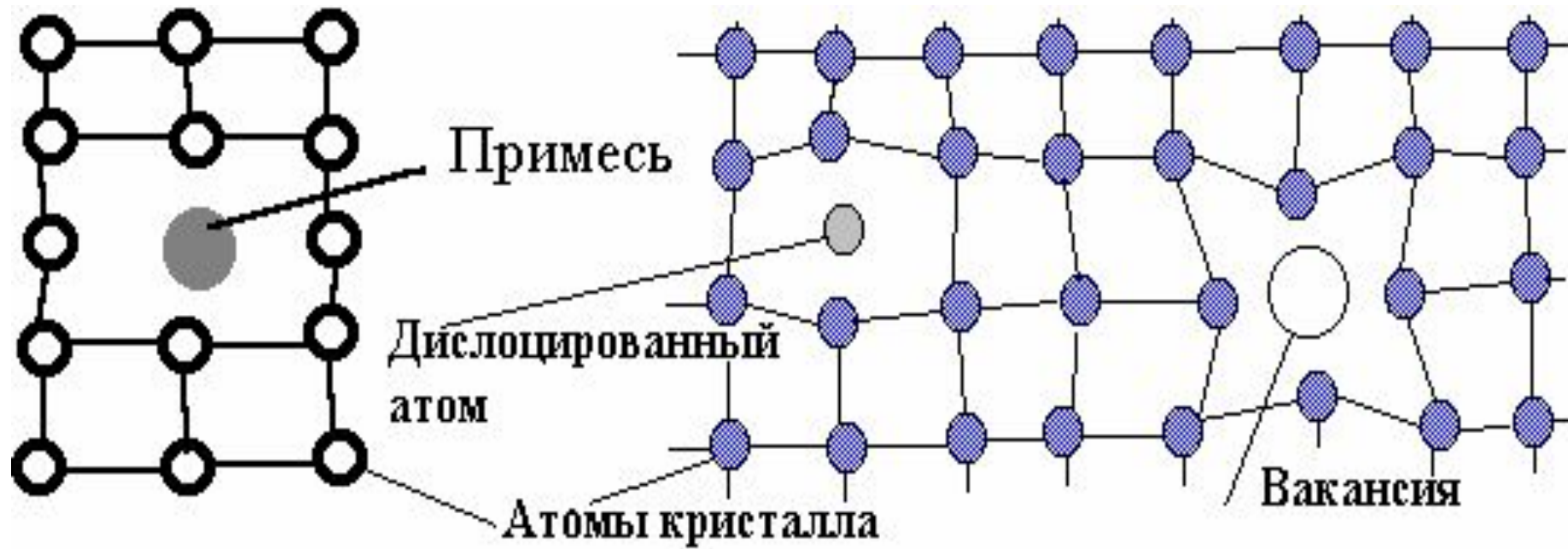
- **точечные дефекты – это вакансии,**

т.е. не заполненные атомами узлы кристаллических ячеек, межузельные атомы и др.;

(число вакансий мало при комнатной температуре, но сильно увеличивается с ее повышением)



Точечные дефекты кристаллических решеток

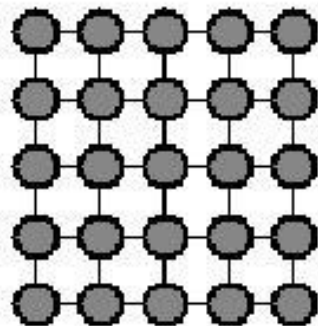


•Точечные дефекты

•К точечными дефектам относятся дефекты связанные с единичными атомами.

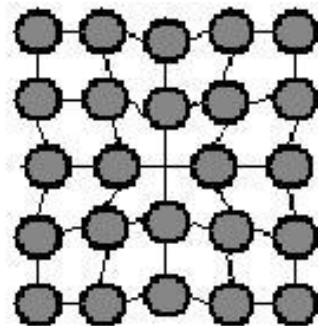
•Выделяют: вакансии, атомы замещения и атомы внедрения.

•идеальный
•кристалл



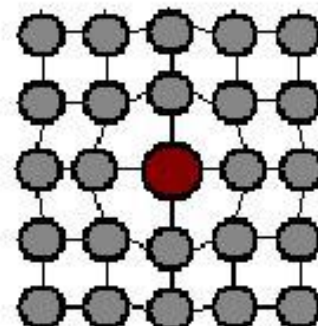
а

вакансия
(дефект Шоттки)



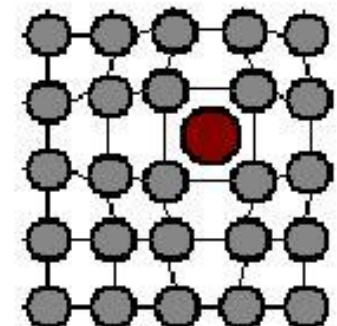
б

замещение
(дефект Френкеля)



в

внедрение

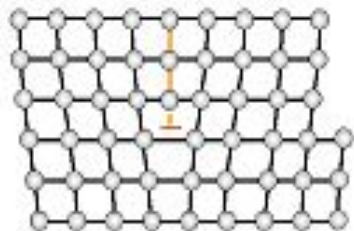
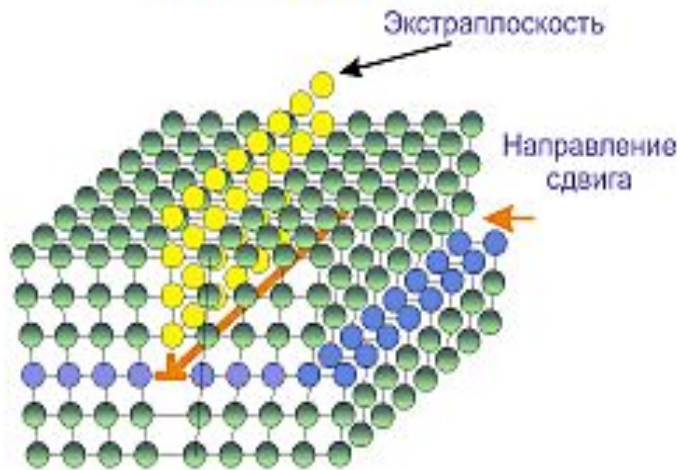


г

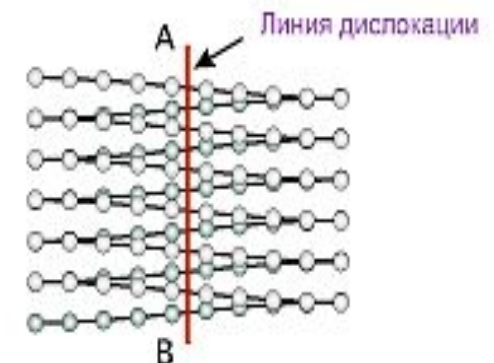
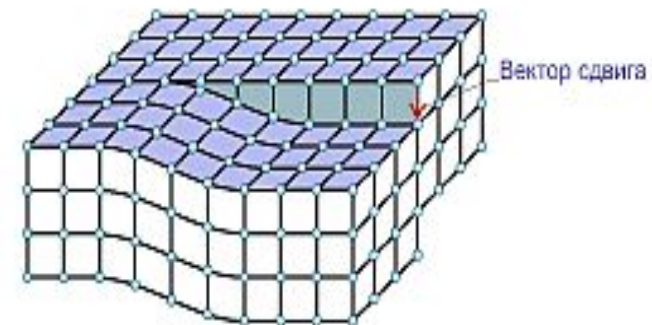
Дислокации – это линейные дефекты кристаллической решетки.

Различают краевые(линейные) и винтовые дислокации

Краевая дислокация

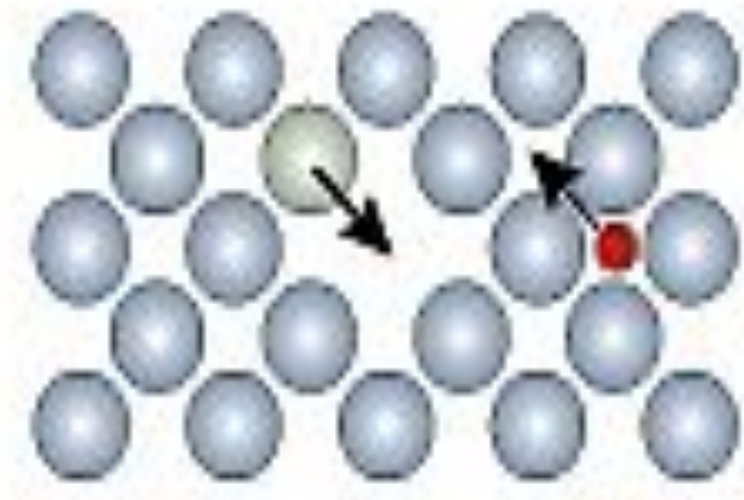


Винтовая дислокация

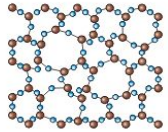


Вакансии имеют большое значение особенно для протекания **диффузии**, создают условия для пластичности металла при низких температурах

- **Под диффузией в металлах** понимают перемещение атомов в кристаллическом теле на расстояния, превышающие средние межатомные для данного вещества



Диффузия может протекать по вакансионному и межузельному механизмам



Дефекты в аморфных телах

- В аморфных телах отсутствуют такие дефекты структуры, свойственные кристаллическому состоянию, как дислокации и межзеренные границы. Даже вакансии в аморфных телах имеют другую форму и размеры. Они похожи на пустоты чечевицеобразной формы и носят название *вакансионноподобных дефектов*. Эти пустоты имеют вид узких щелей, и в них не может разместиться атом. Наличие таких дефектов сильно затрудняет диффузию через аморфные слои.
- Таким образом, неупорядоченная структура аморфных материалов определяет особенности механических, электрических, магнитных и диффузионных свойств.

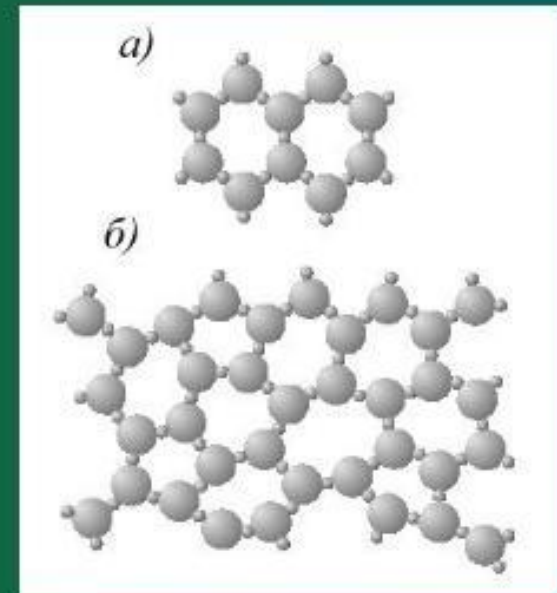
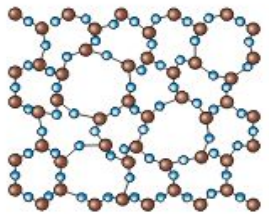
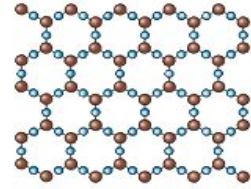


Рис. Различия в строении:
а – кристаллических и *б* –
аморфных тел



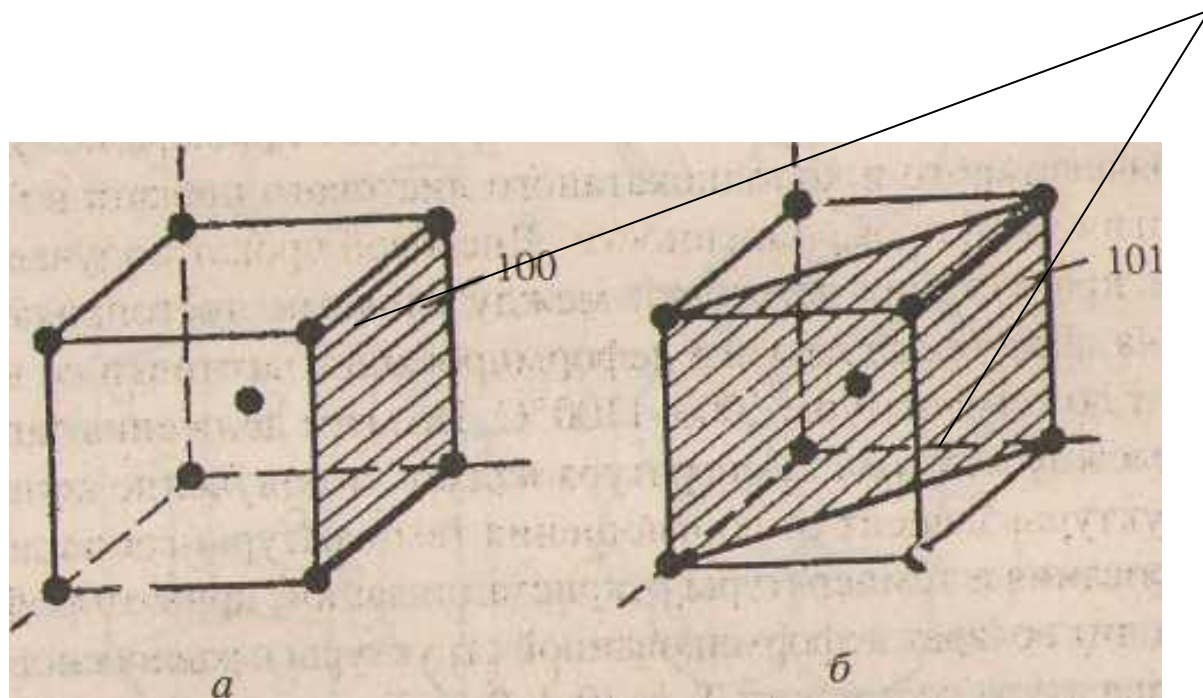
Понятие об изотропии и анизотропии



- Свойства тела зависят от природы атомов и от сил взаимодействия между этими атомами.
- Силы взаимодействия между атомами в значительной степени определяются расстояниями между ними.
- В **аморфных телах** с хаотическим расположением атомов в пространстве расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно свойства будут одинаковы, т.е. аморфные тела **изотропны**.
- В **кристаллических телах** атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные различия в силах взаимодействия между ними, а следовательно и разные свойства. Зависимость свойств от направления называется **анизотропией**.

ПОНЯТИЕ АНИЗОТРОПИИ И ИЗОТРОПИИ

Свойства отдельно взятого кристалла по данному направлению отличаются от свойств в другом направлении и зависят от того сколько атомов встречаются в этом направлении.



АНИЗОТРОПИЯ

Это зависимость физических свойств от направления внутри кристалла.

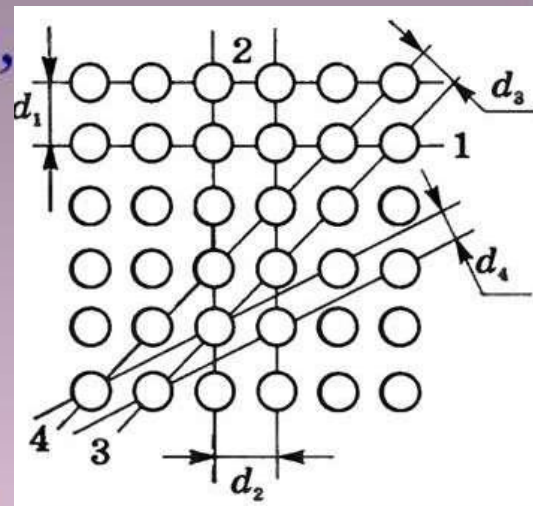
Свойства :- механическая прочность,

- теплопроводность,

- тепловое расширение,

- оптические свойства,

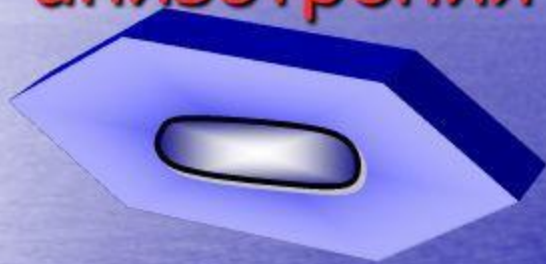
- электрические свойства.



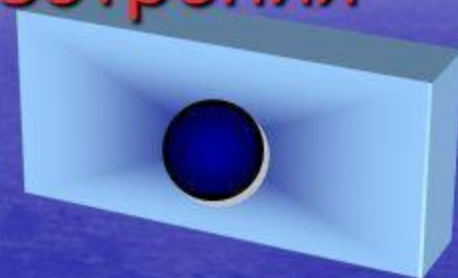
Эти свойства неодинаковы в разных направлениях кристаллической решетки.

Зная структуру кристаллической решетки, можно объяснить свойства:

анизотропия



изотропия



- **Анизотропия**- это зависимость физических свойств от направления.

- **Изотропия**-это независимость физических свойств от направления.

Анизотропия наблюдается в основном в монокристаллах.

В поликристаллах (например, в большом куске металла) анизотропия в обычном состоянии не проявляется.

Поликристаллы состоят из большого количества мелких кристаллических зерен. Хотя каждый из них обладает анизотропией, но за счет беспорядочности их расположения поликристаллическое тело в целом утрачивает анизотропию.

Анизотропия кристалла

Зависимость физических свойств кристалла от выбранного в кристалле направления



Кристаллизация

В чистых металлах, при определенных температурах происходит изменение агрегатного состояния:

- *Твердое вещество сменяется жидким при температуре плавления;*
- *Жидкое переходит в газообразное при температуре кипения*

Температура отвердевания или кристаллизации - температура, при которой вещество отвердевает или кристаллизуется.



кристаллизуется.

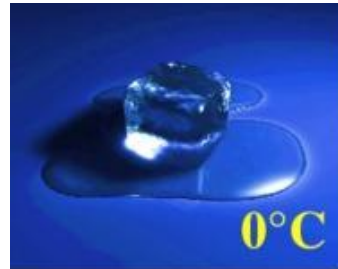


0°C



Процесс кристаллизации идет с выделением энергии:

$$Q = \lambda m.$$



0°C

Температура плавления - температура, при которой кристаллическое вещество плавится.



галлий

29,8°C



вольфрам

3387°C



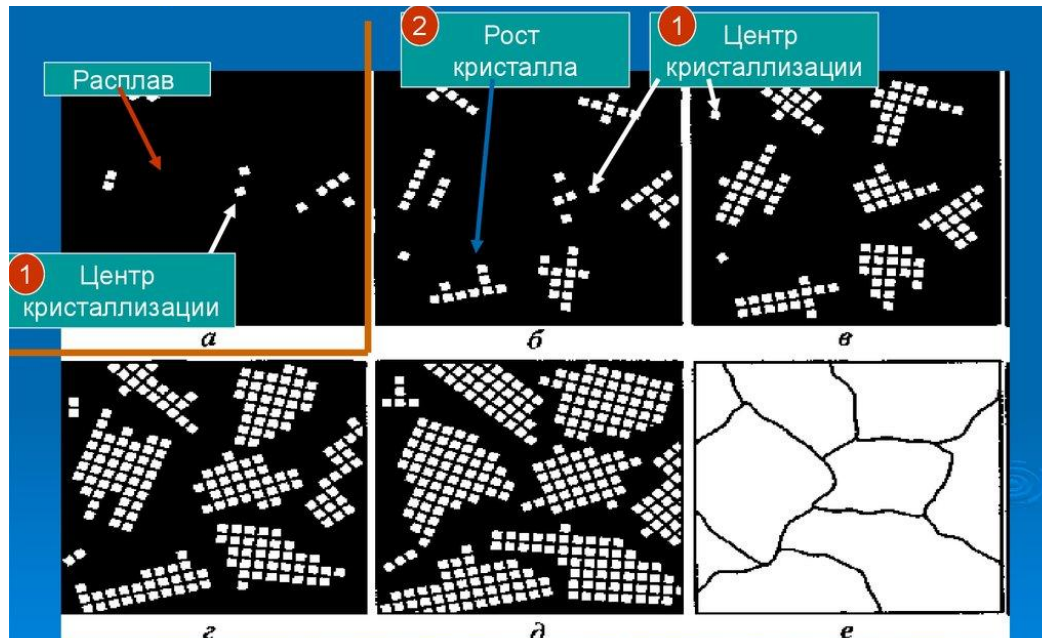
1539°C

- **Кристаллизацией** называется процесс образования кристаллов при переходе жидкого вещества в твердое.

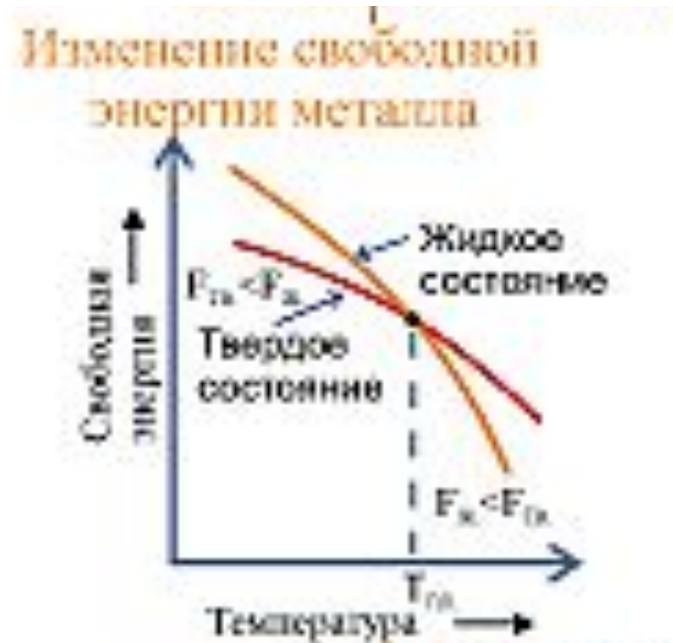
Процесс кристаллизации состоит из двух элементарных процессов:

1-й – зарождение мельчайших частиц кристаллов – центров кристаллизации

2-й – рост кристаллов из этих центров.



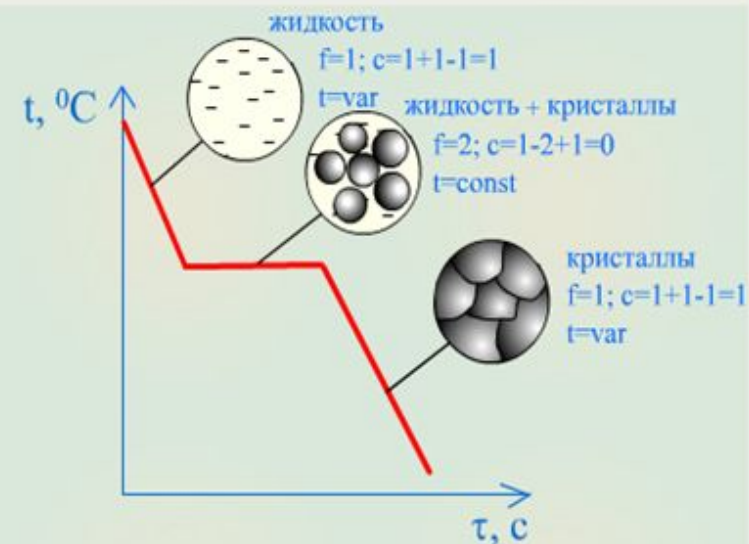
а – е - последовательные этапы процесса кристаллизации



При нагреве всех кристаллических тел наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое. Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твердое.

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура.



Особенности процесса кристаллизации:

- По мере развития процесса кристаллизации в нем участвует все больше и больше кристаллов (поэтому процесс вначале ускоряется, а потом взаимное столкновение растущих кристаллов начинает замедлять их рост).
- В процессе кристаллизации, пока кристалл окружен жидкостью, он часто имеет правильную форму, но при столкновении и срастании кристаллов их правильная форма нарушается.
- На форму растущего кристалла существенно влияют скорость и направление отвода тепла, наличие не растворившихся частиц.

Строение слитка

Схема дендритных кристаллов

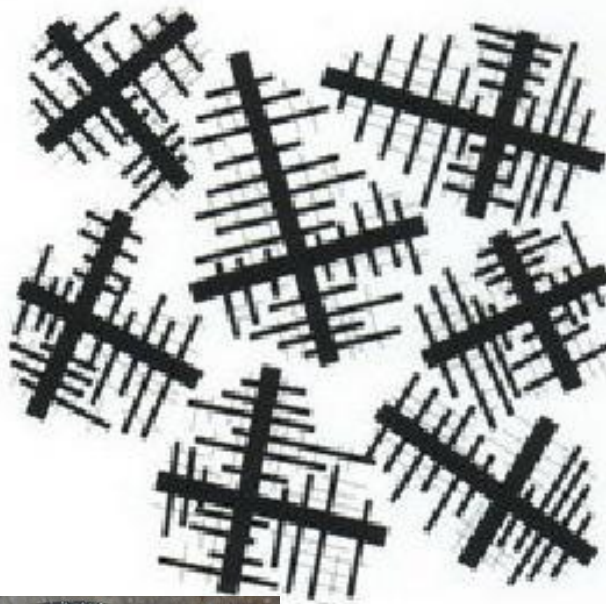


Схема макроструктуры слитка



На примере кристаллизации воды можно рассмотреть зоны кристаллизации и различие отвода тепла





Зона столбчатых кристаллов

- Образование столбчатых кристаллов связано с ухудшением теплоотвода, уменьшением числа центров кристаллизации, возможностью роста кристаллов, только благоприятно ориентированных по отношению к направлению теплоотвода.
- На протяженность зоны столбчатых кристаллов влияют следующие факторы.
 - **Интенсивность теплоотвода** (∇T – градиент температуры) – чем выше интенсивность теплоотвода, тем крупнее кристаллы, пока не достигнуто переохлаждение, необходимое для гомогенного зародышеобразования.
 - **Степень перегрева расплава** – чем выше перегрев, тем крупнее кристаллы.
 - **Конвекция** – интенсивное движение расплава приводит к обламыванию ветвей растущих дендритов.
 - **Неметаллические включения** – они становятся центрами кристаллизации и уменьшают зону столбчатых кристаллов.
 - **Модифицирование модификаторами 1-го рода** – поверхностно-активные примеси препятствуют росту граней, **и 2-го рода** – частицы тугоплавких материалов служат центрами кристаллизации, что приводит к измельчению структуры и исчезновению зоны столбчатых кристаллов.
 - **Механическое измельчение зерен** – оно происходит в результате вибрации изложницы или воздействия ультразвуком.

Металлы и сплавы состоят из прочно соединенных друг с другом зерен. Такое строение формируется в процессе кристаллизации металла и перехода его из жидкого состояния в твердое.

