

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Введение	9
§1. Атомно-кристаллическая структура	13
§2. Дефекты кристаллов	22
§3. Твёрдые растворы	26
§4. Диффузия в металлах и сплавах	29
§5. Первичная кристаллизация металла.....	30
§6. Твёрдость металлов	34
§7. Диаграммы состояния двойных сплавов	38
7.1. Правило фаз	39
7.2. Диаграмма состояния сплавов, образующих твёрдые растворы с неограниченной взаимной растворимостью	41
7.3. Ликвации.....	43
7.4. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твёрдые растворы и эвтектику.....	44
7.5. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твёрдые растворы и перитектику	48
§8. Полимеры	49
8.1. Общая характеристика и классификация.....	49
8.2. Свойства полимеров	57
8.2.1. Механические свойства.....	57
8.2.2. Теплофизические свойства	59
8.2.3. Химические свойства.....	60

8.2.4. Электрические свойства	62
8.2.5. Технологические свойства	64
8.3. Пластмассы	66
8.3.1. Полистирол	70
8.3.2. Полиэтилен	71
8.3.3. Фторопласт	73
8.3.4. Полиимид.....	75
8.3.5. Термореактивные пластмассы	78
8.3.6. Полярные термопласты	82
8.3.7. Газонаполненные пластмассы	84
8.4. Слоистые пластики и волокниты.....	85
8.4.1. Слоистые пластики	85
8.4.2. Волокниты	89
8.5. Синтетические эмали, лаки и компаунды.....	90
8.5.1. Лаки	90
8.5.2. Эмали	91
8.5.3. Компаунды.....	92
8.6. Полимерные клеи.....	94
§9. Жидкие кристаллы	97
9.1. Общая характеристика	97
9.2. Теория жидкокристаллического состояния вещества	98
9.2.1. История открытия жидких кристаллов.....	98
9.2.2. Классификация и статистика жидких кристаллов	100
9.2.3. Структура и свойства нематиков.....	105
9.2.4. Структура и свойства холестериков.....	116
9.2.5. Структура и свойства смектиков.....	122

9.3. Практическое применение жидких кристаллов	129
9.3.1. Примеры практического применения жидких кристаллов	129
9.3.2. Примеры практического применения холестериков.....	135
9.3.3. Примеры практического применения смектиков.....	136
§10. Нанотехнологии и наноструктурные материалы	139
10.1. Общая характеристика.....	139
10.2. Определение наноматериалов.....	141
10.3. Способы получения наночастиц.....	143
10.3.1. Физические и химические методы	143
10.3.2. Метод конденсации паров в среде инертного газа.....	144
10.3.3. Формирование частиц в многокомпонентных системах	146
10.3.4. Плазмохимическая технология получения нанодисперсных оксидов	147
10.3.5. Получение наноструктурных материалов механохимическими реакциями	149
10.4. Способы получения объёмных материалов с наноструктурой	151
10.5. Тонкие наноструктурные плёнки	152
10.6. Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц. Защита поверхности ультрадисперсных частиц	154
10.7. Современные методы исследования	156
10.7.1. Общая классификация методов	156

10.7.2. Электронно-микроскопические методы	157
10.7.3. Дифракционные методы.....	159
10.7.4. Методы электронной спектроскопии и масс-спектрометрии.....	164
10.8. Методы численного моделирования в наноматериаловедении	165
10.8.1. Разные масштабные уровни и проблемы моделирования на них	165
Заключение	168
Библиографический список	171

ПРЕДИСЛОВИЕ

Материаловедением называется прикладная наука о связи состава, строения и свойств материалов и закономерностях их изменения под влиянием тепловых, химических, механических, электромагнитных и радиоактивных воздействий.

Решение важнейших технических проблем, связанных с экономией материалов, уменьшением массы машин и приборов, повышением точности, надёжности и работоспособности механизмов и приборов во многом зависит от материаловедения. Непрерывный процесс создания новых материалов для современной техники обогащает науку о материалах, которая стимулирует появление новых технических идей. Революционную роль сыграли полупроводниковые материалы и жидкие кристаллы в электронике, композиционные материалы в авиации и ракетостроении, полимерные материалы в различных областях техники и в быту, сверхпроводниковые и аморфные сплавы в электро- и радиотехнике и т. д. В настоящее время и на перспективу дальнейший прогресс материаловедения невозможен без развития *нанотехнологий*.

Теоретической основой материаловедения являются соответствующие разделы физики и химии, однако наука о материалах в основном развивается экспериментальным путём, поэтому разработка новых методов исследования структуры и физико-механических свойств материалов способствует дальнейшему развитию материаловедения.

Предмет «материаловедение» состоит из двух частей: металловедение и неметаллические материалы и включает в себя изучение теоретического материала и практические занятия. В основном рекомендуется проводить лабораторный практикум, для чего издано немало пособий. Однако на основе целого ряда теоретических вопросов возможно проводить практические занятия по решению задач, что способствовало бы более глубокому пониманию теории.

Именно поэтому мы поставили перед собой цель — разработать учебное пособие, в котором после изложения большинства теоретических вопросов приведены задачи для аудиторного или самостоятельного решения. Всего составлено **23** задачи.

Учебное пособие разработано в соответствии с требованиями ФГОС для специальностей СПО:

- 15.00.00 Машиностроение;
 - 18.00.00 Химические технологии;
 - 22.00.00 Технологии материалов;
 - 23.00.00 Техника и технологии наземного транспорта;
 - 24.00.00 Авиационная и ракетно-космическая техника;
 - 25.00.00 Аэронавигация и эксплуатация авиационной и ракетно-строительной техники;
 - 26.00.00 Техника и технологии кораблестроения и водного транспорта;
 - 27.00.00 Управление в технических системах;
 - 29.00.00 Технология легкой промышленности
- и студентов направлений 44.03.01 и 44.03.05 «Педагогическое образование», профиль — технология, квалификация — бакалавр.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальнейших задач в обеспечении надёжности машин и механизмов на всех уровнях их создания и эксплуатации (проектно-конструкторский, технологический при изготовлении и эксплуатации, научно-исследовательский при проектировании, изготовлении, совершенствовании и эксплуатации), является повышение долговечности и надёжности материалов.

В машиностроении значительно расширилась номенклатура материалов с повышенными требованиями к прочности, жаростойкости, коррозионной и химической стойкости. При эксплуатации выбранные конструкторами и технологами материалы подвергаются разнообразным эксплуатационным нагрузкам, поэтому при изучении материаловедения должны более детально раскрываться современные, признанные в научной практике, дислокационно-структурные механизмы разрушения материалов, а также возможности релаксационных и рекристаллизационных процессов, позволяющие повышать надёжность работы машин при их эксплуатации.

При обучении студентов материаловедению актуальной становится более глубокая ориентация на материалы конкретных отраслей машиностроения, в этом случае подготовка по материаловедению будет профессионально направленной. Кроме того, содержание изучаемой дисциплины должно быть ориентировано на новые подходы в науке о материалах, связанные с оценкой их надёжности при эксплуатации.

Проблема изучения материаловедения заключается в обеспечении студентов знаниями и умениями:

- 1) по выбору оптимальных материалов;
- 2) по определению способности материалов увеличить срок эффективной и функциональной работы машин, что решается изучением структурных превращений под действием многочисленных эксплуатационных факторов, определяющих процессы разрушения материалов.

Именно второе при обучении студентов раскрывается недостаточно и снижает уровень подготовки выпускников. Непрерывно возрастающие требования к свойствам материалов обуславливают необходимость опережающего развития научных

разработок в области материаловедения. Современное материаловедение как наука о структуре и свойствах различных материалов, существенно модернизируется за счёт интеграции физики твёрдого тела, химии и технологии неорганических веществ, механики твёрдого деформированного тела и нелинейной механики разрушения. Единый подход к явлениям первичной и вторичной кристаллизации, упругой и пластической деформации стал возможен благодаря новому пониманию реальной структуры материалов на всех иерархических уровнях. Все материалы «живут», изменяют свои структуры и свойства в процессе их получения, изготовления из них деталей и дальнейшей их эксплуатации. Очевидно, что материаловедение должно опираться на современное направление материаловедения — *от микроструктуры к макросвойствам*, т. е. от микроструктуры к физико-механическим свойствам с учётом эволюции микроструктур и свойств материалов при их эксплуатации. Структурные превращения по границам зёрен, микроструктура материалов, обусловленная действием многих факторов эксплуатации и дислокационным механизмом разрушения, являются научной основой решения проблемы долговечности и надёжности деталей машин, а также и методической основой при изучении курса материаловедения.

Научно-методическая основа изучения курса материаловедения должна быть построена на изучении следующего:

- 1) микроструктуры металлов и сплавов — основного фактора надёжности и долговечности деталей машин;
- 2) пространственной атомно-кристаллической структуры материалов;
- 3) аллотропических превращений компонентов сплавов, происходящих при определённых условиях на различных стадиях термической, упрочняющей и др. видов обработки материалов;
- 4) возникновения дефектов атомно-кристаллического строения и их влияния на механические и др. свойства материалов, а значит, на долговечность и надёжность деталей и машин;
- 5) дислокационно-структурного механизма разрушения;
- 6) механизма структурных превращений при деформациях;
- 7) значения и влияния микроструктуры на долговечность и надёжность деталей машин в процессе их эксплуатации;
- 8) выбора материалов в зависимости от условий эксплуатации.

Надёжность деталей при эксплуатации машин оценивается по различным критериям: прочность, усталость, механическое изнашивание, теплостойкость, и т. п. Каждый из этих критериев зависит от конкретных и одновременных воздействий различных факторов (нагрузки, различные по величине, направлению и цикличности, воздействия температуры, химических сред, и т. п.). Все эти факторы эксплуатации оставляют свой отпечаток в поверхностном слое детали — это микроструктура эксплуатируемой детали. Прочность материала, его надёжность в любой момент эксплуатации зависит и может определяться микроструктурой поверхностного слоя детали. Установление состояния микроструктуры даст возможность прогнозировать с учётом оценки возникающих дислокаций дальнейшее изменение свойств поверхностного слоя детали с возникновением в ней дефектов, а значит, прогнозировать её долговечность.

В последние годы получило развитие новое научное направление в материаловедении — **фрактальное материаловедение**. Основная задача фрактального материаловедения заключается в разработке принципов управления структурой материалов за счёт целенаправленного введения и последующей реализации контролируемых обратных связей с целью получения материалов с диссипативными свойствами, необходимыми для заданных условий эксплуатации. Структура всех уровней сплавов рассматривается как живой организм, в котором постоянно под действием эксплуатационных факторов происходят структурные превращения, как с прямыми, так и обратными связями. Следовательно, при обучении студентов и учащихся материаловедению необходимо больше уделять внимание изучению дислокационно — структурных механизмов превращений в сплавах, фракталов и возможностей использования принципа обратных связей для сохранения оптимальной метастабильной структуры, соответствующей требуемым физико-механическим свойствам сплавов для повышения долговечности их работы.

Специфика обучения технологии такова, что в учебных планах, кроме естественнонаучных дисциплин существуют циклы общетехнических и специальных дисциплин, поэтому процесс обучения должен осуществляться на основе межпредметных взаимосвязей, способствующих успешному овладению профессиональными знаниями и умениями. Формирование познавательной

и творческой активности студентов должно осуществляться на основе комплексного подхода, объединяющего фундаментальное (естественнонаучное) и общетехническое образование, что, с ориентацией на выявление сущностных основ и связей производственных процессов, приводит к целостности образования.

Предлагаемое пособие, особенно задачи, будет, на наш взгляд, способствовать решению хотя бы части обозначенных выше проблем.

§1. АТОМНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

Атомно-кристаллическая структура — это взаимное расположение атомов в кристалле. Атомы (ионы) в кристаллах расположены закономерно и периодически, т. е. имеет место дальний порядок, периодически повторяющийся в трёх измерениях. Для описания атомно-кристаллической структуры пользуются понятием кристаллической решётки.

Кристаллическая решётка — это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой располагаются атомы (ионы) (рис. 1).

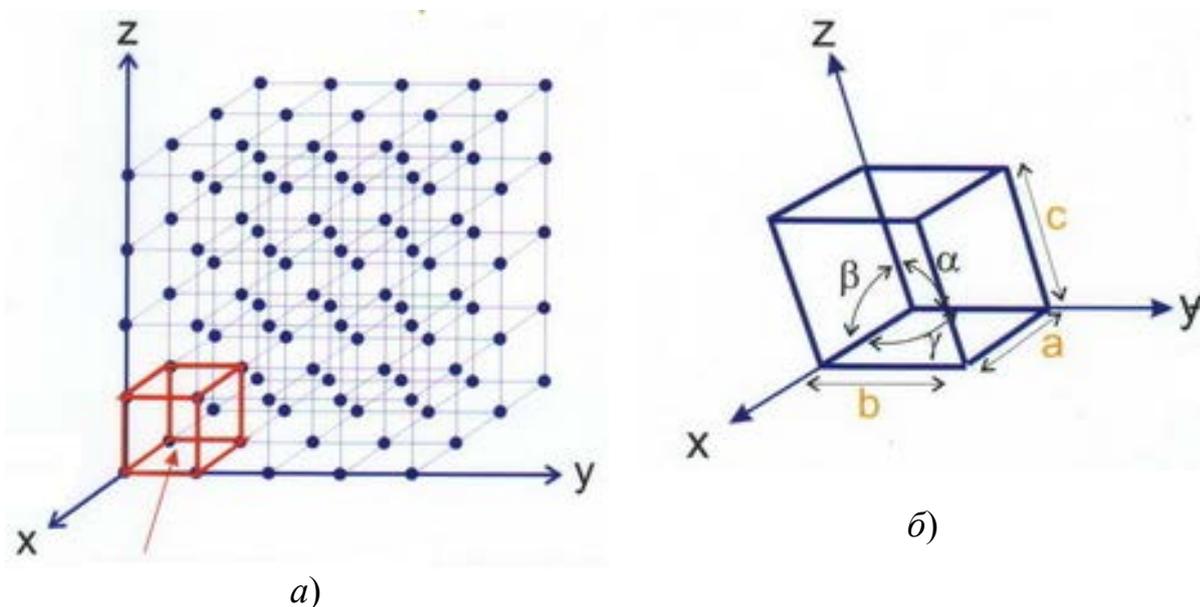


Рис. 1. Элементарная кристаллическая ячейка

На рис. 1 толстыми линиями выделен наименьший объём кристалла, последовательным перемещением которого вдоль трёх своих осей может быть построен весь кристалл. Этот наименьший объём кристалла называется *элементарной кристаллической ячейкой (ЭКЯ)*. Для однозначной характеристики ячейки необходимо знать три её ребра (a , b и c) и три угла между осями (α , β и γ).

Существует семь систем (сингоний) пространственных решёток:

- 1) кубическая: $a = b = c$ и $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (рис. 2);
- 2) тетрагональная: $a = b \neq c$ и $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (рис. 3);

- 3) ромбическая: $a \neq b \neq c$ и $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (рис. 4);
 4) гексагональная: $a = b \neq c$ и $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$ (рис. 5);
 5) ромбоэдрическая: $a = b = c$ и $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ (рис. 6);
 6) моноклинная: $a \neq b \neq c$ и $\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$ (рис. 7);
 7) триклинная: $a \neq b \neq c$ и $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ (рис. 8).

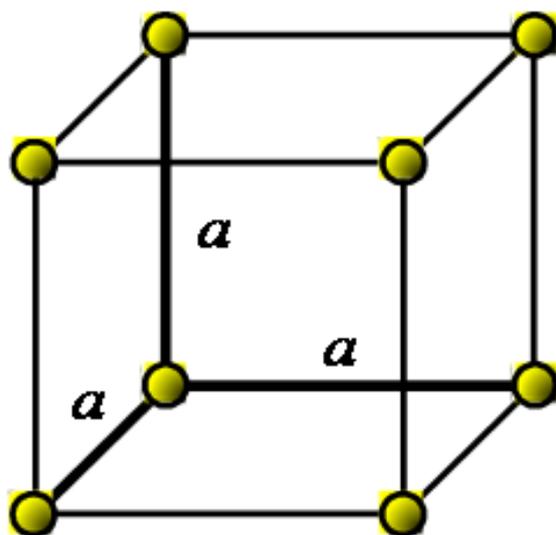


Рис. 2. Кубическая решётка

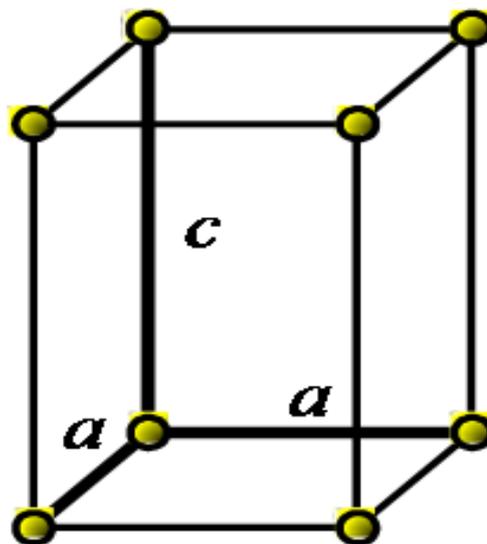


Рис. 3. Тетрагональная решётка

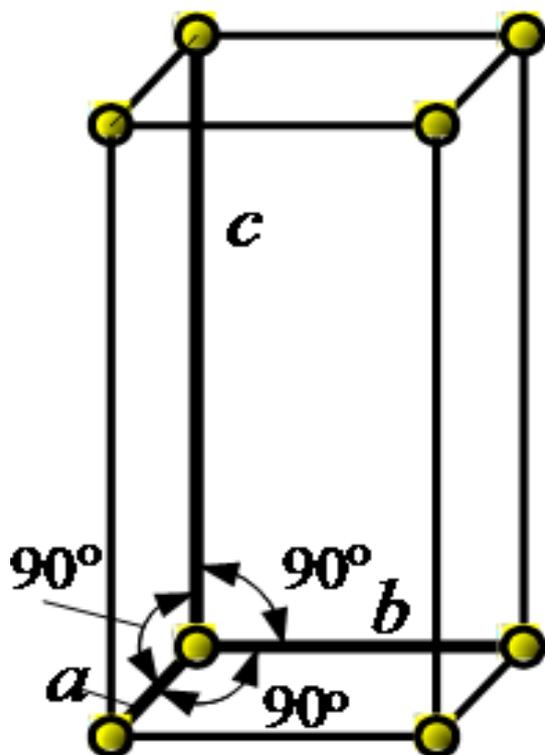


Рис. 4. Ромбическая решётка

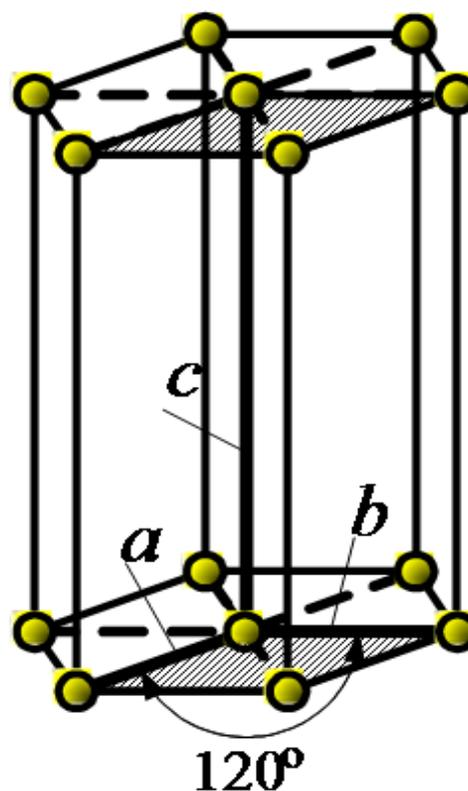


Рис. 5. Гексагональная решётка

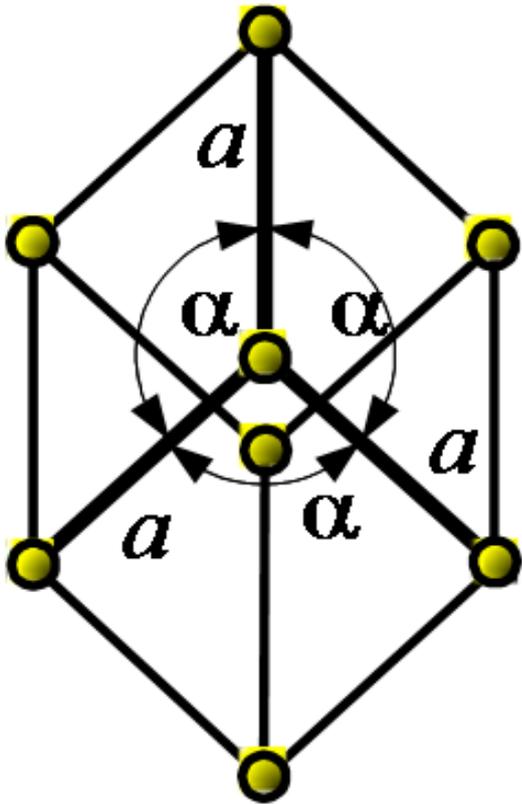


Рис. 6. Ромбоэдрическая решётка

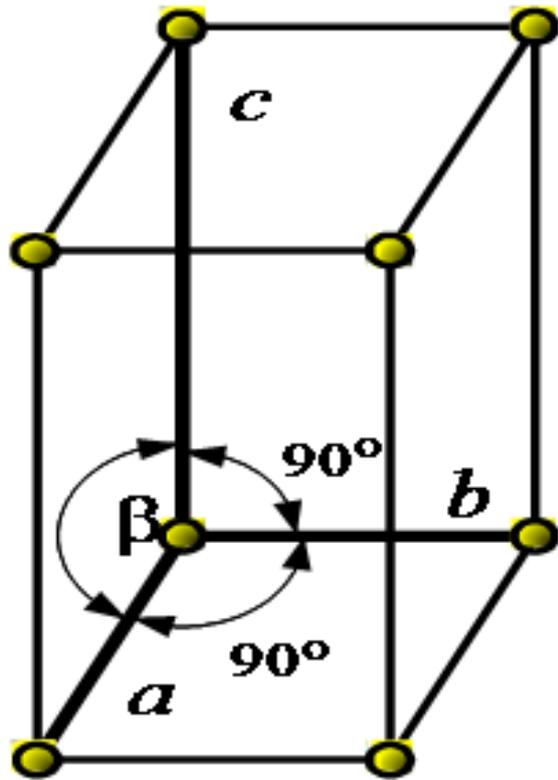


Рис. 7. Моноклинная решётка

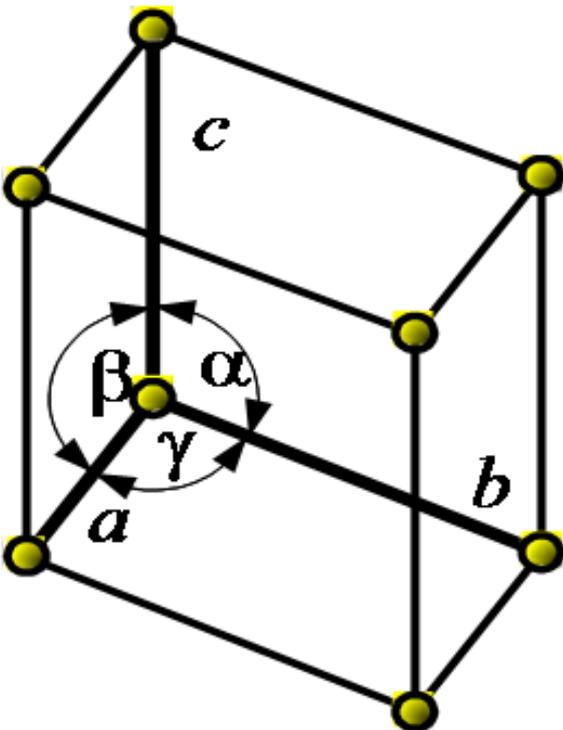


Рис. 8. Триклинная решётка

Кристаллические решётки, в которых атомы расположены только в вершинах, называются **простыми**. Решётки, в которых атомы расположены не только в вершинах, но и внутри ячеек или на их гранях, называются **сложными**. К сложным относятся

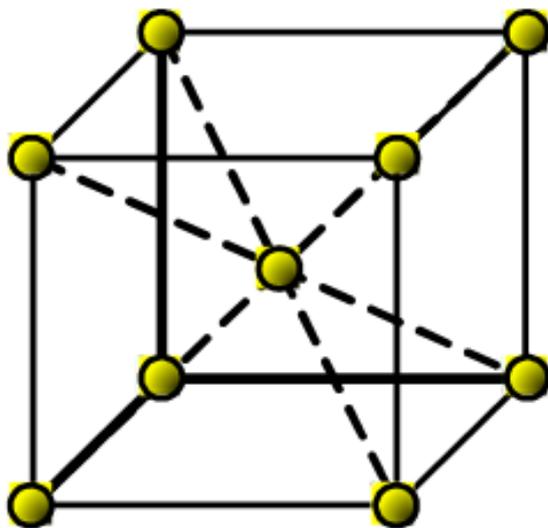
кубическая объёмно-центрированная (ОЦК) (рис. 9, а и б), кубическая гранецентрированная (ГЦК) (рис. 10, а и б), гексагональная плотноупакованная (ГПУ) (рис. 11, а и б) решётки. Простую гексагональную решётку имеет, например, графит (рис. 12). Типы и периоды решёток различных материалов приведены в *таблице 1*. Периоды решёток измеряются в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ м}$). В плотных решётках период примерно равен диаметру атома.

*Количество атомов, принадлежащих только одной элементарной ячейке, будем называть **числом атомов в ячейке**.*

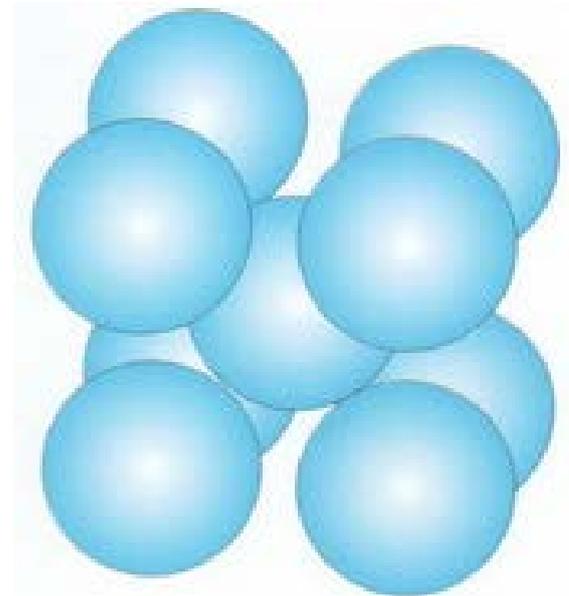
Пример 1. Рассмотрим простую кубическую ячейку (рис. 13). Каждый атом в вершине куба принадлежит одновременно восьми элементарным ячейкам, поэтому на одну ячейку приходится только $\frac{1}{8}$ массы этого атома, следовательно, т. к. всего вершин у куба 8, имеем:

$$N = \frac{1}{8} \times 8 = 1. \quad (1)$$

Таким образом, на одну простую кубическую ячейку приходится 1 атом.

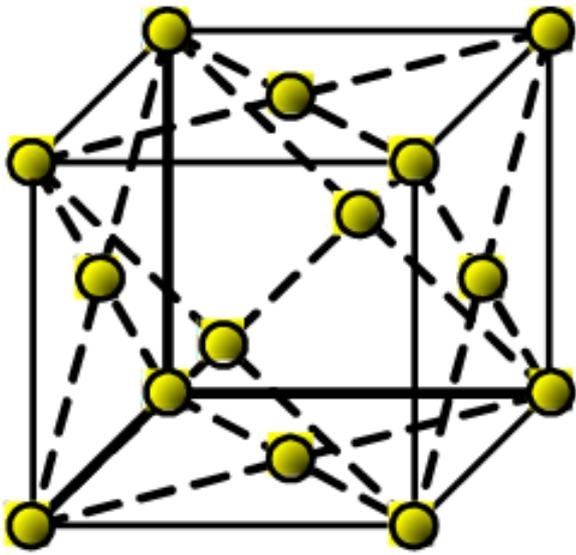


а)

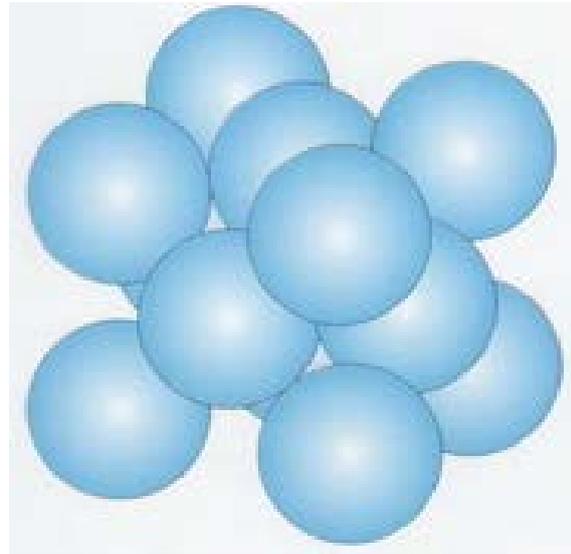


б)

Рис. 9. Кубическая объёмно-центрированная решётка (ОЦК)

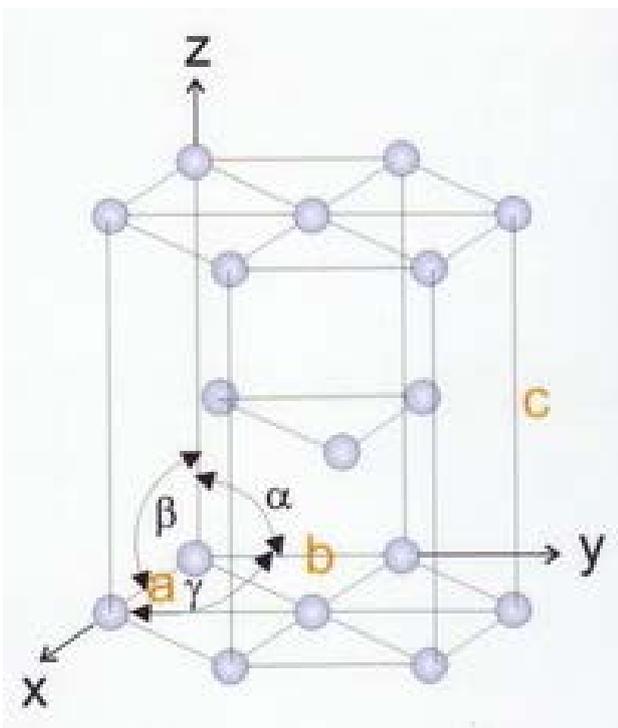


а)

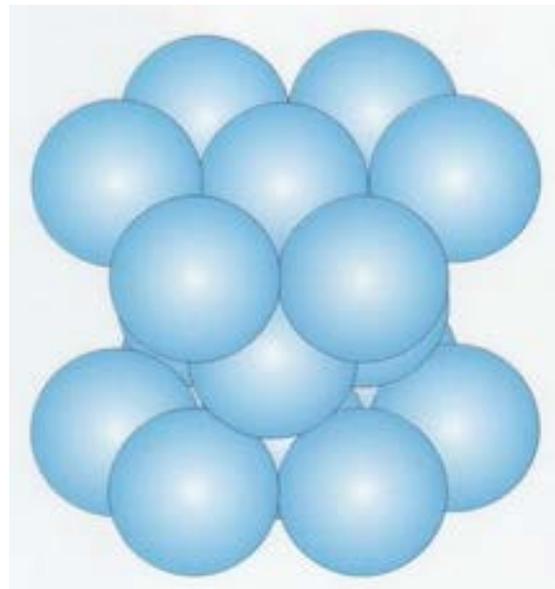


б)

Рис. 10. Кубическая гранецентрированная решётка (ГЦК)



а)



б)

Рис. 11. Гексагональная плотноупакованная решётка

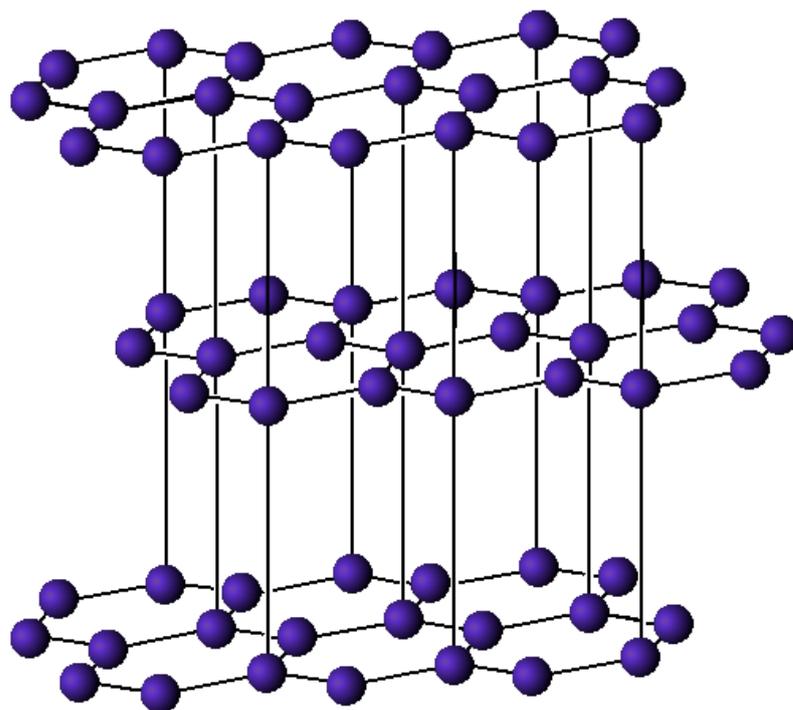


Рис. 12. Гексагональная решётка графита

Таблица 1. Межатомные расстояния в кристаллических решётках некоторых химических элементов^[6].

Элемент	Структура	Межатомное расстояние, Å	Элемент	Структура	Межатомное расстояние, Å
Ag	Г. ц. к.	2,889	Nb	О. ц. к.	2,858
Al	Г. ц. к.	2,863	Ne	Г. ц. к.	3,21
Ar	Г. ц. к.	3,84	Ni	Г. ц. к.	2,492
Au	Г. ц. к.	2,884	Os	Гекс. п. у.	2,735
Ba	О. ц. к.	4,347	Pb	Г. ц. к.	3,500
Be	Гекс. п. у.	2,286	Pd	Г. ц. к.	2,751
C	Алмаза	1,544	Pt	Г. ц. к.	2,775
Ca	Г. ц. к.	3,947	Rb	О. ц. к.	4,94
Cd	Гекс. п. у.	2,979	Re	Гекс. п. у.	2,760
Co	Гекс. п. у.	2,507	Rh	Г. ц. к.	2,690
Cr	О. ц. к.	2,298	Ru	Гекс. п. у.	2,706
Cs	О. ц. к.	5,32	Sc	Гекс. п. у.	3,308
Cu	Г. ц. к.	2,556	Si	Алмаза	2,352
Fe	О. ц. к.	2,4824	Sr	Г. ц. к.	4,302
Fe	Г. ц. к.	2,540	Ta	О. ц. к.	2,860
Ge	Алмаза	2,450	Th	Г. ц. к.	3,595
Hf	Гекс. п. у.	3,195	Tl	Гекс. п. у.	2,951
Ir	Г. ц. к.	2,174	Ti	О. ц. к.	2,85
K	О. ц. к.	4,624	Tl	Гекс. п. у.	3,408
Kr	Г. ц. к.	4,03	V	О. ц. к.	2,622
Li	О. ц. к.	3,039	W	О. ц. к.	2,741
Mg	Гекс. п. у.	3,209	Y	Гекс. п. у.	3,645
Mo	О. ц. к.	2,725	Zn	Гекс. п. у.	2,665
Na	О. ц. к.	3,716	Zr	Гекс. п. у.	3,231

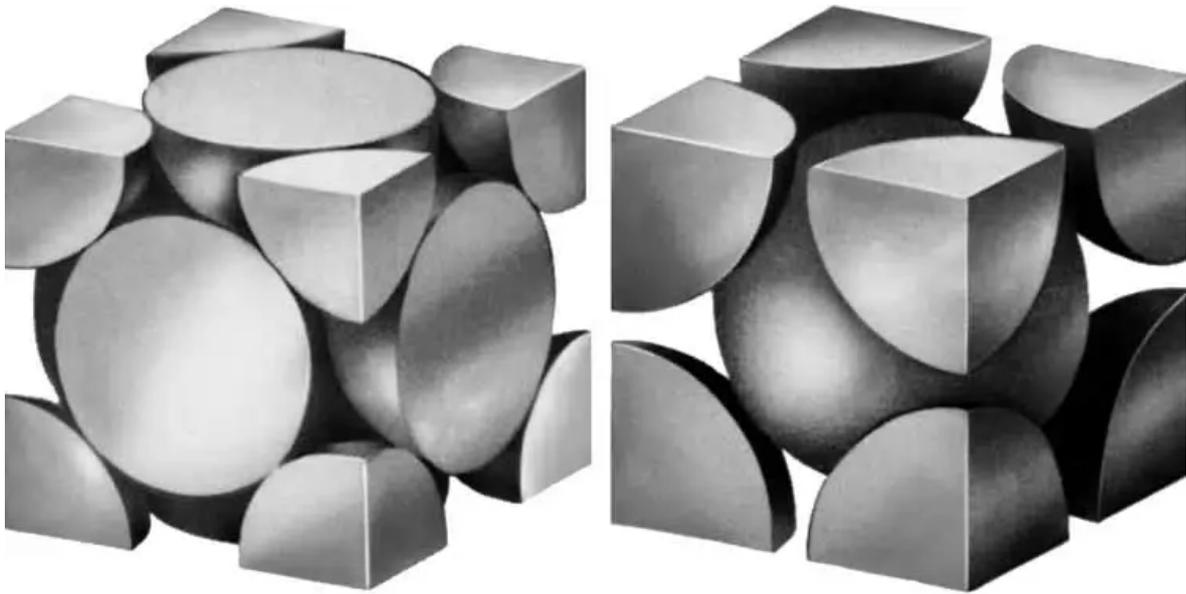


Рис. 13. Кубическая ячейка

Плотностью элементарной ячейки называется доля её объёма, заполненная атомами.

Пример 2. Определим плотность простой кубической ячейки, считая атомы жёсткими шарами диаметром d . Объём одного атома

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{\pi d^3}{6}, \quad (2)$$

а общий объём атомов в ячейке

$$V_{ат} = NV_1 = \frac{\pi d^3}{6}. \quad (3)$$

Очевидно, объём ячейки (рис. 13) равен

$$V_{яч} = d^3. \quad (4)$$

Тогда плотность ячейки равна

$$\rho = \frac{V_{ат}}{V_{яч}} \cdot 100\% = \frac{\pi d^3}{6d^3} \cdot 100\% = \frac{\pi}{6} \cdot 100\% = 52,4\%, \quad (5)$$

Координационным числом называется число атомов, находящихся на равном и наименьшем расстоянии от данного атома. Чем выше координационное число, тем больше плотность упаковки атомов.

Пример 3. Рассмотрим простую кубическую ячейку. Зафиксируем мысленно какой-либо атом. Проведём через него три взаимно-перпендикулярные оси. В направлении каждой из них данный атом имеет двух ближайших соседей ($l = d$), следовательно

$$K = 2 \times 3 = 6.$$

Задания для самостоятельной работы.

1. Определить число атомов в следующих ячейках: ОЦК, ГЦК, гексагональной и ГПУ.
2. Определить плотность ячеек ОЦК и ГЦК.
3. Определить плотность ячеек ГПУ и гексагональной, считая $c/a = 1,633$.
4. Определить координационное число ячеек ОЦК, ГЦК, гексагональной и ГПУ.

Для определения положения атомных плоскостей (проходящих через атомы) и для определения направлений в кристаллических пространственных решётках пользуются индексами Миллера — Браве.

Индексами плоскостей (hkl) называются три целых рациональных числа, являющиеся величинами, обратными осевым отрезкам, отсекаемым данной плоскостью на осях координат. Единицы длины вдоль осей выбираются равными длинам рёбер элементарной ячейки.

В качестве примера 4 установим индексы для плоскостей куба (*рис. 14, а*). Каждая плоскость куба пересекает только одну ось, при этом отрезки будут равны: $1, \infty, \infty$; $\infty, 1, \infty$; $\infty, \infty, 1$ и т. д. Обратные величины отсекаемых отрезков будут соответственно равны: $1, 0, 0$; $0, 1, 0$; $0, 0, 1$. Индексы плоскостей пишутся в круглых скобках не разделяясь запятыми: (100) , (010) , (001) . Другие примеры приведены на *рис. 14, б и в*.

Для определения индексов направления необходимо из семейства параллельных плоскостей выбрать направление плоскостей, проходящих через начало координат. Далее, приняв за единицу длину ребра элементарной ячейки, определить координаты любой точки этого направления. Полученные значения координат приводятся к отношению трёх наименьших целых чисел. Эти цифры, заключённые в квадратные скобки $[uvw]$, являются индексами данного направления и всех ему параллельных

направлений. Основные направления в кубической решётке приведены на *рис. 14, г*.

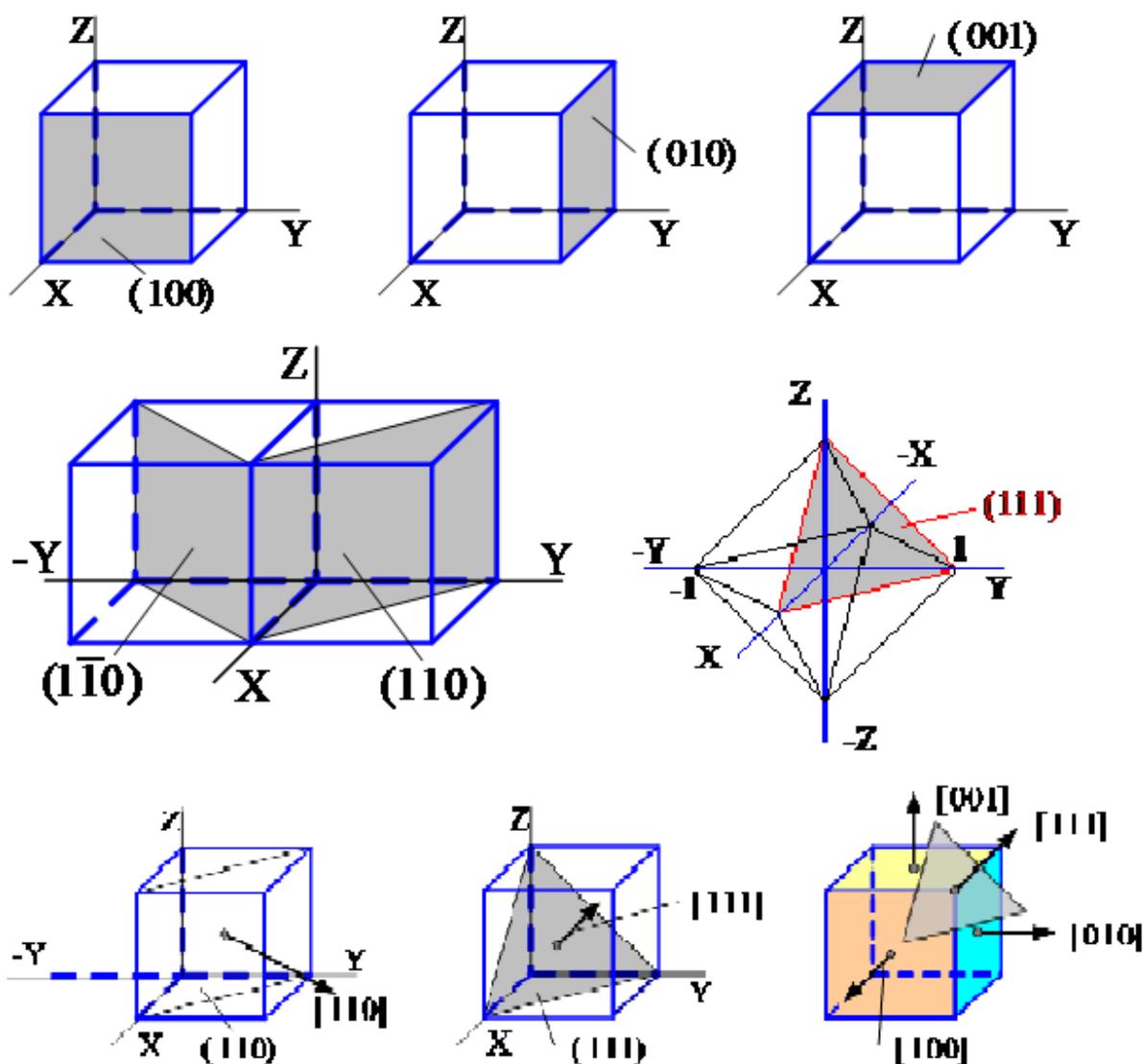


Рис. 14. Индексы Миллера — Браве

Задания для самостоятельной работы.

5. Указать и определить длину следующих направлений для ромбической решётки с размерами $a = 2,53 \text{ \AA}$, $b = 5,8 \text{ \AA}$, $c = 4,27 \text{ \AA}$: $[100]$, $[110]$, $[111]$, $[112]$, $[\bar{1}00]$, $[2\bar{1}0]$.

6. Указать на рисунке и найти длину через постоянную решётки a следующие векторы для ГЦК решётки: Γ_{111} , Γ_{110} , Γ_{010} , Γ_{112} .

7. Определить углы между следующими парами направлений в кубическом кристалле: а) $[001]$ и $[011]$, б) $[011]$ и $[111]$, в) $[011]$ и $[101]$.

8. Указать на рисунке следующие плоскости для кубического кристалла: $(\bar{1}00)$, $(0\bar{1}0)$, $(00\bar{1})$.

9. Определить плотность расположения атомов на следующих плоскостях ОЦК и ГЦК решёток: (100), (110), (111).

Среди металлов и некоторых неметаллов распространено явление **полиморфизма** — способность в твёрдом состоянии при различных температурах (или давлении) иметь различные типы кристаллических структур, называемые **аллотропическими формами** или **модификациями**. Модификации обозначаются греческими буквами α , β , γ , δ и т. д. в порядке возрастания температуры. Например, железо (Fe) в интервале температур до 910°C и от 1392°C до плавления (1539°C) имеет решётку ОЦК и называется α -железом (Fe_α), а в интервале температур 910°C — 1392°C имеет решётку ГЦК и называется γ — железом (Fe_γ).

Задача 10. Вычислить изменения объёма при переходе железа из α в γ модификацию. Указание: принять в расчёт изменение числа атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку при указанном превращении. Значение периодов решёток взять из табл. 1.

§2. ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛОВ

Реальный кристалл не имеет идеально правильного расположения атомов по всему объёму. В реальных кристаллах встречается большое количество дефектов. *Различают следующие виды дефектов кристаллической решётки: точечные, линейные и поверхностные.*

Образование точечных дефектов связано с тепловым хаотичным перемещением атомов и присутствием в веществе примесей, искажающих его кристаллическую решётку. Атомы, энергия которых превышает среднее значение, свойственное данной температуре, могут покинуть положения равновесия, преодолеть потенциальный барьер, созданный атомами, и переходить в межузлие или на поверхность кристалла, и даже покинуть кристалл, «испаряясь» в окружающую среду. Энергия (минимальная), необходимая для преодоления этих барьеров, называется энергией активации ($E_{ак}$).

Атом, вышедший из положения равновесия в межузлие, называется дислоцированным, а образовавшееся в узле решётки свободное место — «дыркой» или «вакансией» (рис. 15). Образо-

вание вакансий и дислокаций вызывает искажение решётки, простирающееся на 5–6 её периодов.

Число вакансий ($N_{\text{вак}}$) в кристаллической решётке определяется по формуле

$$\ln \frac{N_{\text{вак}}}{N} = -\frac{E_{\text{ак}}}{kT} + \ln C, \quad (6)$$

где N — общее число атомов, k — постоянная Больцмана, T — температура, C — константа.

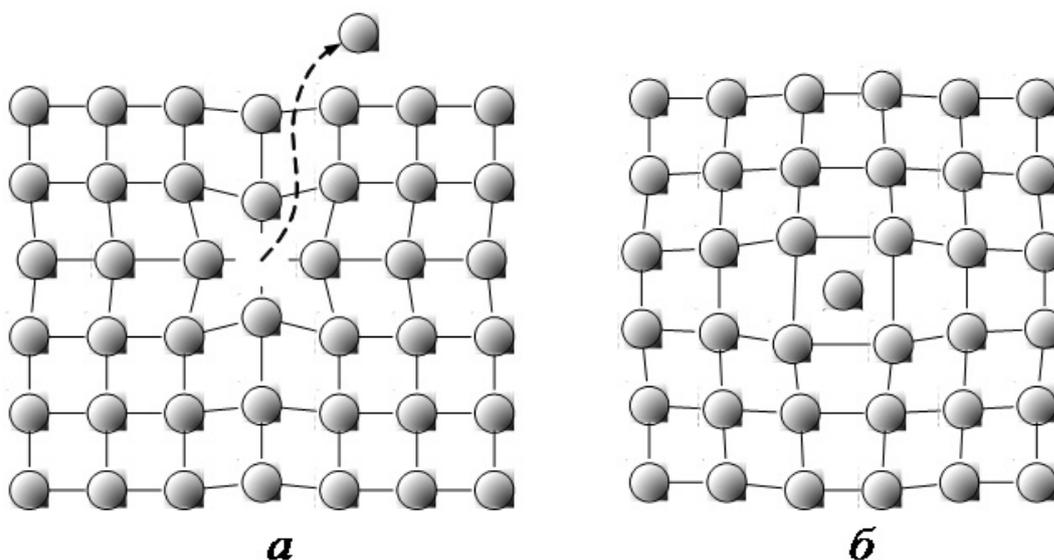


Рис. 15. Точечные дефекты:
a — вакансия, *б* — дислоцированный атом

Соседний с вакансией атом, обладающий повышенной энергией, может переместиться на её место. Поэтому вакансии непрерывно перемещаются в решётке. Это перемещение порождается вплоть до выхода вакансии на поверхность кристалла.

Образование вакансий чаще происходит в результате «испарения» атомов с поверхности кристалла, поэтому число вакансий всегда намного больше числа дислокаций

Точечные дефекты возникают и в результате внедрения примесных атомов в кристаллическую решётку. Решётка вокруг примесей искажена, её строение нарушено, энергия повышена.

Задача 11. При температуре 923 К на долю вакансий приходится 0,08 % мест в кристаллической решётке алюминия, а при 484⁰С — только 0,01 % мест. Плотность алюминия 2699 кг/м³, молярная масса — 26,98 кг/кмоль.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru