

чины равна работе, затрачиваемой при испарении атома из кристалла; вакансии являются термоактивированными, а их концентрация экспоненциально убывает при понижении темп-ры. Однако в квантовых кристаллах в принципе возможно существование т. н. нулевых В. — конечной концентрации В. в осн. состоянии кристалла при нулевой темп-ре. В этом случае даже в полностью равновесном состоянии число частиц, образующих решётку, всегда меньше, чем число узлов. При этом в кристалле оказываются возможными два типа движения, один из к-рых характерен для движения частиц в твёрдом теле, другой — в жидкости. Движение второго типа может сопровождаться потоком вещества через кристалл при неподвижных узлах кристаллич. решётки. Этот вопрос также связан с проблемой *сверхтекучести* в твёрдых телах.

Лит. см. при ст. Дефектон.

А. Э. Мейерович.

ВАКАНСИЯ (от лат. *vacans* — пустующий, свободный) — дефект кристалла, соответствующий не занятому частицей узлу кристаллич. решётки. В., как и др. точечные дефекты, являются центрами деформации (дilatации): частицы, окружающие вакантный узел, смещаются относительно положений равновесия (в узлах кристаллич. решётки), что приводит к появлению внутр. поля напряжений вокруг В. На больших расстояниях r от В. поле напряжений убывает как $1/r^3$. В объёме совершенного кристалла одиночные В. появляться и исчезать не могут; источниками (и стоками) В. служат поверхность кристалла, границы зёрен в поликристалле, дислокации. Возможны также процессы образования и уничтожения В. в паре с *межузельным атомом* (пары Френкеля). Энергия В. зависит от напряжений в кристалле.

В. могут быть как изолированными, так и входить в состав более сложных образований — связанных состояний неск. В. (дивакансии, тривакансии и др.), больших вакансионных кластеров и В., связанных с др. дефектами решётки. В. могут обладать зарядом (напр., В., захватившие электрон, *центры окраски*). В ионных кристаллах относит. концентрации разл. типов В. определяются требованием электронейтральности кристалла. При равных концентрациях В. положительных и отрицательных ионов В. наз. Шотки дефектами, а при равных концентрациях межузельных ионов В. говорят о Френкеля дефектах.

В термодинамич. равновесии равновесная концентрация В. экспоненциально убывает с понижением темп-ры T . Однако возможны состояния кристалла с «замороженными» В. Вблизи кривой плавления равновесная концентрация В. обычно достигает 1—2% от числа атомов. Частицы кристалла, соседние с В., могут совершать термоактивир. скачки на вакантный узел, что приводит к диффузии В. и является одним из механизмов самодиффузии частиц в кристаллах. Коэф. диффузии В., как правило, намного больше, чем у других точечных дефектов, и экспоненциально возрастает с повышением T . Со сравнительно быстрым движением В. в кристалле связаны специфич. вакансионные механизмы переноса (диффузии) др. дефектов, напр. дислокаций (в направлении, перпендикулярном плоскости скольжения) и примесей замещения. Наличие В. существенно влияет на свойства кристалла и физ. процессы (плотность, ионную проводимость, *внутреннее трение*, очистку и стигм кристалла, *рекристаллизацию* и т. д.). В *квантовых кристаллах* В. представляют собой квазичастицы — *вакансионы*.

Лит. см. при ст. Дефекты.

А. Э. Мейерович.

ВАКУУМ (от лат. *vacuum* — пустота) — среда, содержащая газ при давлениях, существенно ниже атмосферного. В. характеризуется соотношением между ср. длиной свободного пробега λ молекул газа и размером d , характерным для каждого конкретного процесса или прибора. Таким размером могут быть расстояние между стенками вакуумной камеры, диаметр вакуумного трубопровода, расстояние между электродами электро-

вакуумного прибора и т. п. Величина λ равна отношению ср. скорости молекулы \bar{v} к числу Z столкновений, испытываемых ею за единицу времени: эту величину можно также выразить через диаметр молекулы d_m и число молекул n в единице объёма:

$$\lambda = 1/\sqrt{2} \cdot \bar{v} / n d_m^2 \quad (1)$$

(для электронов λ в 5—6 раз больше).

В зависимости от величины отношения λ/d различают низкий ($\lambda/d \ll 1$), средний ($\lambda/d \approx 1$), высокий ($\lambda/d \gg 1$) В. В низком В. преобладают столкновения молекулы друг с другом, в высоком В. преобладают столкновения молекул со стенками камеры. В обычных вакуумных установках и приборах ($d=10$ см) низкому В. соответствуют давления $p > 10^2$ Па (1 мм рт. ст.), среднему В. — от 10^2 до 10^{-1} Па ($1-10^{-3}$ мм рт. ст.), высокому В. — $p < 10^{-1}$ Па (10^{-3} мм рт. ст.; табл. 1). В порках или каналах диам. ~ 1 мкм высокому В. соответствует давление начиная с десятков и сотен мм рт. ст., а в камерах для имитации космич. пространства (объёмом в десятки м³) граница между средним и высоким В. порядка 10^{-5} мм рт. ст.

Табл. 1. — Характеристики различных степеней вакуума ($d \sim 10$ см)

	Вакуум			
	низкий	средний	высокий	сверхвысокий
Диапазон давлений, Па (мм рт. ст.)	10^5-133 (750-1)	$133-1,33 \times 10^{-1}$ (1-10 ⁻³)	$1,33 \cdot 10^{-1}-1,33 \cdot 10^{-3}$ (10 ⁻³ -10 ⁻⁷)	$\ll 1,33 \cdot 10^{-8}$ (10 ⁻⁸)
Число молекул в 1 м ³	$10^{25}-10^{22}$	$10^{22}-10^{19}$	$10^{19}-10^{16}$	$\leq 10^{16}$
Режим течения газа	Вязкостный	Переходный к молекулярному	Молекулярный	Молекулярный

Понятие сверхвысокого В. связывается не с величиной отношения λ/d , а со временем τ , необходимым для образования мономолекулярного слоя газа на поверхности твёрдого тела в В., к-рое оценивается по Фле:

$$\tau = \eta \cdot 10^{-6} / p, \quad (2)$$

где η — коэф. захвата частицы поверхностью. Сверхвысоким В. наз. область давлений $p < 10^{-8}$ мм рт. ст., когда $\tau >$ неск. минут.

Основные составляющие воздуха, за исключением H₂O, CO₂ и Хе, при комнатной темп-ре — газы, они находятся при темп-ре T выше критической $T_{кр}$ и не могут быть переведены в конденсир. состоянии повышением давления. При $T < 77$ К все атм. газы, кроме Н, Не, Ne, переходят в жидкое состояние (табл. 2).

Табл. 2. — Некоторые параметры атмосферных газов при $p = 10^5$ Па (750 мм рт. ст.) и $T = 273$ К

Газ	$T_{кр}$, К	λ , (м) · 10 ⁸	\bar{v} , (м/с) · 10 ⁻²	Число молекул, удаляющихся с поверхности N , (м ⁻² с ⁻¹) × 10 ⁻²⁷	Объём в сухом атмосферном воздухе, %
H	33,2	11,04	16,93	11,23	5 · 10 ⁻⁵
He	5,23	17,53	12,01	7,969	5,2 · 10 ⁻⁴
Ne	12,42	12,42	5,355	3,550	1,8 · 10 ⁻³
N ₂	126	5,99	4,542	3,011	78,08
O ₂	155	6,33	4,252	2,819	20,95
A	151	6,20	3,805	2,523	0,93
CO ₂	304	3,88	3,624	2,403	0,033
K	209	4,85	2,629	1,743	1,1 · 10 ⁻⁴
Xe	290	3,47	2,099	1,392	8,7 · 10 ⁻⁶