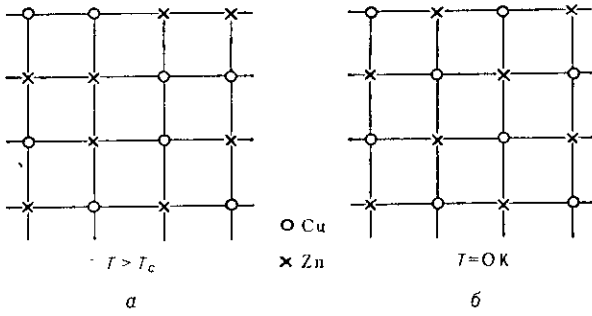


ной вероятностью атомами Cu или Zn (рис. а) и ср. удельная плотность атомов Cu однородна, т. е. ρ_{Cu} не зависит от координат узла (неупорядоченная фаза). При понижении темп-ры атомы Cu и Zn образуют правильное расположение (упорядоченная фаза, рис. б).



Если ввести параметр порядка $\eta(r) = \bar{\rho}_{Cu}(r) - \bar{\rho}_{Zn}(r)$, то при высокой темп-ре $\eta(r) = 0$, а при низкой темп-ре

$$\eta(r) = \pm 1/2 (\bar{\rho}_{Cu} - \bar{\rho}_{Zn}). \quad (2)$$

Переход из неупорядоченной фазы в упорядоченную в сплавах часто происходит в результате фазового перехода 2-го рода. При этом упорядочение происходит постепенно, т. е. параметр порядка $\eta = 0$ для темп-ры $T > T_c$ (T_c — темп-ра фазового перехода), а при $T < T_c$ η постепенно возрастает с понижением темп-ры. При $T > T_c$ дальнего порядка нет, но ближний порядок есть. Это означает, что, хотя для двух узлов, удалённых друг от друга на расстояния $R > R_c$, вероятности занять их атомами Cu одинаковы, на расстояниях $R < R_c$ эти вероятности коррелируют друг с другом, как в упорядоченной фазе. При приближении к T_c радиус корреляции $R_c \rightarrow \infty$ и ближний порядок превращается в дальний.

И в кристаллах, и в сплавах высокотемпературная фаза является неупорядоченной. Такая ситуация, как правило, типична для всех видов упорядочения. При повышении темп-ры разупорядочивающее тепловое движение становится более интенсивным, что приводит при достаточно высоких темп-рах к разрушению корреляций, т. е. к отсутствию дальнего порядка и ослаблению ближнего порядка (к уменьшению R_c).

Ориентационное и магнитное упорядочения. В изотропной жидкости, состоящей из анизотропных, но случайно ориентированных молекул, может происходить фазовый переход в анизотропную жидкость, в к-рой молекулы имеют преимущ. ориентацию (см. *Жидкие кристаллы*). Параметром порядка при таком ориентационном упорядочении является спонтанная поляризация или константа анизотропии диэлектрич. проницаемости ϵ , равные 0 в изотропной жидкости и отличные от 0 в жидком кристалле.

Магн. упорядочение состоит в том, что магн. моменты атомов, ориентированные при высокой темп-ре в разных точках независимо (*парамагнетик*), при понижении темп-ры ниже точек Кюри или Нееля упорядочиваются и либо имеют одинаковое направление и ориентацию (*ферромагнетик*), либо одинаковое направление, но разные ориентации. В последнем случае они образуют магн. подрешётки, причём ориентации магн. моментов для атомов каждой подрешётки одинаковы, а для атомов разных подрешёток — противоположны (*антиферромагнетик*). Параметром порядка в ферромагнетиках является намагниченность.

Упорядочение в квантовых жидкостях. Все перечисленные виды упорядочения имели в качестве параметра порядка классич. величины. Имеется важная группа упорядочивающихся систем, в к-рых параметром порядка является макроскопич. волновая ф-ция всего образца. Такое квантовое упорядочение есть в сверхтекучем состоянии изотопов гелия HeII, $^3\text{He} - A$, $^3\text{He} - B$

(см. *Гелий жидкий, Сверхтекучесть*) и в сверхпроводящей фазе металлов (см. *Сверхпроводимость*). В этих случаях при темп-ре T выше темп-ры фазового перехода T_λ волновые ф-ции всех частиц, относящиеся к удалённым друг от друга точкам пространства, скоррелированы. Упорядоченное состояние характеризуется скоррелированной фазой волновых ф-ций частиц, к-рая может измениться во всём образце в целом, но не может измениться независимо в разных точках.

Изменение симметрии при упорядочении. В классификации упорядоченных и неупорядоченных фаз важную роль играет симметрия. Напр., в случае сплава в высокотемпературной фазе все узлы решётки эквивалентны, поэтому здесь имеет место инвариантность относительно трансляции на любое число периодов кристаллич. решётки, т. е. непрерывная симметрия. В упорядоченной фазе сплава эквивалентны только узлы, занятые, напр., атомами Cu. Ей отвечает инвариантность относительно таких трансляций, к-рые переводят один из узлов, занятых атомом Cu, в другой (дискретная симметрия). Т. о., упорядоченной фазе отвечает более низкая симметрия.

В момент фазового перехода симметрия меняется скачком. Однако параметр порядка, к-рый является мерой нарушения симметрии, может возникать как скачком, так и непрерывно. Математич. теорией, классифицирующей симметрии разл. фаз, является теория *групп*. Изучение симметрии упорядоченной и неупорядоченной фаз позволяет, в частности, выяснить тип фазового перехода.

Если при упорядочении нарушается непрерывная симметрия, то говорят, что упорядоченная фаза обладает дополнительной по сравнению с неупорядоченной фазой «жесткостью». Это означает, что малая деформация требует дополнит. затраты энергии. Напр., при переходе жидкости в кристаллич. состояние нарушается инвариантность относительно трансляции частиц на произвольный вектор a . Следствием этого является появление в твёрдом теле дополнит. жесткости по отношению к деформации сдвига, к-рая отсутствует в жидкости. В HeII при согласованных изменениях фазы ($\nabla\varphi$) волновой ф-ции возникает дополнит. свободная энергия $F = \frac{1}{2} \rho_s \nabla\varphi^2$, где ρ_s — удельная плотность сверхтекучей компоненты — играет роль коэф. жесткости. Если переход в упорядоченное состояние является переходом 2-го рода, то в точке перехода $\rho_s \rightarrow 0$.

Примером, когда при упорядочении не возникает дополнит. жесткости, является упорядочивание сплава. В этом случае в результате упорядочения нарушается не непрерывная, а дискретная симметрия относительно трансляций на периоды исходной решётки.

Упорядочение в одномерных (цепочки) и двумерных (плёнки) системах имеет ряд особенностей: как правило, дальний порядок при любой конечной темп-ре в них отсутствует, но при низких темп-рах есть ближний порядок с большим радиусом корреляции R_c . Если при упорядочении нарушается дискретная симметрия, то в двумерном случае возможен дальний порядок. В одномерном же случае дальнего порядка нет, но $R_c \sim \exp(J/kT)$, где J — «выигрыш» в энергии при упорядочении. Если при упорядочении нарушается непрерывная симметрия, то дальнего порядка нет и в двумерных и в одномерных системах; $R_c \sim \exp(J/kT)$ в двумерном или $R_c \sim J/kT$ в одномерном случае.

Если между цепочками или плёнками есть слабое взаимодействие, то при высокой темп-ре отсутствуют и дальний и ближний порядок, при понижении темп-ры возникает область ближнего порядка с большим R_c , и при самых низких темп-рах возникает дальний порядок (см. *Квазиодномерные соединения, Квазидвумерные соединения*).

Многократное упорядочение. Вещество, в к-ром уже произошло кристаллич. упорядочение, может при