

равновесия (напр., переход лазера в состояние когерентной генерации при увеличении уровня накачки). Далее (если не оговорено особо) обсуждаются Ф. п. в равновесных системах (по поводу неравновесных Ф. п. см. *Неравновесные фазовые переходы*).

Обычно различают Ф. п. 1-го рода, происходящие с выделением или поглощением теплоты (см. *Теплота фазового перехода*) и сопровождающиеся скачками уд. объёма, и Ф. п. 2-го рода, происходящие непрерывным образом, но сопровождающиеся аномальным возрастанием флуктуационных явлений.

Ф. п. 1-го рода. Точка Ф. п. 1-го рода характеризуется равенством уд. Гиббса энергий (термодинамич. потенциалов) двух фаз, между к-рыми происходит переход: $\Phi_1(T, P, N) = \Phi_2(T, P, N)$. При этом производные термодинамич. потенциалов $\Phi_{1,2}$ по параметрам T, P, \dots (т. е. энтропия, уд. объём и т. п.), вообще говоря, не совпадают. Поэтому Ф. п. 1-го рода связаны со скачкообразными изменениями этих величин. В нек-рой окрестности точки Ф. п. 1-го рода в обеих фазах реализуются локальные минимумы термодинамич. потенциалов; одна из фаз является абсолютно устойчивой, а другая — метастабильной (см. *Метастабильное состояние*). Для каждой из фаз, рассматриваемых по отдельности, точка Ф. п. 1-го рода ничем не выделена, в частности процессы установления термодинамич. равновесия не испытывают замедления в окрестности этой точки, в то время как процесс превращения одной фазы в другую резко замедляется (см. *Кинетика фазовых переходов*). Поэтому для Ф. п. 1-го рода характерны явления гистерезиса (напр., *переохлаждение* и *перегрев*), когда первоначально стабильная фаза при прохождении точки равновесия фаз сохраняется как метастабильная в нек-ром интервале параметров. В точке равновесия обе фазы могут сосуществовать бесконечно долго, в этом случае имеет место т. н. фазовое расслоение.

Примером расслоения является сосуществование жидкости и её пара (или твёрдого тела и расплава) в условиях заданного полного объёма системы. Условие сосуществования фаз при расслоении — равенство хим. потенциалов этих фаз. Хим. потенциал $\mu(T, P, \dots)$ определяется как удельный (приходящийся на одну частицу) термодинамич. потенциал $\mu = \Phi/N$. В однокомпонентной системе две фазы находятся в равновесии на нек-рой кривой в плоскости P, T , определяемой условием $\mu_1(T, P) = \mu_2(T, P)$. Вид кривой $T(P)$ связан с уд. теплотой Ф. п. q и скачком уд. объёма Δv (Клапейрона — Клаузиуса уравнение):

$$dT/dP = T\Delta v/q.$$

Макс. число сосуществующих фаз для однокомпонентной системы равно 3 (газ, жидкость, твёрдое тело). Для системы из n независимых компонентов (раствора) макс. число сосуществующих фаз r определяется Гиббса правилом фаз: $r = n + 2$.

Ф. п. 1-го рода широко распространены в природе. К ним относятся *испарение* и *конденсация*, *плавление* и *кристаллизация*, структурный переход графита в алмаз при высоком давлении, опрокидывание подрешёток антиферромагнетиков во внеш. магн. поле и др. Примерами низкотемпературных Ф. п. 1-го рода могут служить разрушение *сверхпроводимости* чистых сверхпроводников сильным магн. полем, затвердевание ${}^4\text{He}_2$ под давлением.

Ф. п. 2-го рода. Точка Ф. п. 2-го рода является особой для термодинамич. величин системы; при прохождении этой точки первоначально устойчивая фаза более не соответствует никакому (даже метастабильному) минимуму свободной энергии и потому не может существовать. Явления перегрева и переохлаждения при Ф. п. 2-го рода отсутствуют. Примерами Ф. п. 2-го рода являются переходы в точке Кюри в ферромагн. или сегнетоэлектрич. фазы, λ -переход ${}^4\text{He}_2$ в сверхтекучее состояние (см. *Сверхтекучесть*), Ф. п. металлов в сверхпроводящее состояние в нулевом магн. поле. Особым видом Ф. п. 2-го рода являются *критические точки* системы жидкость — пар или аналогичные им критич. точки растворов. Ф. п. 2-го рода характеризуются аномальным возрастанием величин, характери-

зующих отклик системы на внеш. воздействия, — *обобщённых восприимчивостей*. Так, вблизи точек Кюри ферромагнетиков и сегнетоэлектриков резко возрастают магн. и диэлектрич. восприимчивости; вблизи критич. точки жидкость — пар аналогичный рост испытывает сжимаемость.

Вблизи точек Ф. п. 2-го рода наблюдается также аномальный рост *флуктуаций*. Так, флуктуации плотности вблизи критич. точки приводят к усилению рассеяния света (т. н. *опалесценция критическая*), вблизи *магнитных фазовых переходов* усиливаются рассеяние нейтронов на флуктуациях магн. моментов, *структурные фазовые переходы* 2-го рода в кристаллах сопровождаются аномальным рассеянием рентг. лучей. При флуктуац. явлениях вблизи Ф. п. 2-го рода резко замедляются процессы установления равновесия в системе (см. *Кинетика фазовых переходов*).

Изменение состояния системы при Ф. п. 2-го рода можно описать как изменение её симметрии (напр., переход кристалла из фазы с кубич. симметрией в тетрагональную). Связь между Ф. п. 2-го рода и изменением симметрии системы лежит в основе общей теории Ф. п. (см. *Ландау теория фазовых переходов*). Для количеств. описания изменения симметрии в этой теории вводят понятие *параметра порядка*, в качестве к-рого выбирают величину, линейно преобразующуюся под действием группы симметрии системы (напр., магн. момент в ферромагнетике, волновая ф-ция бозе-конденсата в ${}^4\text{He}_2$). Термодинамич. среднее параметра порядка равно нулю в одной из фаз (более симметричной) и непрерывно возрастает от нулевого значения в другой. Изменение симметрии при Ф. п. 2-го рода связано с неустойчивостью симметричного состояния и носит назв. *спонтанного нарушения симметрии*. Теория Ландау является теорией *самосогласованного поля*; условием её применимости является малость *Гинзбурга числа* Gi , что выполняется в чистых сверхпроводниках ($Gi \sim 10^{-14}$), в ряде сегнетоэлектриков и в нек-рых др. системах с эфф. дальним действием. В этих случаях при Ф. п. 2-го рода наблюдается скачок теплоёмкости, причём большей теплоёмкостью обладает несимметричная (упорядоченная) фаза. При $Gi > 1$ теория Ландау неприменима; в частности, это относится к Ф. п. в сверхтекучее состояние, когда теплоёмкость C аномально растёт при темп-рах T , близких к критич. темп-ре T_c : $C \sim |\ln |t||$, $t = (T - T_c)/T_c$.

Существ. отклонения от теории Ландау возникают также в системах с $Gi \ll 1$ в непосредств. окрестности точки перехода ($|t| < Gi$), называемой флуктуационной областью (при $Gi \sim 1$ флуктуационной является вся окрестность Ф. п. 2-го рода). Во флуктуац. области термодинамич. (а также кинетич.) характеристики системы испытывают аномалии, к-рые обычно описывают степенными законами с нецелыми показателями (см. *Критические показатели*). Критич. показатели (КП) обладают свойством универсальности, т. е. не зависят от физ. природы вещества и даже от физ. природы Ф. п., а определяются типом спонтанного нарушения симметрии (так, КП сверхтекучего Ф. п. совпадают с КП ферромагн. Ф. п. в магнетике с анизотропией типа «лёгкая плоскость»). Вычисление этих КП, как и выяснение общих закономерностей Ф. п. 2-го рода вне области применимости теории Ландау, является предметом флуктуационной теории Ф. п. 2-го рода. В этой теории (основанной, как и теория Ландау, на понятии спонтанного нарушения симметрии) аномальное поведение физ. величин вблизи T_c связывается с сильным взаимодействием флуктуаций параметра порядка. Радиус корреляции R_c этих флуктуаций растёт с приближением к точке Ф. п. и обращается в бесконечность при $T = T_c$. Поэтому оказывается невозможным разделить систему на статистически независимые подсистемы, в силу чего флуктуации на всех пространств. масштабах оказываются существенно негауссовыми.

Масштабная инвариантность. В точке Ф. п. 2-го рода аномально усиливаются флуктуации не только параметра порядка, но и ряда др. величин (к ним относятся, в частности, плотность энергии, тензор напряжений и нек-рые другие). Все вместе они образуют набор аномально флук-