

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД

Авторы: Ю. Г. Рудой

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД, переход между состояниями (фазами) физич. системы из большого числа частиц, происходящий при определённых значениях внешних параметров (температуры, давления, магнитного поля и др.). Возможные для данной системы фазы характеризуются [параметрами состояния](#) и графически изображаются на фазовой диаграмме, на которой фазы отделены друг от друга кривой Ф. п. (фазовой границей), причём разл. фазам соответствуют разл. уравнения состояния.

Состояния (фазы) системы отличаются друг от друга [параметрами порядка](#), причём в зависимости от характера их изменения различают Ф. п. 1-го рода (скачкообразное изменение параметров порядка) и Ф. п. 2-го рода (непрерывное изменение параметров порядка); указанное различие довольно условно, т. к. существует тип Ф. п. 1-го рода, близких ко 2-му. Примеры Ф. п. 1-го рода – переходы между газообразным, жидким и твёрдым состояниями одного и того же вещества, Ф. п. 2-го рода – переходы ферромагнетик – парамагнетик, нормальный металл – сверхпроводник и др. (см. также [Магнитный фазовый переход](#), [Ориентационный фазовый переход](#), [Структурные фазовые переходы](#)).

Количественное описание Ф. п. 1-го рода основано на рассмотрении термодинамич. потенциала – [Гиббса энергии](#) G , зависящей от внешних интенсивных термодинамич. параметров (напр., давления p и температуры T) и численно равной химич. потенциалу фазы. На фазовой границе Ф. п. 1-го рода величина G непрерывна, но её первые производные испытывают конечный скачок; к числу указанных величин относятся удельный объём фазы и удельная [теплота фазового перехода](#). Посредством этих величин выражается уравнение фазовой границы $f(p, T) = 0$ (см. [Клапейрона – Клаузиуса уравнение](#)), причём при заданном значении p или T это уравнение однозначно определяет точку Ф. п. – соответственно $T_{кр}$ или $p_{кр}$.

С термодинамич. точки зрения граничащие на фазовой диаграмме фазы соответствуют разл. устойчивым (стабильным) локальным минимумам энергии Гиббса G . При определённых условиях (в число которых входят химич. чистота и однородность) в системе возможны метастабильные состояния – напр., перегретая жидкость или переохлаждённый пар, которые по истечении времени релаксации переходят в стабильные состояния с бурным выделением теплоты фазового перехода. Указанный переход обусловлен ростом т. н. зародышей более стабильной фазы (здесь – капель жидкости) и является примером неравновесных фазовых переходов.

В случае Ф. п. 2-го рода непрерывны как величина G , так и её первые производные, но разрыв (возможно, бесконечный) испытывают вторые производные термодинамич. потенциала (обобщённые термодинамич. восприимчивости) – напр., сжимаемость χ , теплоёмкость C , магнитная восприимчивость χ . Математически указанные особенности характеризуются т. н. критич. показателями (индексами) – напр., $\chi \sim |\varepsilon|^{-\nu}$ вблизи Кюри точки T_C , где $\varepsilon = (T - T_C)/T_C$ – приведённая темп-ра, ν – критич. индекс.

Вблизи точки Ф. п. 2-го рода наблюдаются критические явления – аномальный рост сжимаемости и теплоёмкости вещества, аномальное рассеяние электромагнитных волн на физич. системе, критич. замедление ряда необратимых процессов (напр., диффузии, вязкости) и т. п. Это объясняется тем, что обобщённые термодинамич. восприимчивости пропорциональны равновесным спонтанным флуктуациям термодинамически сопряжённых величин – напр., теплоёмкость пропорциональна флуктуациям внутр. энергии системы, а сжимаемость – флуктуациям её объёма.

Физич. природа Ф. п. 2-го рода связана с понятием симметрии (кристаллографич., магнитной и т. п.) и с определённым типом упорядочения в системе или одной из её подсистем, напр. магнитной (см. Дальний и ближний порядок). Соответственно различаются Ф. п. 2-го рода типа порядок – беспорядок (напр., при упорядочении бинарных сплавов и твёрдых растворов, ферромагнетизм – парамагнетизм) или порядок – порядок (напр., при полиморфных превращениях в твёрдых телах).

К числу Ф. п. 2-го рода относят критические точки, которые соответствуют точкам окончания фазовых границ, где обращаются в нуль скачки удельного объёма и

теплота Ф. п. 1-го рода. Напр., в критич. точке фазовой границы газ – жидкость исчезает физич. различие между этими фазами (по плотности и отсутствию ближнего порядка), так что выше темп-ры $T_{кр}$ и давления $p_{кр}$ невозможен Ф. п. 1-го рода конденсации газа в жидкость.

Теоретич. описание Ф. п. 2-го рода основано на феноменологич. теории фазовых переходов Ландау, согласно которой параметр порядка рассматривается как независимая переменная при минимизации свободной энергии системы. Более точный расчёт критич. показателей основан на т. н. гипотезе подобия, согласно которой вблизи критич. точки резко возрастает радиус корреляций локальных флуктуаций термодинамич. параметров. Это позволяет применить к описанию Ф. п. 2-го рода понятие масштабной инвариантности и эффективно использовать математич. методы, развитые в квантовой теории поля, в т. ч. метод ренормализационной группы.

Литература

Лит.: Ма Ш. Современная теория критических явлений. М., 1980; Паташинский А. З., Покровский В. Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. 2-е изд. М., 1982; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. 6-е изд. М., 2013. Ч. 1.