536.764(049.3)

ВВЕДЕНИЕ В СОВРЕМЕННУЮ ПРОБЛЕМАТИКУ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Г. Стенли. Фазовые переходы и критические явления. Перевод с англ. А. И. Мицека и Т. С. Шубиной, под редакцией академика С. В. Вонсовского. М., «Мир», 1973, 419 с.

В монографии автор поставил себе задачу дать максимально компактное введение в различные аспекты физики фазовых превращений, иллюстрируя их примерами, взятыми из области магнетиков и системы жидкость — газ. Попытка эта, по нашему мнению, удалась. Физики, физико-химики, химики располагают в результате содержательной книгой, написанной живо, ясно, просто (но не упрощенно!), книгой, которую с интересом и пользой прочтут и исследователи, работающие в этой области физики, и ученые, заботящиеся о расширении своего научного кругозора. Она может быть также рекомендована в качестве учебного пособия к курсам термодинамики и статистической физики для студентов и аспирантов физико-химических специальностей.

Книга разделена на шесть частей, каждая из которых в свою очередь состоит из двух-трех глав. В первой части (введение) охарактеризованы фазовые переходы в жидкостях и магнетиках (фазовые диаграммы, критические точки) и подробно разобрана термодинамическая сторона проблемы. Весьма удачны, по нашему мнению, параграфы, в которых разобрано, каким образом «работают» условия выпуклости для термодинамических потенциалов (§§ 4, 5, 10, 11), которые позволяют довольно детально проследить ход термодинамических потенциалов в функции соответствующих переменных, получить, например, с помощью несложных геометрических построений потенциал Гиббса из потенциала Гельмгольца, составить представление относительно общих черт поведения диаграмм состояния. Некоторым количественным аспектам аналогии между жидкостями и магнетиками посвящено приложение А, где обсуждается модель решеточного газа для жидкости в рамках модели Изинга. Вторая часть (критические показатели и точные соотношения между ними) посвящена различным индексам порядка, если пользоваться для характеристики поведения соответствующих термодинамических величин в качестве функций сравнения $\varepsilon = 1 - (T/T_c)$ и магнитным полем H ($\varepsilon \to 0$, $H \to 0_+$), (§ 3), и подробному обсуждению тех неравенств между ними, которые устанавливаются на базе термодинамики (§ 4). Здесь перечислены и некоторые неравенства, устанавливаемые лишь на базе знания поведения корреляторов (в функции T и H), что требует в свою очередь определенных предположений о динамике взаимодействия, детализации микроскопической модели (гамильтониана) системы, претерпевающей фазовое превращение. В третьей части (классические теории кооперативных явлений) введенные выше понятия (в первую очередь критические показатели) проиллюстрированы с помощью тех теоретических построений, которые много лет являлись синонимом теории фазовых переходов второго рода: теория Ван-дер-Ваальса (гл. 5), теория Кюри — Вейсса (гл. 6), теория Орнштейна — Цернике (гл. 7). Здесь стоит отметить гл. 7, в которой изложен современный вариант получения приближения Орнштейна — Цернике в терминах парной корреляционной функции, причем в статическом форм-факторе выделение эффектов «прямой корреляции» (эффектов короткодействия) позволяет провести процедуру построения аппроксимаций для корреляционной функции просто и физически весьма обоснованно. Хорошо обсуждены здесь и возможные модификации структурного фактора, диктуемые экспериментальными данными по полной интенсивности упругого рассеяния. Четвертая часть (Модели для фазовых переходов в жидкостях и магнетиках) содержит две главы. В гл. 8 дана описательная характеристика моделей, получаемых из обобщенной спиновой модели спина размерности D ($1 \leqslant D < \infty$, $D = 1$ отвечает модели Изинга, $D \to \infty$ — сферической модели Каца). Здесь же упоминается о некоторых точных результатах, методы получения которых проиллюстрированы на одномерной системе ($d = 1$). В гл. 9 обсуждаются приближенные методы изучения модельных систем (в основном высоко- и низко-

*) См. рецензию УФН **111**, 387 (1973).

температурные разложения статистической суммы и парной корреляционной функции). Эти методы дали очень много теории фазовых переходов и, на наш взгляд, могут вполне претендовать на место в учебниках по статистической механике наряду с майеровскими разложениями. Автор и излагает их здесь в манере учебника, подробно вычисляя вклад всех диаграмм для $N = 3$, $d = 2$ и получая с их помощью точное решение при $d = 1$. Интерпретируя эти разложения, автор поясняет сильную зависимость критического поведения от размерности системы. Весьма впечатляюще разобрана законность экстраполяции результатов, полученных анализом «оборванных» разложений к точным их значениям. Автор совершенно справедливо призывает помнить о приближенном характере всех выводов, полученных анализом соответствующих разложений в степенные ряды, однако его утверждение, что «...при анализе решеток с $d > 3$... критические показатели в приближении среднего поля, по-видимому, можно получить для всех значений $d \geqslant 3$, прежде чем установится ожидаемое поведение среднего поля за счет постепенного роста d при $d \to \infty$» (стр. 230) надо воспринимать под этим же углом зрения. Совершенно не ясно, чем выделена размерность $d = 4$. Весьма возможно, что, анализируя поведение термодинамических величин в критической области при возрастании d, необходимо пользоваться более «тонкими» функциями сравнения, чем, скажем, $\varepsilon = 1 - (T/T_c)$. Так, недавно было показано (В. А. Загребнов, препринты ОИЯИ Р4-7001 и Р4-7143, Дубна, 1973), что парная корреляционная функция при $d = 4$ в «микроскопической» критической области характеризуется логарифмическим ветвлением. В этой же главе в качестве рецепта на случай, когда коэффициенты степенных разложений не позволяют установить простую закономерность (этим зачастую характерны низкотемпературные разложения), автор разбирает использование паде-аппроксимантов и метод замены переменных. К данной части идейно и тематически примыкают приложения В и Е. В приложении Б разбирается получение методом Вдовиченко точного решения в модели Изинга ($d = 2$, $H = 0$), в приложении Е — некоторые точные результаты Либа, касающиеся сегнетоэлектриков с водородными связями (КДП).

Основной интерес в пятой части (Феноменологическая теория фазовых переходов), как мне представляется, должны вызвать гл. 11 и 12, в которых весьма просто и вместе с тем весьма конструктивно излагаются основные моменты статической гипотезы подобия («скейлинг») — в гл. 11 применительно к термодинамическим функциям («венцом» изложения здесь является § 4, посвященный уравнению состояния для приведенных величин), в гл. 12 — применительно к равновесным средним (основной упор здесь сделан на обсуждение свойств парного коррелятора как обобщенной однородной функции). Этим двум главам «придано» приложение В, в котором доказано, что свойство обобщенной однородности есть инвариант преобразования Лежандра для термодинамических потенциалов. Нам представляется, что оно было бы уместнее в качестве пятого пункта § 1 гл. 5.

Весьма высокой оценки, как по отбору материала, так и по изложению, заслуживает, на наш взгляд, шестая часть рецензируемой монографии (Динамические черты критических явлений), которую мы и охарактеризуем подробнее. Она подразделена на три главы. В гл. 13 подробно разбирается роль корреляционной функции плотность — плотность и соответствующего динамического форм-фактора, выписанного здесь в гидродинамическом приближении (получению его в этом приближении посвящено приложение Г). Обсуждается, какие сведения о поведении кинетических коэффициентов (Λ — теплопроводности, η — сдвиговой вязкости, ζ — объемной вязкости) можно извлечь, исследуя спектр рассеянного излучения: относительная интенсивность рэлеевской линии и дублета Брюллиэна — Мандельштама, положение последнего в функции ε. Здесь же упоминается о тех расхождениях с предсказаниями гидродинамического приближения, которое имеет место в типичных экспериментах. В гл. 14 анализируются результаты измерений динамического структурного фактора жидких систем (в основном на примерах CO_2, Xe, SF_6). Из ширины рэлеевской линии и изотермической сжимаемости оценивается критический показатель Λ (полуколичественно), обсуждается модификация выражения для ширины в области, где гидродинамическое приближение теряет силу ($\varepsilon \leqslant 3 \cdot 10^{-4}$). В заключительном § 5 с большим мастерством и методической ясностью обсудив возможности современных экспериментальных установок, автор хорошо обрисовывает драматическую ситуацию нарушения гидродинамического приближения в «самой» гидродинамической области: при температурах $T - T_c \leqslant 1°$ ширина линий дублета и скорость звука, рассчитанная по частоте дублета, становятся постоянными, отношение же Ландау — Плачека, в согласии с гидродинамикой, расходится. Теоретический материал, позволяющий как-то разобраться в круге проблем, очерченных в гл. 12—14, и является содержанием последней гл. 15 (Динамическая гипотеза подобия (динамический «скейлинг»)): § 1—4 позволяют как-то обосновать модификацию ширины рэлеевской линии и по ее зависимости от передачи импульса в гидродинамической области восстановить поведение в критической области (оно подтверждается экспериментами на расслаивающихся смесях); определенные заключения можно сделать и о критическом индексе Λ. Результаты магнитных измерений по скорости релаксации продольных спиновых флуктуаций (полный эквивалент шири-

ны центральной компоненты) хорошо согласуются с предсказаниями динамического «скейлинга» (§ 4). Однако предсказания динамического «скейлинга», относящиеся к характеристикам дублета, не согласуются ни с экспериментом, ни с полумикроскопическими расчетами, охарактеризованными в § 5—7 и базирующимися на физически разумной идее о сильном взаимодействии в окрестности критической точки различных элементарных возбуждений («кинетических мод»). Если говорить для определенности о Λ, то в теплопроводность в области $T - T_c \gtrsim 1°$ дают вклад эффекты вязкости («вязкие моды»), причем этот вклад $\sim \varepsilon^{-2/3}$, а в области $T - T_c \gtrsim 0{,}3°$ налицо вклад звуковых мод, причем он $\sim \varepsilon^0$. Опыты, о которых шла речь выше, проведены в интервале $0{,}015 \leqslant (T - T_c) \leqslant 12°$: измерение частоты дублета ω_B (для CO_2, например, $\omega_B \approx 2 \times 700$ *Мгц*) проведено таким образом, как в области, где существен вклад вязкости (12° — 1 °К), так и в области, где вклад в теплопроводность определяется звуковыми модами (1°—0,3 °К); эксперимент дает сведения и об области (0,3°—0,015 °К), в которой теоретический анализ к 1972 г. отсутствовал. Предположение о доминирующем вкладе Λ в характеристики дублета и объясняет упомянутое выше нарушение гидродинамики в «своей» области ($T - T_c \lesssim 1°$). В § 7 и 8 описаны результаты расчетов взаимных вкладов всех трех процессов диссипации энергии, что составляет количественный аспект теории взаимодействующих мод, и приведены результаты сравнения предсказаний этой теории с экспериментальными данными в системах жидкость — газ, бинарных смесях, магнетиках, He^4. В большинстве случаев согласие вполне обнадеживающее. В приложении Д разбирается подход Глаубера к динамической модельной системе «типа Изинга»; эволюция вероятности нахождения системы в состоянии $\{S_1 \ldots S_N\}$ в момент времени t описывается «основным уравнением», коэффициенты в котором $w_j(S_1, \ldots, S_N)$ суть вероятности перехода в единицу времени и определяются (принципом детального равновесия) с помощью равновесного статистического оператора. Детально проанализировано здесь приближение среднего поля, однако предложенный подход может быть распространен и на случай аппроксимаций, в которых учитываются корреляционные эффекты.

Резюмируя, замечу, что монография написана ясно, доходчиво, автор умело вводит читателя в суть широкого круга вопросов, минуя сложные и громоздкие математические выкладки и поясняя, где это необходимо, их результат. Небольшое число отступлений из «истории» вопроса (см., например, § 1 гл. 14) вполне уместно и служит для пользы дела. Хотелось бы лишь в книге такого плана видеть более солидно представленными разделы, в которых обсуждаются точные результаты исследования модельных гамильтонианов (приложения В, Д, Е хороши, но их мало!). Как нам представляется, расширить их можно было бы за счет гл. 5, 6, 10, в которых излагаются феноменологические подходы Ван-дер-Ваальса, Кюри — Вейсса, Ландау. Из первых двух глав стоило бы оставить: § 5, фиг. 5.3 и § 5, фиг. 6.5 соответственно. Гл. 10 безболезненно может быть опущена целиком. Весь материал этих глав давно стал достоянием учебников, хорошо известен и экспериментаторам, которые, к сожалению, зачастую настолько сжились со сложившейся в этих аппроксимациях терминологией, что бывает затруднительно извлечь из их экспериментов результаты, не проинтерпретированные в двух среднего поля и теоретикам (наиболее осторожные из них все же надеются «примирить Ван-дер-Ваальса с Онсагером», по выражению Домба).

Несмотря на то, что кое-где не удалось справиться с жаргоном оригинала («функция становится очень дальнодействующей»— стр. 153, «облучаем нашу критическую жидкость»— стр. 156, «в этой области он и силен»— стр. 210, «расходится к бесконечности»— стр. 222, «В итоге мы увидели»— стр. 236), во многих местах по тексту (особенно в приложении Г) стоило бы заменить термин «уравнение» (в английском весьма двусмысленный) термином «выражение» или «формула»), книга переведена и издана хорошо. Мне представляется, что заглавие оригинала («Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena») лучше передает ее содержание.

В. К. Федянин

Успехи физических наук, т. 113, вып.

Редактор *В. В. Власов*

Техн. редактор *В. Н. Кондакова* Корректоры *Е. А. Белицкая, А. Л. Ипатова*

Сдано в набор 5/III 1974 г. Подписано к печати 24/IV 1974 г. Бумага 70×108¹/₁₆.
Физ. печ. л. 12+2 вкл. Условн. печ. л. 17,16. Уч.-изд. л. 17,34 Тираж 4795 экз.
Т-20892. Цена 1 р. 20 к. Заказ № 0198

Издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Трудового Красного знамени Московская типография № 7 «Искра революции»
Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, К-1, Трехпрудный пер., 9