536.75 (061 3)

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
(по материалам IV Совещания по статистической физике, Львов, 4-10 сентября 1972 г.)

В. К. Федянин

В настоящее время в центре внимания многих исследователей в области статистической механики стоят следующие проблемы: 1) Статистическая теория равновесных систем взаимодействующих частиц. 2) Неравновесная статистическая термодинамика. Релаксационные процессы. 3) Общие вопросы теории твердого тела. Фазовые переходы.

Именно этот круг вопросов и был предметом IV ежегодного совещания по статистической физике, проведенного во Львове Институтом теоретической физики АН УССР.

Уместно несколько расшифровать повестку конференции. Основным стержнем совещания, и это нашло отражение в большинстве сообщений, являлось применение и развитие идей, концепций и методов Н. Н. Боголюбова в области статистической механики. По нашему мнению, замечательно то, что все концепции и методы Н. Н. Боголюбова в статистической физике (а некоторые уже имеют солидный «возраст», являясь сверстниками доброй половины исследователей, работающих в этой области науки), до сих пор используются, обсуждаются, обосновываются, словом. «работают» со все

возрастающей эффективностью. Вот уже поистине «...нет ничего практичнее хорошей теории!».

Обращаясь к содержанию докладов, отметим прежде всего, что большинство сообщений, по нашему мнению, было интересным, они давали повод к широким дискуссиям — преимущество деловых совещаний с ограниченным числом участников, и, в этом смысле, доклады оказались полезными не только докладчикам. Если, по согласованию с Оргкомитетом, я и остановлюсь ниже на некоторых сообщениях, то это объясняется в основном лимитирующим размером заметки, позволяющей охарактеризовать детальнее лишь несколько сообщений достаточно общего характера. (Материалы этой конференции, как и материалы предыдущих, будут полностью изданы издательством «Наукова думка» в Киеве. Это даст возможность ознакомиться желающим со всеми доложенными работами.)

Доклад Д. Я. Петрины был посвящен доказательству существования решения известной цепочки уравнений Н. Н. Боголюбова (в классическом и квантовом случаях) и вызвал бурную дискуссию. Это и естественно. Цепочка уравнений для функций распределения используется широко и повсеместно, а проблема существования и единственности предельных функций распределения и их зависимость от плотности, тесно связанная с допустимым классом потенциальных функций, в строгой математической постановке поставлена и решается сравнительно недавно и в первую очередь самим Н. Н. Боголюбовым (а также его учениками Д. Я. Петриной и Б. И. Хацетом). Д. Я. Петрине удалось строго доказать аналитичность свободной энергии (как функции плотности), а также существование и аналитичность корреляционных функций для определенного класса потенциалов. В настоящее время эти исследования продолжаются им в направлении изучения ситуации с потенциалами, достаточно реалистически аппроксимирующими физическую реальность.

Интересным и важным представляется направление, развиваемое Н. Н. Боголюбовым (мл.) и сотрудниками. В этих работах исследуется процедура замены различных модельных гамильтонианов аппроксимирующими гамильтонианами (как для свободной энергии, так и для квазисредних), что позволяет, в частности, строить точно решаемые модели. Здесь развит новый подход к вычислению средних по гамильтониану, инвариантному относительно некоторой группы преобразований, вырождение по которой не снимается (т. е. вычисление средних без обращения к концепции «квазисредних»), что может быть использовано для исследования систем со «спонтанным нарушением симметрии». Развитый формализм иллюстрируется на модельном гамильтониане типа БКШ. Доклад Б. И. Садовникова и В. К. Федянина был посвящен проблеме специфического упорядочения, рассмотренной на основе неравенств Н. Н. Боголюбова для коммутаторных функций Грина. Подчеркнем, что математический аппарат работы Н. Н. Боголюбова о квазисредних может быть эффективно использован для исследования проблем вырождения состояния статистического равновесия, обусловленного инвариантностью гамильтониана системы относительно некоторой группы преобразований, что имеет прямое отношение к проблеме фазовых переходов II рода — центральной нерешенной проблеме современной статистической механики. Новыми моментами в упомянутом выше докладе было использование неравенств Н. Н. Боголюбова в модели Изинга и строгое доказательство отсутствия кристаллического упорядочения в одно- и двумерных системах, характеризуемых рюэлевским поведением свободной энергии (взаимодействие на бесконечности убывает как r^{-n}, $n > d$). Тот факт, что любые спектральные функции в модели Изинга являются суммами δ-функций, коэффициенты при которых суть некоторые определенные комбинации корреляторов (эти результаты были впервые установлены в 1966 г. С. В. Тябликовым и В. К. Федяниным), приводит к тому, что неравенства Н. Н. Боголюбова доставляют прямой и строгий алгоритм установления весьма нетривиальных неравенств для корреляционных функций, справедливых во всем диапазоне температур и напряженностей магнитного поля, что в свою очередь существенно при использовании модели Изинга в теории фазовых переходов II рода. Строгое доказательство отсутствия кристаллического упорядочения базируется на определении последнего как наличия «точек сгущения» и никак не использует те или иные аппроксимации теории решетки.

Ряд работ был посвящен применению метода смещений и коллективных переменных в теории электронного газа в металлах и в теории бозе-систем. Так, в работе И. Р. Юхновского и Р. Н. Петрашко была проанализирована известная трудность, связанная с отрицательностью второй корреляционной функцией при металлических плотностях (при $r \to 0$) и построены точные групповые квантовые разложения (квантовые аналоги вириальных разложений) для вырожденных ферми-систем, позволившие получить во всей области r положительно определенную бинарную корреляционную функцию. В работе И. Р. Юхновского и И. А. Вакарчука единым методом определены волновые функции основного и слабовозбужденного состояний бозе-систем и развита эффективная теория возмущений, основанная на последовательном включении взаимодействий, обусловленных все большим числом векторов передачи.

Очень перспективное исследование было выполнено А. В. Свидзинским с сотрудниками. Оно касалось токовых состояний в сверхпроводящих контактах (сверхпровод-

ник — нормальный металл-сверхпроводник). Показано, что уравнения Н. Н. Боголюбова могут быть решены точно в модели с кусочно-постоянным значением параметра упорядочения, если предварительно провести «сглаживание» по длинам порядка атомных. Развитые здесь методы применимы также к исследованию других типов сверхпроводящих контактов. Сообщение В. Эбелинга (ГДР) касалось построения уравнения состояния, в котором четко проводится различие между вкладом свободных и связанных состояний. Если первые дают вклады в виде некоторой функции плотности, то последние представляются разложениями по активности, что конечно, тесно связано с различным характером сил, обусловливающих существование этих двух типов состояний. Различным моделям металла были посвящены сообщения К. Д. Товстюка и сотрудников; существенным моментом здесь является использование теоретико-групповых методов в многоэлектронных задачах твердого тела. В частности, М. Ф. Алексеевой и К. Д. Товстюком рассмотрена задача построения на базе парного взаимодействия модельного гамильтониана при учете теоретико-групповых правил отбора. Сообщение А. С. Давыдова и А. А. Серикова было посвящено различным возможным путям учета в правилах сумм фононного фона. Весьма широкую аудиторию (физики, биологи, химики) привлек доклад А. С. Давыдова об экситонном механизме сокращения мышцы. Предложенная А. С. Давыдовым модель проста, свободна от многих неестественных предположений, характерных для существующих утилитарных моделей, допускает рассмотрение как граничных, так и температурных эффектов. Конечно, как подчеркивалось и автором модели, и в многочисленных выступлениях, решающим аргументом здесь должен явиться эксперимент. Во всяком случае модель представляется очень перспективной, а дискуссия была весьма бурной.

В нескольких сообщениях разбирались конкретные вопросы магнетизма. На базе различных спиновых гамильтонианов с широким использованием известного расцепления Боголюбова — Тябликова и его соответствующих аналогов обсуждались как возможные выходы за его рамки, так и различные интерполяции в низкотемпературной и высокотемпературной областях.

На дискуссиях и выступлениях по проблемам неравновесной статистической механики естественно отразилось присутствие на конференции и активное участие в ней Ю. Л. Климонтовича и С. В. Пелетминского. Как известно, Ю. Л. Климонтович разрабатывает пути возможного обобщения уравнения Больцмана на учет медленных неравновесных флуктуаций (время корреляции сравнимо с временем свободного пробега). С этой целью строится уравнение для сглаженных функций распределения, в котором разделяются вклады крупномасштабных и мелкомасштабных корреляций; для последних используется известный принцип ослабления корреляции Боголюбова; С. В. Пелетминский строит огрубленную матрицу плотности, которая, в полном соответствии с основными идеями Н. Н. Боголюбова, оказывается зависящей от времени через посредство некоторого вполне определенного набора параметров. При этом С. В. Пелетминский исходит из матрицы плотности, удовлетворяющей определенным образом сформулированному принципу ослабления корреляции (так, например, средние от произведения квазилокальных операторов, вычисленные по пространственно-однородной матрице плотности, распадаются в произведения средних при разнесении времен и т. п.). Сам набор параметров определяется в конечном счете гамильтонианом системы. Новым моментом здесь был развитый в сообщении С. В. Пелетминского формализм построения операторов потоков физических величин в терминах операторов плотностей физических величин. Далее удается, использовав концепцию Н. Н. Боголюбова о квазисредних, найти средние значения операторов потоков через термодинамический потенциал сверхтекучей жидкости (весь формализм иллюстрировался на примере этой модели).

Оба подхода перспективны и позволяют разобрать широкий класс конкретных задач, что и было продемонстрировано в работе В. В. Красильникова, С. В. Пелетминского, А. А. Яценко, где изучалось взаимодействие электронов с парамагнитными примесями, и в работе В. В. Белого, В. И. Емельянова, Ю. Л. Климонтовича, рассмотревших неравновесные флуктуации в полупроводниках. Ряд сообщений здесь относился к вполне конкретным задачам: термодинамика решетки на основе локально-равновесного ансамбля, роль дисперсии при распространении ультразвука в жидкости — соответствующие модули при этом аппроксимировались в рамках гипотезы подобия; приложение метода проекционных операторов к теории броуновского движения и др.

На конференции было проведено три семинара общеобразовательного характера: 1) методы неравновесной статистики (руководитель Ю. Л. Климонтович), 2) элементарные возбуждения в ферми- и бозе-системах (руководители А. С. Давыдов и И. Р. Юхновский), 3) методы современной квантовой статистики в модели Изинга (руководитель В. К. Федянин). Судя по довольно многочисленному составу участников и их активности (вопросы, замечания и т. п.), семинары оказались полезными. (Материалы их будут изданы ИТФ АН УССР, Киев.)

Организация конференции заслуживает самой высокой оценки. Строго соблюдался в основном регламент времени докладов (от 20 до 40 минут) и кратких сообщений

(5—10 минут). Общее время дискуссии, как правило, не лимитировалось, что дало возможность всесторонне обсудить выступления. Были прекрасно решены вопросы размещения участников, аудиторий, досуга и т. п. Всем участникам наверняка запомнится поездка в Карпаты на «скалы Добуша» и в форелевое хозяйство.

Контакты и обсуждения способствовали выяснению и уяснению ряда фундаментальных проблем современной статистической физики, и, мне думается, что накопленный на четырех совещаниях опыт будет способствовать проведению последующих конференций на таком же высоком уровне.

Вместо послесловия. С 12 по 19 декабря 1972 г. в МИАН СССР им. В. А. Стеклова проходила Международная конференция по математическим проблемам теории поля и квантовой статистике, созванная по инициативе академика Н. Н. Боголюбова, на которой были широко представлены как советские исследователи (около 300 участников), так и иностранные (около 90 человек). Естественно, это событие нуждается в отдельной заметке «с уклоном» в теоретико-полевом направлении: подавляющее число докладов было по математическим проблемам теории элементарных частиц. Однако уместно отметить, что материал львовских сообщений по равновесным аспектам статистической физике (первые пять сообщений, упомянутые нами выше) был в той или иной мере использован докладчиками и на декабрьской конференции (в секции квантовой статистики). Эти сообщения были встречены с интересом как советскими, так и иностранными учеными (последние были представлены, в частности, такими известными исследователями, как Коэн, Гуггенхольц, Рюэль, Хепп, Лэнфорд), что лишний раз свидетельствует в пользу ежегодных совещаний, проводимых АН УССР.