

БИБЛИОГРАФИЯ

019.941:538.1

А. И. Ахиезер, В. Г. Барьяхтар, С. В. Пелетминский. Спиновые волны. М., «Наука», 1967, 368 стр., ц. 1 р. 39 к.

Эта книга является монографией, посвященной одному из важных представлений современной физики твердого тела — спиновым волнам, или магнонам. В настоящее время для описания практически всех физических (как термодинамических, так и кинетических) свойств магнитоупорядоченных кристаллов — ферромагнетиков, антиферромагнетиков и т. д. — используются методы и результаты теории спиновых волн. Подобно тому как вся динамика кристаллической решетки основывается на понятии нормальных упругих колебаний кристалла (фононов — в квантовой теории), так и динамика магнитоупорядоченных систем основывается на понятии нормальных колебаний спиновой плотности — волн намагниченности (магнонов — в квантовой теории). В последние годы спиновые волны были также открыты и в неферромагнитных металлах.

Авторы книги — представители «Харьковского отделения» теоретической школы Ландау — хорошо известны своими многочисленными работами в этой области физики твердого тела. С первой основополагающей работы одного из них (А. И. Ахиезера, 1946 г.) началась вся квантовая теория кинетических явлений в ферро- и антиферромагнетиках. Настоящая монография подводит итог двадцатилетним исследованиям А. И. Ахиезера и его учеников по вопросам теории ферро- и антиферромагнетизма.

Хотя в мировой литературе имеется уже ряд книг и обзоров по теории спиновых волн, однако по глубине и широте охвата материала рецензируемая монография является уникальной. Строгость и фундаментальность изложения, стремление исходить из «первых принципов» физики (симметрия, законы сохранения и т. п.) — вот, пожалуй, отличительные признаки стиля авторов. Многие вопросы рассмотрены в монографии или вообще впервые или до сих пор нигде не рассматривались с такой полнотой (вопрос о граничных условиях для вектора намагниченности и деформаций, электромагнитные волны в ферромагнетиках, когерентное усиление спиновых волн пучком заряженных частиц, связанные уравнения движения для деформаций и магнитного момента в ферромагнетиках, теплопроводность ферромагнетиков и др.).

В книге можно естественным образом выделить две связанные между собой части. В первой части (гл. I — IV) развивается феноменологическая (макроскопическая) теория спиновых волн, вторая часть (гл. V — VIII) посвящена главным образом вопросам, требующим квантового рассмотрения. Особой полнотой, хорошо продуманной логикой изложения отличается первая часть. Благодаря ей можно считать, что макроскопическая теория спиновых и магнитоупругих волн приобрела теперь законченность, характерную для классических разделов физики.

Изложение начинается с рассмотрения и анализа основных типов взаимодействий, обуславливающих само существование ферро- и антиферромагнетиков и их динамические свойства (гл. I). Следует отметить, что здесь с большой тщательностью анализируется диполь-дипольное взаимодействие. Полученные в гл. I выражения для полной энергии ферро- и антиферромагнетиков далее (в гл. II и III) применяются для вывода уравнений движения магнитных моментов, расчета спектра спиновых волн и исследования высокочастотных свойств этих кристаллов. Оригинальный подход, развитый авторами, основанный на введении тензора высокочастотной магнитной восприимчивости по отношению к *внутреннему* переменному магнитному полю, позволил им в рамках единого математического аппарата в весьма общем виде рассмотреть широкий круг вопросов динамики спиновых волн и методов их возбуждения. Здесь выводятся условия однородного и неоднородного магнитного резонанса в диэлектриках и в металлах, параметрического возбуждения спиновых волн, когерентного усиления спиновых волн пучком заряженных частиц.

Одно из центральных мест в книге, на наш взгляд, занимает гл. IV, в которой с большой строгостью и последовательностью исследуются явления, обусловленные связью между магнитной и упругой подсистемами ферромагнетика (спинами и деформациями кристаллической решетки). Последовательный вывод самих уравнений этой связи, включая единые граничные условия для магнитных и упругих переменных, имеет принципиальное физическое значение, выходящее за рамки конкретных явлений, рассмотренных в монографии (магнитоакустический резонанс, распространение и затухание связанных магнитоупругих волн).

В гл. V, с которой начинается квантовомеханическое рассмотрение задачи об энергетическом спектре слабо возбужденной спиновой системы ферромагнетика, вслед за стандартным формализмом этой теории (по Голстейну и Примакову), изложен также вопрос о связанных состояниях двух магнонов, имеющий важное значение для определения рамок применимости представлений об идеальном газе магнонов.

Обсуждению конкретных термодинамических и кинетических свойств ферро- и антиферромагнетиков, которые могут быть описаны на основе представлений о спиновых волнах, посвящены гл. VI и VII. В первой из них вычисляется температурная зависимость равновесной намагниченности и спиновой части теплоемкости, магнитокалорический эффект, а также корреляционные функции спинов, позволяющие наряду с равновесными свойствами рассмотреть также флуктуации магнитных величин. Знание последних дает авторам возможность рассчитать рассеяние медленных нейтронов и электромагнитных волн (света) на спиновых волнах. В гл. VII производится детальный теоретический анализ различных кинетических явлений в ферромагнетиках, обусловленных процессами взаимодействия магнонов друг с другом и с фононами. Рассматриваются релаксация магнитного момента и теплопроводность. Эта глава книги, целиком написанная по работам самих авторов и их харьковских коллег, отличается особой ясностью физических рассуждений и четкостью изложения. Наряду с гл. IV о связанных магнитоупругих волнах она составляет наиболее оригинальную часть монографии.

Изложенная в гл. V—VIII квантовомеханическая теория спиновых волн встречается с определенными трудностями, так что в ряде случаев остается даже неясной действительная область ее применимости. Некоторые из этих трудностей обсуждаются в последней VIII, главе, на основе другого формализма теории, принадлежащего Дайсону, с использованием так называемой индефинитной метрики. Авторизованное изложение этой важной работы Дайсона делает ее физически более понятной и доступной для массового читателя.

В книге имеется дополнение, написанное В. П. Силиным, на очень актуальную в настоящее время тему о спиновых волнах в обычных (неферромагнитных) металлах. Дело в том, что открытые недавно коллективные спиновые колебания в обычных металлах представляют собой пока единственное *качественно* новое явление, в котором проявляются ферми-жидкостные эффекты (отличающие систему электронов проводимости от газа). Спиновые волны в неферромагнитных металлах получаются как возбуждение над основным состоянием электронной жидкости, помещенной в постоянное и однородное магнитное поле. Автор дополнения, теоретически предсказавший возможность существования таких волн еще более десяти лет назад, не только весьма подробно излагает теорию этого явления, но также кратко описывает соответствующие эксперименты и дает их анализ.

В заключение, не останавливаясь на имеющихся в книге в очень небольшом количестве описках и опечатках, сделаем несколько принципиальных замечаний по содержанию книги. Сразу оговоримся, что весь представленный в монографии материал является высоко доброкачественным и наши замечания относятся главным образом к выбору материала.

Прежде всего, в начале книги, на наш взгляд, следовало бы несколько более подробно изложить вопрос о типах магнитоупорядоченных структур (ферро-, ферри- и антиферромагнитных) в связи со следующим обстоятельством. Дело в том, что *прототип* ферромагнетика (с одной магнитной подрешеткой), которые формально только и рассматриваются в книге, почти не существуют в природе. Известно, однако, что большинство выводов этой теории применимо в определенных пределах и к более сложным — ферримагнитным структурам. Аналогично результаты теории для двух-подрешеточной модели антиферромагнетика также могут применяться к более сложным антиферромагнитным структурам. Вопрос о пределах применимости изложенной теории в этом смысле, к сожалению, авторами не обсуждается.

Далее, в § 4 авторы говорят об отсутствии микроскопической модели антиферромагнетика, аналогичной модели Гейзенберга для ферромагнетика. Из контекста неясен смысл этого утверждения: идет ли речь о неприменимости гамильтониана Гейзенберга к антиферромагнетикам или о трудностях, связанных с определением основного состояния антиферромагнетика? Заметим также, что авторы (по-видимому, в связи с указанными трудностями) вообще отказались от рассмотрения микроскопической теории спиновых волн для антиферромагнетика. Между тем существует очень большое число работ, в которых такая теория развивается на основе гамильтониана

Гейзенберга в модели подрешеток. При этом вычисляются поправки к результатам феноменологической теории, находятся так называемые сокращения средних спинов по сравнению с их номинальными значениями и т. д. Как понимать эти работы? Какова ценность их результатов? Какие сейчас существуют проблемы в теории спиновых волн для антиферромагнетиков? Очень хотелось бы иметь авторитетное мнение авторов книги по этим вопросам.

И вообще жаль, что авторы в угоду деловитости и лаконичности изложения (в целом весьма похвальной) отказались почти от всяких замечаний, касающихся трудностей в теории спиновых волн, нерешенных проблем, стоящих перед ней. Немного побольше живости в изложении, постановка смысловых ударений на наиболее важных результатах и новых интересных физических эффектах — все это не повредило бы книге, сделало бы ее менее сухой. Вместо этого в ряде случаев изложение обрывается на формулах без их обсуждения, и иногда неясно, согласуются ли они с экспериментом, или насколько принципиальное значение для теории имеет их экспериментальная проверка и т. п. Так, например, почти без обсуждения остался вопрос о выполнимости «закона трех вторых» для температурной зависимости намагниченности ферромагнетиков и отступлений от него, хотя по этому вопросу в настоящее время имеется масса экспериментального материала. Совершенно не обсуждаются формулы для температурной зависимости магнитной восприимчивости антиферромагнетиков (§ 24), хотя здесь теория никоим образом не может претендовать на объяснение эксперимента. Можно было бы привести и другие аналогичные примеры (в частности, из главы о кинетических явлениях в ферромагнетиках).

Как видно из смысла сделанных замечаний, они отнюдь не умаляют достоинств рецензируемой книги, а носят лишь характер пожеланий для последующего ее переиздания. Читатель, специализирующийся в таких областях физики, как физика твердого тела, физика магнитных явлений, магнитная радиоспектроскопия, получил книгу, выход которой можно считать большим событием в этих областях физики.

Следует похвалить издательство «Наука» за то, что на этот раз оно не побоялось весьма специальную книгу выпустить сравнительно большим тиражом (10 тыс. экз.). Благодаря этому она еще не везде исчезла с полок книжных магазинов. Заинтересованный читатель пока еще имеет возможность приобрести себе нужную книгу, а авторы могут неспеша (но и не откладывая) готовить ее новое издание. Необходимость в нем, несомненно, возникнет в ближайшие годы.

*Е. А. Туров*