

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ****СОВЕЩАНИЕ ПО ФИЗИКЕ МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ**

Отделение физико-математических наук АН СССР, Комиссия по магнетизму АН СССР при Уральском филиале и Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова с 23 по 31 мая с. г. провели совещание по физике магнитных явлений в г. Москве.

Это было третье широкое совещание по магнетизму, проведенное в СССР за послевоенные годы (первые два совещания проходили в декабре 1946 г. и ноябре 1951 г. в г. Свердловске). В отличие от первых двух в работе данного совещания приняли участие наряду с советскими учеными также около 30 иностранных ученых физиков-магнитологов из 11 зарубежных стран: Англии, Венгрии, Германской Демократической Республики, Голландии, Индии, Китайской Народной Республики, Польши, Соединенных Штатов Америки, Франции, Чехословакии и Японии.

В работе совещания, продолжавшегося 8 дней, на пленарных и секционных заседаниях приняли участие около 700 физиков-магнитологов, инженеров-электриков, металлургов, представляющих различные научные учреждения академий наук СССР и союзных республик, промышленных министерств, промышленных предприятий и высших учебных заведений 20 различных городов Советского Союза: Москвы, Свердловска, Харькова, Казани, Ленинграда, Красноярска, Киева, Риги, Молотова, Челябинска, Ашхабада, Баку и др.

На восьми пленарных и восьми секционных заседаниях было прочитано свыше 80 докладов и сообщений по различным вопросам физики магнитных явлений.

Магнитные свойства материи имеют необычайно широкий диапазон в явлениях природы. С одной стороны, магнетизмом обладают мельчайшие материальные образования — элементарные частицы, с другой стороны, магнитные поля межгалактических пространств играют существенную роль в жизни вселенной. Такая широта магнитных явлений привлекает к ним пристальное внимание физиков. Вместе с тем разгаданные тайны магнитных свойств вещества открывают перед нами широкие перспективы для их практического использования в технике. Именно поэтому, кроме физиков, магнетизмом очень интересуются инженеры-электрики, металлурги, радиотехники и металлурги, а также специалисты других естественных наук. Такое важное значение магнетизма в науке и технике делает весьма желательным широкое деловое общение всех специалистов, в той или иной степени заинтересованных в развитии как теории, так и технических применений магнетизма. Одной из наиболее действенных форм таких общений являются организация и проведение совещаний и конференций как по общим, так и по частным вопросам магнетизма. Естественно, конечно, что на одном, даже широком,

совещании невозможно обсудить все вопросы данной отрасли науки. Поэтому на Совещании в повестку заседаний были включены доклады и сообщения лишь по ограниченной совокупности важнейших разделов магнетизма, а именно, по вопросам: а) магнетизма слабомагнитных веществ и низкотемпературного магнетизма; б) парамагнитного и ферромагнитного резонанса; в) физики ферромагнитного и антиферромагнитного состояния; г) физики технической кривой намагничивания и магнитных материалов.

Среди проблем магнетизма слабомагнитных веществ и низкотемпературного магнетизма на современном этапе развития физики магнитных явлений весьма большой интерес представляют исследования осцилляций магнитной проницаемости в широком интервале полей (эффект де Гааза—ван Альфена), а также гальваномагнитных эффектов (изменения сопротивления в магнитном поле и эффект Холла). Особый интерес изучения этих явлений заключается в том, что при их исследовании удастся наиболее непосредственно выяснить характер электронных движений в кристаллах, а именно, определить зависимость энергии от квазиимпульса для квазичастиц — носителей тока фермиевского типа (так называемые дисперсионные соотношения), выяснить форму поверхности Ферми и т. п. Эти сведения представляют огромный интерес для проверки наших современных теоретических представлений об электронной структуре твердых тел, с одной стороны, а также и для построения более адекватных действительности теоретических моделей для расчета электронных энергетических спектров в кристаллах, — с другой.

В докладе Б. И. Веркина, Б. Г. Лазарева, И. М. Дмитриенко и И. Ф. Михайлова «Магнитные свойства неферромагнитных металлов при низких температурах» были приведены основные обобщающие выводы из большого числа работ, проводимых с 1949 г. в ФТИ АН УССР. Эти исследования впервые ясно показали, что эффект де Гааза—ван Альфена не является специфичным только для кристаллов висмута, а представляет собой универсальное явление для большой совокупности металлических кристаллов. Исследования кристаллографической анизотропии эффекта де Гааза—ван Альфена и ее температурной зависимости при сравнении с теорией позволили определить основные параметры, характеризующие состояние электронов в исследуемых металлах. Открытие в этих опытах сложного частотного спектра «периодической» зависимости восприимчивости от поля указывает на сложный характер электронного энергетического спектра в кристалле (существование нескольких типов токовых квазичастиц). Полученные экспериментальные данные указывают на возможность определения формы поверхности Ферми для этих различных типов ферми-частиц.

Большой интерес вызвал доклад английского ученого Д. Шенберга «Экспериментальные исследования в области де Гааза—ван Альфена». Автор в своем докладе подчеркнул, что для «слабых» магнитных полей (порядка $2 \cdot 10^4$ эрстед) можно по данным измерений судить лишь о характере небольших участков поверхности Ферми и получить сведения о так называемой «тонкой структуре» этой поверхности. Для получения сведений о больших участках поверхности Ферми требуются более сильные поля до 10^5 эрстед. Автор разработал новые весьма интересные методы измерений, с помощью которых можно наблюдать осцилляции магнитной восприимчивости очень короткого периода в таких сильных полях на катодном осциллографе. Сильные поля получались импульсами при разряде конденсатора. Измерения автора позволяют сделать интересные выводы о форме поверхностей Ферми и провести широкое сравнение с теорией.

В докладе Е. С. Боровика «Гальваномагнитные явления и свойства электронов проводимости в металлах» были изложены экспериментальные результаты, полученные автором при комплексных исследованиях эффекта Холла и изменения сопротивления в магнитном поле.

Для теоретической интерпретации автор прибегает к двухзонной модели металла со смешанной проводимостью (дырки и электроны).

В докладе Н. Е. Алексеевского, Н. Б. Брандт и Т. И. Костиной «Гальваномагнитные свойства висмута» приводились данные авторов по измерению сильного обратимого влияния всестороннего сжатия на гальваномагнитные свойства и электропроводность висмута. Результаты экспериментов интерпретируются с помощью двухзонной модели металла.

В докладе И. М. Лифшица, М. Я. Азбеля и М. И. Каганова «К теории гальваномагнитных явлений» излагались основы общей теории гальваномагнитных явлений в неферромагнитных металлах без каких-либо специальных предположений о законе дисперсии электронов проводимости и о характере их взаимодействия с кристаллом. Теория излагалась в двух вариантах: классическом (без учета квантования уровней в магнитном поле) и квантовом. Авторы показали, что поведение удельной электропроводности и постоянной Холла в сильных магнитных полях определяется топологией изоэнергетических поверхностей, расположенных вблизи граничной поверхности Ферми. Теория в самой общей форме объясняет существование двух групп металлов (см. доклад Е. С. Боровика), а также линейное возрастание сопротивления в магнитном поле в средних полях, обнаруженное П. Л. Капицей. Теория также дает объяснение эффекта де Гааза—ван Альфена.

М. Я. Азбель и Э. А. Канер в докладе «Теория циклотронного резонанса в металлах» рассказали о теории своеобразного резонансного явления, которое возникает в металле при наложении высокочастотного электромагнитного поля и постоянного магнитного поля. Это явление существенно отличается от диамагнитного резонанса в полупроводниках, так как в последних глубина скин-слоя значительно больше, а в металлах, наоборот, значительно меньше радиуса ларморовской орбиты электрона. Изучение этого эффекта может дать ценные сведения об энергетическом спектре электронов в металле.

Доклад японского физика Р. Кубо «Теория гальваномагнитных эффектов в металлах в сильных магнитных полях» был посвящен теоретическому изучению движения электронов в сильных магнитных полях. Автор отказывается от использования обычного кинетического уравнения Больцмана—Блоха в сильных полях и разработал свой оригинальный метод расчета, который состоит в выражении тензора проводимости через функции корреляции спонтанной флуктуации компонент тока.

Доклад И. М. Лифшица, А. М. Косевича и А. В. Погорелова «Энергетический спектр электронов в металле и эффект де Гааза—ван Альфена» был посвящен изложению квантовомеханической теории движения заряженной квазичастицы в однородном магнитном поле при произвольном законе дисперсии. Наряду со спиновой парамагнитной и диамагнитной частью магнитного момента получена и осциллирующая его часть. Показано, что период осцилляции определяется характером поверхности Ферми (экстремальными значениями площади сечения граничной поверхности Ферми). Авторами даны методы вычисления формы граничной поверхности и скоростей электронов на ней.

Некоторые магнитные свойства полупроводников были затронуты в докладе Я. Г. Дорфмана «Об определении отдельных составляющих магнитной восприимчивости полупроводника», в котором предлагается новый комплексный метод экспериментального определения отдельных компонент восприимчивости (электронов, дырок и атомов примеси). В докладе И. К. Кикоина и Ю. А. Быковского «О попе-

речном фотоманнитном эффекте в германии» было рассказано о свойствах нового интересного явления, открытого ранее И. К. Киконным; в частности, обнаруженная поперечная фотоманнитная э.д.с. весьма сложно зависит от величины поля и от температуры.

К этой же группе докладов можно отнести и сообщение Е. Ф. Гросса, Б. П. Захарченя, и Н. М. Рейнова «Линейный и квадратичный эффект Зеемана и диамагнетизм экситонов в записи меди». Эти опыты дают наглядное доказательство большой величины (до 200 Å) эффективных размеров моттовских экситонов в полупроводниках.

Вопросам магнетохимии были посвящены доклады: индийского физика А. Бозе «Парамагнитные свойства некоторых солей элементов группы железа с близким строением», который детально изучал парамагнитную анизотропию большого числа монокристаллов гидратированных солей с ионами Cu^{++} и Ni^{++} ; на основании опытных данных автор делает определенные выводы о характере химических связей в исследованных соединениях; Я. Г. Дорфман в докладе «Магнетохимия диамагнитных соединений и роль поляризационного парамагнетизма» отметил существенное значение этого типа магнетизма при проведении магнетохимических исследований и их теоретической интерпретации.

* *

*

Поведение магнетиков в высокочастотных электромагнитных и ультразвуческих полях, а также вопросы магнитной релаксации представляют большой научный и практический интерес. Последний обусловлен тем, что, наблюдая влияние высокочастотных полей в резонансном режиме или релаксационные эффекты, мы получаем подробные и непосредственные сведения о самых тонких деталях электронных движений в атомах, молекулах и конденсированных телах. Именно поэтому методы магнитного резонанса уже нашли широкое практическое применение в различных разделах физики и химии. Существенно также отметить, что высокочастотные методы позволяют подойти к решению тех же важных теоретических задач, что и при изучении гальваномагнитных явлений (см. выше).

В докладе известного американского физика А. Кипа «Циклотронный и плазменный резонанс в твердых телах» было показано, что при определенных условиях опыты по диамагнитному резонансу в полупроводниках дают возможность определить эффективную массу носителей тока. Опыты проводились на сплавах германия с кремнием в диапазоне частот от 9000 до 60 000 Мгц и при температуре около 4° К. С ростом концентрации носителей тока ($> 10^{13}$) циклотронный резонанс переходит в плазменный. Этот случай исследовался автором в кристалле сурьмянистого индия типа *p*.

В докладе известного голландского физика С. Дж. Гортера «Новые исследования в области парамагнитной релаксации» было отмечено, что последние измерения низкочастотной релаксации при гелиевых температурах показали, что она не связана со спин-решеточным взаимодействием и что во многих случаях поглощение энергии осуществляется колебаниями решетки. При температурах жидкого водорода была найдена медленная, не зависящая от температуры релаксация внутри спин-системы, которая не может быть объяснена теорией Вальлера—Брура, а требует для своей интерпретации старой теории Кронига—Букампа.

Доклад И. Г. Шапошникова «Феноменологическая теория нерезонансных парамагнитных релаксационных явлений» носил обзорный характер по исследованиям в этой области, в том числе и по работам самого автора.

Доклад А. А. Маненкова и А. М. Прохорова «Тонкая и сверхтонкая структура парамагнитного резонанса в двухвалентном европии», доклад Н. С. Гарифьянова «Сверхтонкая структура линий парамагнитного резонанса в переохлажденных растворах солей элементов группы железа» и, наконец, доклад немецкого физика А. Леше «Применение парамагнитного ядерного резонанса к исследованию некоторых солей» касались конкретных вопросов ядерного и электронного резонанса в различных веществах. Результаты этих работ представляют интерес как для ядерной физики (определение спинов и магнитных моментов ядер), так и для магнетохимии. К этой же группе докладов можно отнести и доклад Б. М. Қозырева «Электронный парамагнитный резонанс в растворах электролитов». Наиболее интересным результатом этой работы является вывод о наличии в растворах достаточно устойчивого ближнего порядка.

В докладах Н. Н. Непримерова «Некоторые магнетооптические явления на микроволнах», Г. С. Кринчика «Магнетооптические свойства ферромагнетиков в инфракрасной области» и Г. В. Скроцкого, В. Ф. Захарченко и Л. В. Курбатова «К теории эффектов Фарадея и Керра на радиочастотах» были затронуты интересные вопросы свойств гиротропных сред, которые приобретают сейчас большое практическое значение в высокочастотной радиотехнике.

Доклад индийского физика Дж. С. Саньяла «Проницаемость ферромагнетиков на сантиметровых волнах» и Л. А. Фоменко «Радиочастотные магнитные спектры смешанных ферритов» касались вопросов поведения ферромагнетиков в высокочастотных полях.

Вопросы теории высокочастотных магнитных материалов (магнитодиэлектриков) были затронуты в докладе К. М. Поливанова, Б. М. Фрадкина, Н. Г. Каткова и В. В. Скугарева «К теории искусственных магнитодиэлектриков из металлических порошков». Теоретические расчеты авторов показали возможность некоторого регулирования частотных характеристик магнитодиэлектрика путем изменения гранулометрического состава. Опытная проверка расчетов дала удовлетворительные результаты.

Вопросы магнетооптики сантиметровых волн на ферритах были затронуты также в докладе К. М. Поливанова, Я. Н. Колли, Л. К. Михайловского и В. А. Фабрикова «Магнитодиэлектрики в волноводных устройствах». Авторы установили однозначную зависимость фарадеевского вращения от намагниченности, нелинейную связь с толщиной шайбы и нашли влияние механической структуры на изучаемый эффект (при размельчении материала).

В докладе С. А. Альтшулера, В. И. Аввакумова и Л. Я. Шекуна «Резонансное парамагнитное поглощение ультразвука в некоторых солях редкоземельных элементов» излагались результаты теоретических расчетов, целью которых являлось выяснение вопроса о том, в солях каких элементов можно ожидать наибольшего резонансного поглощения ультразвука — явления, предсказанного ранее С. А. Альтшулером. Расчет показал, что наибольший эффект следует ожидать в солях, содержащих редкоземельные ионы с четным числом $4f$ -электронов.

* * *

Среди различных вопросов магнетизма имеют особенно важное значение вопросы ферромагнетизма. Это обусловлено тем, что явление ферромагнетизма нашло широчайшее практическое применение в современной технике: ни одна электротехническая машина или аппарат, ни один радиотехнический прибор не могут обойтись без использования тех или иных магнитных материалов, которые изготовляются из ферромагнитных веществ. Вместе с тем изучение ферромагнитных свойств

вещества имеет также и большой перспективный научный интерес, так как это явление связано с весьма сложными и тонкими свойствами электронной системы твердых тел, и поэтому его изучение открывает перед нами возможности исследования большой совокупности других физических свойств твердых тел и, следовательно, перспективы их практического использования. На Совещании предметом обсуждения являлись следующие проблемы ферромагнетизма: исследования природы ферромагнитного и антиферромагнитного состояния вещества и связь их с другими (немагнитными) свойствами, изучение магнитной структуры ферромагнетиков, определяющей их технические магнитные свойства, а также вопросы физики магнитных материалов.

По первой проблеме ряд докладов был посвящен вопросам квантовомеханической теории явлений ферромагнетизма и антиферромагнетизма и в первую очередь теории спиновых волн (ферромагнонов), объясняющей поведение этих свойств вещества при низких температурах. Это были следующие доклады: Н. Н. Боголюбова и С. В. Тябликова «Приближенные методы вторичного квантования в квантовой теории магнетизма», в котором авторы дали обзор серии своих работ по квантовомеханической теории ферромагнетизма и антиферромагнетизма; С. В. Вонсовского «Квантовомеханическая трактовка задачи ферромагнетизма металлов переходных групп», где было дано изложение работ свердловских физиков по квантовой теории кристаллов переходных групп, электронный энергетический спектр которых имеет две ветви: бозевскую (для спиновых волн) и фермиевскую (для электронов проводимости). В докладе польского физика С. О. Щеневского «Замечания к теории спиновых волн» были изложены критические замечания Э. Семадени о некорректности замены сумм интегралами в первой работе Ф. Блоха по теории спиновых волн, а также обобщение полуклассической теории спиновых волн, данное Г. Цофта.

Выяснению вопроса о статистике элементарных возбуждений и ферромагнетиках было посвящено дискуссионное сообщение немецкого физика Г. Гебера «О статистике спиновых волн». В докладе В. Л. Бонч-Бруевича «К теории ферромагнетизма в неидеальной решетке» рассматривался вопрос о влиянии различных искажений кристаллической решетки ферромагнетика на его самопроизвольную намагниченность. Г. С. Кринчик в докладе «Ферромагнетизм электронов проводимости» изложил свои представления о том, что ферромагнетизм обусловлен не обменным взаимодействием внутренних электронов, а взаимодействием внешних электронов проводимости между собой и с внутренними электронами. Свои расчеты автор проводит в рамках двухзонной одноэлектронной модели.

Доклад чехословацкого физика Л. Валента «К теории спонтанной намагниченности тонких слоев» был посвящен его расчетам, являющимся дальнейшим обобщением работы Клейна и Смита по теории самопроизвольной намагниченности тонких ферромагнитных слоев. В докладе С. В. Тябликова и А. А. Гусева «О зависимости констант магнитной анизотропии кубических кристаллов от температуры и поля» были изложены расчеты авторов, в которых они учитывали в рамках модели спиновых волн магнитное взаимодействие электронов в кристалле и которые они применили затем для расчета энергии магнитной анизотропии ферромагнитных кристаллов кубической симметрии.

В докладе А. И. Ахиезера «Теория релаксационных и кинетических процессов в ферродиэлектриках при низких температурах» было рассмотрено взаимодействие между двумя типами элементарных возбуждений: фононами и ферромагнонами. Это взаимодействие является определяющим не только для теплопроводности ферродиэлектриков, но и для явлений поглощения звука в них (ферроакустический резонанс и магнето-

акустические колебания). В докладе Е. А. Турова «О спектре элементарных возбуждений в некоторых кинетических процессах в ферромагнитных кристаллах» излагались результаты более точных расчетов энергетического спектра спин-решеточного поля в ферродизлектрике, в которых не предполагается независимость фононной и ферромагнитной ветвей этого спектра.

В. Л. Гинзбург в своем сообщении «О сверхпроводящих ферромагнетиках» показал, что наличие самопроизвольной намагниченности затрудняет обнаружение явления сверхпроводимости в ферромагнетиках, даже если оно существует, и указал на некоторые возможности его наблюдения.

Ряд докладов касался вопросов термодинамики ферромагнитных и антиферромагнитных веществ, а также изучения температурных зависимостей их основных свойств.

В докладе голландского физика С. Дж. Гортера «К термодинамике антиферромагнетизма» были изложены результаты термодинамического исследования фазовой диаграммы поле—температура для антиферромагнитных кристаллов с ромбической симметрией. Подробно рассматривался случай, когда внешнее магнитное поле параллельно преимущественной оси антиферромагнетика. Показано, что на фазовой диаграмме имеются два типа линий превращений второго рода и три первого. Развита теория хорошо согласуется с опытными данными.

В докладе известного французского ученого Л. Нееля «Метамагнетики или антиферромагнетики с пороговым полем» была изложена теория магнитных свойств антиферромагнетиков типа хлоридов элементов группы железа, разработанной автором в рамках модели молекулярного поля, и некоторых других веществ. В этих расчетах учитываются как прямое, так и косвенное обменное взаимодействия между магнитными подрешетками и проводится детальное термодинамическое исследование фазовых переходов в различных условиях.

В докладе Л. Нееля, Ф. Берто, Ф. Форре и Р. Потене «Новый тип ферромагнитных веществ: ферриты редкоземельных элементов со структурой типа граната» отмечается, что ферриты редкоземельных элементов имеют структуру не типа перовскита, а типа граната с общей формулой $\text{Fe}_2\text{Fe}_3\text{M}_3\text{O}_{12}$ (M — редкоземельный элемент, Fe^+ и Fe^{++} — трехвалентные ионы железа в разных магнитных подрешетках). На основе модели молекулярного поля и представления о разбиении кристалла на магнитные подрешетки определяется атомный магнитный момент этих соединений.

В докладе известного американского ученого Р. М. Бозорта «О некоторых магнитных свойствах ферритов и цианидов при низких температурах» излагались результаты его совместных с Г. Дж. Вильямсом и Дороти Е. Уолш исследований температурной зависимости намагниченности ферритов редких земель и цианидов группы железа в интервале температур от комнатной до $1,3^\circ\text{K}$. Исследования показали, что среди этих соединений имеются ферромагнетики, антиферромагнетики и парамагнетики. Обнаружены интересные особенности в температурном ходе намагниченности. Определены атомные магнитные моменты этих веществ.

В докладе А. С. Боровика-Романова, В. Р. Карасика, Н. М. Крейнс и М. П. Орловой «Экспериментальное исследование температурной зависимости магнитной восприимчивости некоторых антиферромагнетиков» излагались результаты температурных исследований магнитной восприимчивости безводных сульфатов никеля, железа, кобальта и меди, а также карбонатов марганца и кобальта.

Доклад К. П. Белова, А. Н. Горяга и Я. Пачес «Термодинамические исследования ферромагнетиков в области температуры Кюри»

был посвящен изложению результатов измерений авторами намагниченности, электросопротивления и его изменения в продольном магнитном поле в ряде никелевых сплавов (с кремнием, медью, марганцем и железом) в области температуры Кюри, а также термодинамического анализа этих данных на основе теории фазовых переходов второго рода.

Об аналогичных исследованиях намагниченности ферритов вблизи точки Кюри и термодинамическом анализе результатов измерений было рассказано в докладе К. П. Белова, К. М. Большой и Т. А. Елкиной «Исследования намагничивания ферритов в области температуры Кюри».

В докладе венгерских физиков Л. Пала и Т. Тарноци «Температурная зависимость дифференциальной восприимчивости кобальта в сильных магнитных полях» были изложены результаты экспериментальных исследований авторов. На экспериментальной кривой изучаемой температурной зависимости авторы обнаружили два максимума. Эти особенности кривых оказалось возможным полностью объяснить с помощью теории процессов вращения. Кроме того, было также исследовано влияние фазового превращения кобальта (переход из гранецентрированной кубической структуры в гексагональную) на ход кривой дифференциальной восприимчивости.

В докладе И. М. Пузеля «Температурная зависимость энергии магнитной анизотропии» были изложены результаты исследований температурного хода констант магнитной анизотропии монокристаллов никеля, сплавов никеля с железом состава Ni_3Fe и сплавов типа молибденистого и хромистого пермаллоя при различных степенях упорядочения в интервале температур от 20 до 550°K . Обнаружено, что в сплавах температурная зависимость константы анизотропии слабее, чем в чистом никеле, и на нее оказывает влияние степень упорядочения. Последнее обстоятельство открывает возможности для использования явления упорядочения в ферромагнитных сплавах для получения температурно-стабильных материалов.

Доклад Л. Н. Федотова «Влияние температуры и нагрузки на величину намагниченности насыщения образцов ферромагнитных сплавов» был посвящен изложению результатов экспериментов автора на железо-никелевых и железо-алюминиевых сплавах. В случае последних показано, что в интервале температур от 14 до 190°K температурная зависимость не подчиняется формуле Стонера ($\sim T^2$), а следует закону ($\sim T^{3/2}$), предсказываемому теорией спиновых волн.

Л. В. Киренский, Р. С. Носова и Н. В. Решетникова в докладе «Температурная зависимость магнитных свойств никеля» изложили результаты своих исследований зависимости постоянной магнитной анизотропии монокристалла никеля от напряженности магнитного поля в интервале полей до 6670 эрстед и при температурах от комнатной до 300°C . Показано, что эта зависимость имеет гиперболический характер по отношению к величине, обратной полю ($1/H$). Кроме того, авторы исследовали температурную зависимость гальваномагнитного эффекта в никеле при его магнитном насыщении в интервале температур от -196°C до точки Кюри. Полученные данные представляют интерес для уточнения теории процессов вращения самопроизвольной намагниченности в ферромагнитных кристаллах.

В докладе Д. И. Волкова и В. И. Чечерникова «Температурная зависимость парамагнитной восприимчивости сплавов на основе никеля» были изложены результаты прецизионных исследований температурной зависимости парамагнитной восприимчивости ряда никелевых сплавов в интервале температур от точки Кюри до $\sim 1200^\circ\text{C}$. Результаты этой работы представляют существенный интерес для уточнения термодинамической теории ферромагнитного превращения, а также для

теории взаимодействующих внешних и внутренних электронов ферромагнитных металлов и сплавов.

Серия сообщений и докладов была посвящена вопросам изучения немагнитных свойств ферромагнетиков. Эти исследования представляют особый интерес, так как они открывают новые возможности и для уточнения наших представлений о природе ферромагнитного и антиферромагнитного состояния вещества, и для выяснения закономерностей в твердом теле, связанных с другими его свойствами (электрическими, тепловыми, механическими и т. п.).

В докладе Н. П. Гражданкиной и И. Г. Факидова «Связь магнитных и электрических свойств сульфидов хрома» было рассказано об очень интересном свойстве изучаемых ферромагнитных и антиферромагнитных соединений. А именно, авторы, изучая температурную зависимость электросопротивления этих веществ, обнаружили, что ферромагнитные соединения обладают металлической проводимостью, а антиферромагнитные обладают электропроводностью, температурная зависимость которой характерна для полуметаллов (при температуре $\sim 300^\circ\text{K}$ температурный коэффициент электросопротивления меняет знак). Это обстоятельство указывает на существование различия электронных энергетических спектров у ферромагнитных и антиферромагнитных соединений этого типа.

Доклад Е. И. Кондорского, О. С. Галкиной и Л. А. Черниковой «Гальваномагнитные эффекты в сплавах никеля при низких температурах» был посвящен изложению результатов измерений температурной зависимости электросопротивления и его изменения, вызванного намагничиванием до насыщения, в интервалах температур от 2 до $4,2^\circ\text{K}$ и от 14 до 20°K в никеле, а также в сплавах никеля с медью (5, 10, 15, 20, 25% меди), хромом (1, 2 и 3% хрома) и с марганцем (25,6% марганца). Эти исследования подтверждают общий вывод А. П. Комара о существенной связи между упорядочением в сплавах и величиной гальваномагнитного эффекта в ферромагнетиках.

В докладе Е. И. Кондорского и И. Е. Ожигова «Электрическое сопротивление и его изменение в сильном магнитном поле у железо-никелевых сплавов в области низких ($14\text{--}77^\circ\text{K}$) температур» были доложены результаты исследования авторами температурной зависимости электросопротивления и его изменения в магнитном поле, а также влияния на них термической обработки, могущей вызвать упорядочение у железо-никелевых сплавов с концентрацией никеля 40—100% в интервале температур от 14 до 90°K . Авторы нашли, что как сопротивление, так и его относительное изменение в магнитном поле зависят от температуры в исследуемой области квадратично ($\sim T^2$).

Р. Г. Аннаев, Р. А. Михайлов, М. Мамаев, В. Мындаев и Б. Булатов в докладе «Исследование четных и нечетных эффектов в системе сплавов никель—медь» сообщили о результатах экспериментальной проверки основных выводов теории четных и нечетных эффектов в двухкомпонентных ферромагнитных сплавах.

В докладе Г. П. Дьякова «Закон приближения к насыщению для четных эффектов» было изложено обобщение закона приближения к насыщению для магнитострикции и других четных эффектов в рамках теории процессов вращения.

В докладе Н. С. Акулова «О новом методе расчета магнитострикции монокристаллов» было дано обобщение статистической теории областей самопроизвольной намагниченности для монокристаллов с четырьмя осями легчайшего намагничивания эта теория применена к расчету линейной магнитострикции.

Доклад К. Б. Власова «Некоторые вопросы теории упругих ферромагнитных (магнитострикционных) сред» был посвящен изложению основ термодинамической теории поляризованной ферромагнитной упругости.

гой среды. Получены выражения для тензоров модуля упругости, магнитной проницаемости, магнитоотрицательной постоянной и т. п., а также соотношения, связывающие эти тензоры для различных процессов (изотермического, адиабатического). Полученные результаты имеют важное значение для выяснения закономерности магнитоотрицательных колебаний в ферромагнетиках.

Среди проблем теории технической кривой намагничивания ферромагнитных веществ весьма большое, а в ряде случаев определяющее место принадлежит исследованиям структуры областей самопроизвольной намагниченности (доменов). Величина и форма ферромагнитных областей, условия их зарождения и их изменения под влиянием различных воздействий, природа граничных слоев между областями — все это определяет характер протекания процессов намагничивания в ферромагнетике, вид его кривой намагничивания и петель гистерезиса, т. е. всю совокупность его технических магнитных свойств. Именно поэтому такое большое внимание уделяется в настоящее время всестороннему изучению структуры ферромагнитных областей. Ввиду малых масштабов этих образований, часто сложной их конфигурации, а также резкой структурной чувствительности их экспериментальное наблюдение оказывается весьма затруднительным. Эти трудности с неизбежностью приводят к поискам различных методов исследования, которые позволили бы изучить свойства областей с различных сторон. Одним из наиболее простых и непосредственных способов наблюдения ферромагнитных областей с поверхности образцов является так называемый метод порошковых осадков. Этот метод основан на том, что неоднородности осадка ферромагнитного порошка на поверхности ферромагнитных образцов находятся в прямой связи с неоднородностями магнитного поля рассеяния вблизи поверхности, которые в свою очередь связаны с наличием ферромагнитных областей и граничных слоев между ними. Усовершенствование методики порошковых осадков (открытой еще в 1931—1932 гг. Биттером и Акуловым) позволяет выяснить весьма мелкие детали ферромагнитных областей при различных условиях, их связи с кристаллографией образцов, влияние искажений кристалла, закономерности появления областей (зародышей) перемagnetизации и т. п. Этому важному вопросу теории технической кривой намагничивания был посвящен ряд докладов Совещания.

Известный английский физик-магнитолог Л. Ф. Бейтс в своем докладе «О некоторых новых экспериментах с порошковыми фигурами» изложил новые результаты, полученные в руководимой им лаборатории по изучению сложных порошковых фигур на поверхностях монокристаллов кремнистого железа. Дополнение порошковых исследований применением электронного микроскопа позволило экспериментально оценить ширину граничного слоя между областями. Специально исследовались тонкая структура осадков («замыкающие» области) и связь структуры областей с процессами намагничивания.

Доклад Я. С. Шура и Р. В. Абельса «Исследование магнитной структуры кристаллов кремнистого железа с помощью порошковых фигур» был посвящен изложению исследований авторами магнитной структуры кристаллов кремнистого железа. Авторы дают четкую классификацию картин порошковых осадков, устанавливают их связь с кристаллографией образцов. Детально исследуются замыкающие области — их форма и их изменения под влиянием различных факторов (поле, напряжения, изменения толщины образца и т. п.). Исследуется связь процессов намагничивания со структурой областей и характером ее изменений в поле. Показано, что особые свойства очень тонких листов материалов по сравнению с массивными образцами в значительной степени определяются особенностями структуры ферромагнитных областей тонких образцов. Детально исследована связь замыкающих областей

с зародышами перемангничивания. Показано, что зародышами перемангничивания являются не замыкающие области, возникающие около различных внутренних неоднородностей в кристаллах, а такие области у границы образцов. Показано тормозящее влияние замыкающих областей на процессы смещения границ между основными областями. Изучение структуры областей ясно показывает, что и в сильных полях наряду с процессами вращения происходят еще «запоздалые» процессы смещения, которые объясняют существование магнитного гистерезиса в этих полях. Результаты наблюдений находятся в хорошем качественном согласии с теорией. Некоторые результаты работы авторы демонстрировали записью на киноленту, дающей очень наглядную картину наблюдаемых процессов изменения структуры областей.

Результаты аналогичных исследований динамики структуры ферромагнитных областей были изложены в докладе Л. В. Киренского, В. Л. Дылгера и М. К. Савченко «Динамика доменной структуры в кристаллах кремнистого железа». Авторы также использовали кинозапись для иллюстрации своих наблюдений.

В докладе Я. Кацера (Чехословакия) «Новый метод исследования доменной структуры ферромагнетиков и его применение при высоких температурах» было рассказано о разработанном автором новом оригинальном методе изучения структуры областей на поверхности ферромагнитных образцов, который заключается в измерениях изменения индукционного тока в колеблющемся пермаллоевом зонде при его движении вдоль поверхности вблизи граничных слоев областей. Результаты измерений находятся в хорошем согласии с данными порошковых осадков. Преимущества этого метода проявляются при исследованиях структуры областей в широких интервалах температур, для которых применять метод магнитных суспензий невозможно.

Еще об одном новом методе изучения структуры ферромагнитных областей было рассказано в докладе Г. В. Спивака, Н. Г. Канавиной, И. С. Сбитниковой, И. Н. Прилежаевой, Т. Н. Домбровской и В. К. Азовцева «О непосредственной визуализации доменов ферромагнетика при помощи вторичноэмиссионного электронного микроскопа и электронного зеркала». Авторы предлагают две модификации этого метода, основанные на принципе модуляции как прямого, так и обратного (от поверхности) пучка электронов локальными магнитными полями у поверхности ферромагнетика. В первом случае обратный пучок электронов при помощи соответствующего электроннооптического устройства фокусируется и дает увеличенное изображение области на экране вторичноэмиссионного микроскопа, а во втором — электронного зеркала. Обе эти методики основаны на использовании явления «магнитного контраста», созданного на холодном плоском катоде, содержащем магнитные неоднородности, которые являются своеобразными магнитными «микрولينзами». В докладе были приведены первые результаты опытов для монокристалла кобальта и их сравнение с картинами порошковых осадков. Обсуждались также перспективы развития этого метода.

В докладе польского ученого Ст. Лория «Магнетооптические поляризационные явления в ферромагнитных кристаллах и современные проблемы ферромагнетизма» были перечислены важнейшие вопросы теории магнетооптических явлений в ферромагнетиках, а также подробно проанализированы возможности использования этих явлений для изучения с помощью измерений рассматриваемых эффектов структуры ферромагнитных областей; реализация этого метода уже началась на практике.

Вопросы теории граничных слоев между ферромагнитными областями были затронуты в докладе американского физика К. П. Бина «Природа границ ферромагнитных доменов». Автором предложен новый метод

точного измерения энергии граничных слоев между областями. Этот метод сводится к исследованию процессов намагничивания в железоникелевой проволоке (65% никеля) с одноосной анизотропией, созданной растяжением. Аналогичные вопросы теории граничных слоев были также затронуты в докладе чехословацкого физика Я. Кацера «Теория коэрцитивной силы тонких пластинок», в котором автор изложил результаты своих расчетов по влиянию граничной энергии на процесс перемангничивания с учетом особенностей строения границ ферромагнитных областей вблизи поверхности тонких образцов.

В докладе английского ученого Л. Ф. Бейтса «Температурные изменения, связанные с намагничиванием» был дан обзор усовершенствованного метода измерения температурных изменений, связанных с процессами намагничивания в слабых и средних полях, разработанного в лаборатории, руководимой автором. Кроме того, в докладе приводились результаты исследования температурных изменений и попыток разделения их на обратимые и необратимые части в высококоэрцитивных материалах. Для некоторых ферритов и кремнистого железа в области слабых и нулевых полей обнаружены особенности в изучаемых тепловых изменениях, которые еще не нашли своей теоретической интерпретации.

Дальнейшие доклады этого раздела Совещания (по физике магнитных материалов) были посвящены вопросам влияния фазовых превращений, кристаллографической и магнитной текстуры на магнитные свойства ферромагнитных материалов, явлениям магнитного гистерезиса, вопросам магнитной вязкости ферромагнетиков и некоторым проблемам физической теории магнитных измерений.

В обзорном докладе японского физика Р. Кубо «Некоторые новые достижения в области магнетизма в Японии» излагались основные результаты исследований японских физиков (Чикацуми, Танигучи, Ямамото, Иида, Сузуки, Кайя и др.) главным образом по изучению магнитной анизотропии, вызванной процессами направленного упорядочения атомов в кристаллической решетке ферромагнитных сплавов, системы железо—никель.

В докладе венгерского физика П. Денеша «Анизотропные магнитные сердечники из прессованных материалов» дается анализ различных возможностей улучшения магнитных свойств таких сердечников, а также излагаются методы расчета магнитной проницаемости в них.

Доклад Я. С. Шура, Е. В. Штольц и Г. С. Кандауровой «Магнитные свойства магнитотекстурованных образцов из высококоэрцитивных порошков» был посвящен изложению результатов таких исследований в порошках сплавов марганец-висмут, кобальт-хром и чистом кобальте со средними линейными размерами порошинок от 1 мкм до 1—2 микрон. Магнитная текстура в образцах создавалась путем ориентации частиц в магнитном поле. Частицы находились в изоляционном немагнитном склеивающем веществе, затвердевание образца производилось в присутствии поля. Авторы детально исследовали кривые намагничивания и петли гистерезиса изучаемых образцов и сделали ряд выводов об особенностях магнитной структуры и процессов намагничивания в них.

Н. Н. Буйнов, Л. И. Подрезов и М. Ф. Комарова в своем докладе «Исследование распада в сплаве никель-бериллий (1,9% бериллия)» сообщили об исследовании влияния фазовых превращений в данном сплаве на величину его коэрцитивной силы.

В докладе Б. Г. Лившица «Изменение строения и свойств никелевых твердых растворов при термической обработке» был дан обзор результатов экспериментального изучения сплавов: нихром, молибде-

нистый пермаллой и инвар. На основе анализа результатов измерений делается вывод, что в твердых растворах переходных металлов образуются неоднородности атомного порядка, являющиеся следствием селективной междоатомной связи. Указывается на необходимость более непосредственных структурных исследований и разработки термодинамики внутрифазного старения.

Вопросу изучения структуры важнейшей системы высококоэрцитивных сплавов — железо-никель-алюминий был посвящен доклад Б. Г. Лившица и В. С. Львова «Строение железо-никель-алюминиевых сплавов в их высококоэрцитивном состоянии».

Проблемы влияния атомного упорядочения на магнитные свойства ферромагнитных сплавов обсуждались в докладах: Б. Г. Лившица и Б. В. Молотилова «Магнитное исследование упорядочения сплавов Ni_3Mn », М. В. Дехтяра «Температурная зависимость магнитных свойств и процессы упорядочения в сплаве железо-никель-молибден»; В. Е. Роде «Кинетика сверхструктурных превращений сплава Fe_3Al », В. И. Ивановского «О магнитных свойствах упорядочивающихся сплавов Fe_3Al ». Во всех этих докладах излагались результаты конкретных исследований влияния атомного упорядочивания сплавов, достигаемого различными термообработками на их магнитные свойства, влияния легирующих добавок на этот процесс, результаты исследований температурных изменений магнитных свойств, кинетики фазовых превращений и т. п.

В докладе Я. С. Шура и И. Е. Старцевой «Устойчивость магнитной структуры остаточной намагниченности мягких магнитных материалов» излагались результаты экспериментальных исследований по влиянию различных обработок на величину остаточной намагниченности и условия ее разрушения под влиянием различных способов размагничивания (переменным полем, механическими вибрациями и температурными колебаниями). Указываются способы регулирования величины остаточной намагниченности и ее устойчивости в мягких магнитных материалах.

Исследованию закономерностей необратимых процессов (скачков) перемагничивания, петель гистерезиса в продольных и вращающихся полях были посвящены следующие доклады: чехословацкого физика К. Вотруба «Зависимость эффекта Баркгаузена от пластической деформации в ферромагнетиках», В. Ф. Ивлева, В. Л. Ильющенко, Л. И. Асеевой и А. Е. Липкина «Исследование необратимых скачков перемагничивания в ферромагнетиках»; Р. И. Януса и В. П. Карташева «О структуре семейства симметричных петель гистерезиса ферромагнетиков»; Л. В. Киренского, А. Я. Власова, Н. И. Втюрина и В. Ф. Ивлева «Температурный и вращательный гистерезис в ферромагнетиках»; Н. Л. Брюхатова «Исследование потерь на гистерезис во вращающихся магнитных полях в монокристалле магнетита до и после фазового превращения». В этих докладах были изложены результаты конкретных измерений авторов в различных ферромагнитных материалах.

В докладе Я. С. Шура, М. Г. Лужинской и Л. А. Шубиной «Влияние упругих напряжений и термомеханической обработки на магнитные свойства высококоэрцитивных сплавов» было рассказано о новых методах получения текстурованных высококоэрцитивных сплавов типа викаллой (из системы железо-кобальт-ванадий) и дано качественное теоретическое объяснение полученных результатов.

Доклад Р. В. Телеснина, И. А. Леднева и А. Г. Шишкова «Магнитная вязкость никель-цинковых ферритов при свободном и вынужденном изменении намагниченности» был посвящен изложению результатов изучения температурной зависимости магнитной вязкости в образцах никель-цинковых ферритов различного состава и различной термообработки в интервале температур от 78°K до точки Кюри, в режиме

свободного и вынужденного изменения намагниченности. Обнаружено, что при 78°K все образцы обладают магнитной сверхвязкостью с длительностью вязкостных процессов до нескольких минут.

В докладе Ю. С. Вайля «Закономерности спада обратимой проницаемости» исследовалось явление дезаккомодации в мягких магнитных материалах (кремнистое железо, железо армко). Полученные результаты автора находятся в противоречии с «первым правилом магнитной вязкости». Автор дает интерпретацию своих результатов на основе теории Нееля и Стрита и Вулли.

Известный китайский физик Кэ Тин-суй в своем докладе «Измерения внутреннего трения как метод магнитных исследований» указал на возможность плодотворного использования измерений внутреннего трения в ферромагнитных материалах для изучения их магнитных свойств.

В докладах С. Ш. Долгинова и Л. Н. Жузгова «Миниатюрный магнитометр для измерения очень слабых магнитных полей» и Л. Х. Фридмана и В. И. Дрожжиной «Феррозондные магнитометры для измерения магнитных свойств малых образцов» были изложены некоторые вопросы физики магнитных измерений и рассказано о конкретных аппаратурных устройствах.

По всем докладам и сообщениям было задано много вопросов и проходили оживленные прения, которые продолжались не только на официальных заседаниях Совещания, но и при личных встречах участников.

Значение настоящего Совещания заключается не только в том, что на нем было подвергнуто обсуждению много интересных и важных вопросов физики магнитных явлений, подведены известные итоги работы физиков-магнитологов и намечены пути дальнейших исследований, но также и в том, что в ходе работы Совещания были установлены тесные научные контакты между советскими физиками и физиками ряда зарубежных стран. Широкий обмен мнениями, дружеская обстановка во время заседаний и взаимная информация безусловно окажут свое плодотворное влияние на дальнейший прогресс в науке о магнетизме во всех странах.

С. В. Вонсовский