

Ферромагнетизм, Антиферромагнетизм, Обменное взаимодействие).

Роль атомных ядер в свойствах Т. т. не ограничивается тем, что в них сосредоточена осн. масса тела. Квантовое «замораживание» большинства движений в Т. т. при $T \rightarrow 0$ К даёт возможность выявить вклад ядерных магн. уровней, если ядра обладают магн. моментами. При достаточно низкой темп-ре их вклад в парамагн. восприимчивость становится ощутимым (см. *Ядерный парамагнетизм*). Ядерные магн. уровни проявляются в резонансном поглощении эл.-магн. энергии [см. *Ядерный магнитный резонанс (ЯМР)*]. ЯМР — один из распространённых методов изучения Т. т., так как структура ядерных магн. уровней существенно зависит от свойств ядерного окружения, в частности от электронной оболочки атома. Мн. ядерные процессы в Т. т. приобретают специфич. черты, позволяющие использовать их для изучения свойств Т. т., напр.: изучение электронно-позитронной аннигиляции позволяет исследовать свойства электронной системы Т. т.; резонансное поглощение γ -квантов ядрами Т. т. — локальные *внутрикристаллические поля* (см. *Мёсбауэра эффект, Мёсбауэровская спектроскопия*).

Взаимодействие быстрых заряженных частиц с Т. т. Упорядоченное расположение атомов накладывает существ. отпечаток на передачу энергии от быстрой частицы атомам Т. т. Напр., наблюдается резкая зависимость длины пробега быстрой частицы от направления относительно кристаллографич. осей (см. *Каналирование заряженных частиц, Теней эффект*). С другой стороны, облучение Т. т. быстрыми частицами и фотонами изменяет свойства Т. т. (см. *Радиационные дефекты*).

Роль поверхности. Каждое Т. т. обладает поверхностью, к-рой соприкасается с окружающей средой. Поверхность Т. т. играет определяющую роль в таких явлениях, как катализ, коррозия, рост кристаллов (см. *Кристаллизация*) и т. п. Обычно микроструктура поверхности крайне нерегулярна, и её исследование наталкивается на большие трудности.

Традиционно *поверхность* воспринималась только как граница Т. т., а экспериментаторы пытались с помощью обработки (травления, очистки лучком ионов и др. методами) добиться того, чтобы свойства границы не мешали изучению объёмных свойств Т. т. В последнее время граница Т. т. превратилась в специфический объект исследования. Обнаружены и исследуются поверхностные возбуждения (квазичастицы, локализованные вблизи поверхности); изучаются поверхностные фазовые переходы, связанные с изменением огранки Т. т., а также с упорядочением атомов, адсорбированных на поверхности (см. *Адсорбция, Поверхностные состояния*).

Тенденция развития физики Т. т. Развитие физики Т. т. не прекращается, что не противоречит утверждению о своеобразной консервативности этой области. Представления, сформулированные до 60-х гг. 20 в., не отпали при последующем развитии физики Т. т. По-прежнему основой понимания динамики свойств Т. т. служат квазичастицы, разделяющиеся на *фермионы* и *бозоны*; для понимания резких изменений свойств Т. т., вызванных внеш. воздействиями, необходимо привлекать теорию *фазовых переходов* и критич. явления; осн. механизм перемещения атомных частиц в Т. т. считается диффузия. Не изменилась и систематика Т. т., в то время как изменения систематики — один из наиб. объективных показателей смены фундам. представлений.

Однако заметны существ. изменения: 1) расширился инструментарий, используемый для исследования Т. т.; появились сверхчувствительные оптич. и радиофиз. приборы, в частности использующие когерентные источники эл.-магн. излучения (лазеры и мазеры); внедрён в эксперим. практику *сканирующий туннельный микроскоп*, разрешение к-рого позволяет фиксировать положение отдельных атомов и молекул; созданы искусств. кристаллы (см. *Сверхрешётка*) с заданными свойствами; обнаружены новые модификации углерода (см. *Фуллерены*); ЭВМ используются не только для расчётов характеристик Т. т. на

основе адекватных моделей, но и для усовершенствования эксперим. методов.

2) Развитие теории и вычислит. возможностей привело к тому, что наши знания о Т. т. стали количественно определёнными. Различие в поведении разных Т. т. одной природы, как правило, может быть объяснено на основе знания их состава, геом. структуры, типа осн. состояния и законов дисперсии квазичастиц, осуществляющих динамику атомных частиц в Т. т. Теория фазовых переходов 2-го рода в конденсиров. средах позволяет вычислить критич. индексы, характеризующие аномалии физ. величин в *критической точке*.

3) Трудности, возникающие при попытках квантового описания системы неупорядоченных атомных частиц, привели к перенесению интересов от физики идеальных кристаллов к физике аморфных и стеклообразных веществ, к выяснению условий существования локализованных и дelokализованных состояний (пределов проводимости, порога подвижности и т. п.). Их изучение открыло новые техн. применения Т. т.

4) Существ. роль в физике Т. т. получило исследование нелинейных процессов. Обнаружены возможности моделировать разнообразные нелинейные явления, воздействуя на Т. т. разной природы эл.-магн. полями разл. частоты. Такие понятия, как солитон, аттрактор, хаос, самоорганизация, пришедшие из физики нелинейных процессов, стали употребительными в физике Т. т.

5) Возрос интерес к Т. т., обладающим промежуточными свойствами между телами разной природы, и к др. экзотич. системам: квантовым кристаллам, занимающим промежуточное положение между квантовыми жидкостями и Т. т., к жидким кристаллам, к *квазикристаллам*, обладающим *иссоразмерной структурой* и при наличии дальнего координационного порядка содержащим запрещённые для фёдоровских групп оси симметрии 5-го порядка, и др.

6) Миниатюризация электронных приборов привлекла внимание к электронным системам низкой размерности — двумерным и одномерным, свойства к-рых существенно отличаются от их трёхмерных аналогов (см. *Квазидвумерные соединения, Квазидвумерные соединения*). Это привело, в частности, к открытию *квантового Холла эффекта* в двумерных *инверсионных слоях* носителей заряда в полупроводниках. Теоретич. и эксперим. исследования кластеров (суперминигорных систем) позволяют исследовать непосредственно переход от микроскопических к макроскопическим объектам.

7) Открытие высокотемпературных сверхпроводников с критич. темп-рой выше темп-ры кипения азота ($-195,8$ С) (см. *Оксидные высокотемпературные сверхпроводники*) привело к резкому возрастанию интереса к физике *сверхпроводимости*, а также к её техн. применениям.

Физика Т. т. развивалась вместе с физикой атомных и субатомных частиц, причём важную роль играл обмен идеями и эксперим. методиками между физикой Т. т. и физикой микромира.

Лит.: Пайерлс Р. Квантовая теория твердых тел, пер. с англ., М., 1956; Займан Дж. Принципы теории твёрдого тела, пер. с англ., [2 изд.], М., 1974; Каганов М. И., Лифшиц И. М. Квазичастицы. Идеи и принципы квантовой физики твёрдого тела, 2 изд., М., 1989; Киттель Ч. Введение в физику твёрдого тела, пер. с англ., М., 1978; Ашкрофт Н., Мермин Н., Физика твёрдого тела, пер. с англ., т. 1—2, М., 1979; Каганов М. И., Френкель В. Я. Вехи истории физики твёрдого тела, М., 1981; см. также лит. при сл. *Металлы, Полупроводники, Диэлектрики, Кристаллы, Ферромагнетизм, Антиферромагнетизм*.

М. И. Каганов.

ТВЁРДОСТЬ материалов — характеристика материала, отражающая их прочность и *пластичность*. Наиб. часто Т. определяется методом вдавливания шарика или призмы в испытуемый образец либо методом царапания. В методе Виккерса алмазная пирамида стандартных размеров вдавливается остриём в тело с шлифованной поверхностью и Т. определяется как отношение нек-рой стандартной силы вдавливания к 1 мм^2 площади отпечатка. Т. по Бринеллю — отношение силы, вдавливающей стандарт-