

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие автора . . . . .	6
Глава 1. Введение . . . . .	7
Глава 2. Экспериментальные факты . . . . .	11
Глава 3. Закон Кулона. Магнитный момент . . . . .	13
Глава 4. Элементарные магниты — точечные магнитные диполи . . . . .	16
Глава 5. Размагничивающий фактор . . . . .	19
Глава 6. Поле магнитного диполя. Взаимодействие диполей . . . . .	22
Глава 7. Диамагнетизм атомных электронов . . . . .	24
Глава 8. Ориентационный парамагнетизм атомов . . . . .	29
Глава 9. Зонные электроны в металле . . . . .	34
Глава 10. Парамагнетизм Паули . . . . .	38
Глава 11. Диамагнетизм Ландау . . . . .	40
Глава 12. Ферромагнетизм — теория среднего поля . . . . .	42
Глава 13. Ферримагнетизм и антиферромагнетизм — теория среднего поля . . . . .	48
Глава 14. Обменное взаимодействие. Модель Гейзенберга . . . . .	52

Глава 15. Ферромагнетизм зонных электронов . . . . .	57
Глава 16. Термодинамическая теория ферромагнетизма . . . . .	61
Глава 17. Магнитная анизотропия . . . . .	64
Глава 18. Домены . . . . .	68
18.1. Магнитостатическая энергия . . . . .	69
18.2. Обменная энергия . . . . .	70
18.3. Энергия магнитной анизотропии . . . . .	71
18.4. Толщина доменной стенки . . . . .	71
18.5. Размер домена . . . . .	72
18.6. Движение и пиннинг магнитных стенок . . . . .	72
18.7. Перемагничивание . . . . .	74
18.8. Однодоменные частицы . . . . .	76
18.9. Магнитный гистерезис . . . . .	82
18.10. Остаточная намагниченность . . . . .	85
Глава 19. Суперпарамагнетизм . . . . .	87
19.1. Релаксация намагниченности . . . . .	88
19.2. Температурная зависимость намагниченности (ZFC- и FC-измерения) . . . . .	90
19.3. Магнитная запись . . . . .	92
19.4. Квантовое тунелирование намагниченности . . . . .	98
Глава 20. Магнитные резонансы . . . . .	100
20.1. Резонансное поглощение энергии и спин-решеточная релаксация . . . . .	100
20.2. Движение спинов . . . . .	103
20.3. Уравнение Блоха . . . . .	107
20.4. Ферромагнитный резонанс . . . . .	110
20.5. Антиферромагнитный резонанс . . . . .	112
20.6. Высокочастотная магнитная восприимчивость . . . . .	113
Глава 21. Магнетотранспортные явления в ферромагнитных проводниках . . . . .	119
21.1. Эффект Холла и поперечное магнетосопротивление в немагнитных проводниках . . . . .	122
21.2. Планарный эффект Холла в немагнитных проводниках . . . . .	123
21.3. Аномальный эффект Холла и анизотропное магнетосопротивление в магнитных проводниках . . . . .	124
21.4. Гигантское магнетосопротивление . . . . .	128

Глава 22. <b>Магнитные свойства сверхпроводников</b> . . . . .	133
22.1. Магнитные свойства сверхпроводников . . . . .	136
22.2. Уравнение Лондонов . . . . .	139
22.3. Уравнение Пиппарда . . . . .	142
22.4. Квантование магнитного потока . . . . .	145
22.5. Термодинамика сверхпроводимости . . . . .	147
22.6. Поверхностная энергия . . . . .	150
22.7. Промежуточное состояние в сверхпроводниках I рода . . . . .	151
22.8. Смешанное состояние в сверхпроводниках II рода . . . . .	154
22.9. Критический ток в сверхпроводниках I рода . . . . .	163
22.10. Резистивное состояние сверхпроводников II рода . . . . .	165
22.11. Критический ток и критическое состояние сверхпроводников II рода . . . . .	167
Глава 23. <b>Основные типы магнитного упорядочения</b> . . . . .	180

## ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Эта книга задумана не как конспект лекций, а, скорее, — как учебное пособие для тех, кто после знакомства с магнетизмом в курсе общей физики, осознал, что так и не понял, «в чем там дело». А дело в том, что магнетизм, действительно, — сложное, одновременно релятивистское и квантово-механическое, явление. Поэтому изложить его основные понятия без привлечения сложных (в идейном и техническом плане) теоретических моделей очень трудно. Более того, многие аспекты магнетизма до сих пор до конца не поняты и адекватно не описаны (например, магнетизм зонных электронов, спин-поляризованный транспорт и др.). Сама же область продолжает широко и устойчиво развиваться.

В связи с этим хотелось собрать в книге вполне представительный (но, ни в коем случае, не ошеломляюще громоздкий, претендующий на абсолютную полноту) материал для тех, кто желает изучить предмет более подробно. Предполагается, что читатель уже прошел курс «молодого бойца» и знаком с основными понятиями магнетизма в объеме добротных учебников общей физики (например, Сивухин Д. В., «Общий курс физики», ФИЗМАТЛИТ, 2004 или Кингсел А. С. и др., «Основы физики. Курс общей физики», ФИЗМАТЛИТ, 2007). Предполагается также, что в рамках такого курса он знаком с основными понятиями квантовой механики и статистической физики, т. е., обращаясь к шахматной терминологии, изучил правила и основы игры, познакомился с простейшими комбинациями. Предлагаемая книга поможет повысить квалификацию где-то до уровня первого разряда. Ну, а чтобы стать мастером или даже гроссмейстером, читатель должен (если он будет в этом нуждаться) ступить на следующую ступень познания и приступить к изучению специализированных «продвинутых» учебников и монографий, выборочный список которых приведен во Введении.

Отбор материала книги, естественно, совершенно субъективен — в нее включено не только то, что кажется автору принципиально важным и необходимым, но и то, что ему наиболее близко и/или интересно. Так, много внимания уделено магнитным свойствам сверхпроводников, которые, как правило, редко (или бегло) рассматриваются в книгах по магнетизму.

Таким образом, настоящая книга не предназначена служить исчерпывающим руководством по экспериментальным и теоретическим вопросам физики магнетизма. Ее задача — дать углубленное представление об основных понятиях и идеях этой области науки и подготовить заинтересованного читателя к изучению более подробных монографий и оригинальных работ по физике магнитных явлений.

Автор глубоко признателен А. О. Раевскому за тщательный просмотр рукописи книги, после чего ее текст претерпел существенные изменения.