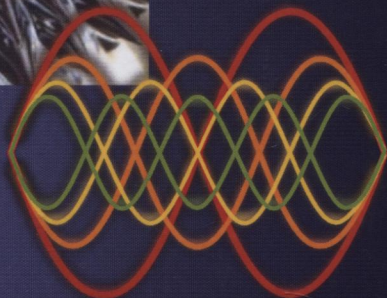
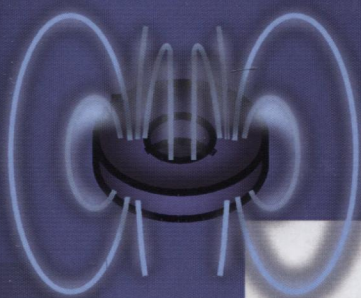


МЕХАНИКА НАНО- И МИКРОДИСПЕРСНЫХ МАГНИТНЫХ СРЕД



В. М. ПОЛУНИН, А. М. СТОРОЖЕНКО,
П. А. РЯПолов, Г. В. КАРПОВА

МЕХАНИКА НАНО- И МИКРОДИСПЕРСНЫХ МАГНИТНЫХ СРЕД

Под редакцией В. М. Полунина

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по образованию в области радиотехники,
электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 28.03.01
«Нанотехнологии и микросистемная техника»*



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2015

УДК 537.9 : 537.62
ББК Г562.173
М 55

Авторский коллектив:

Полунин В. М., Стороженко А. М., Ряполов П. А., Карпова Г. В.

Механика нано- и микродисперсных магнитных сред / Под ред. В. М. Полунина. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. — 192 с. — ISBN 978-5-9221-1640-4.

В учебном пособии изложен круг вопросов, относящихся к механике жидких нано- и микродисперсных магнитных сред. Этим вопросам практически не уделяется внимание в курсе общей физики, они описаны лишь в немногочисленных специализированных изданиях и периодической литературе. Приведены уравнения динамики жидких намагничивающихся сред и конкретные задачи с применением этих уравнений. Рассматриваются специфические для нано- и микроразмерных дисперсных систем физические явления: межфазный теплообмен, магнитокалорический эффект, «проскальзывание» нано- и микрочастиц относительно жидкой матрицы, гистерезис намагничивания микродисперсных суспензий, суперпарамагнетизм нанодисперсных магнитных жидкостей, неньютоновский характер реологии суспензий, диффузия и магнитофорез, магнитореологический эффект. Уделено внимание технологиям получения нано- и микродисперсных магнитных сред. На многочисленных примерах показано влияние размерного фактора на физические свойства материалов. Перечисленные вопросы полностью соответствуют программам и задачам нанотехнологических специальностей.

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

В оформлении обложки использована фотография момента лекционной демонстрации по магнитоуправляемости нанодисперсной магнитной жидкости, подготовленной сотрудниками ЮЗГУ П. А. Ряполовым, И. А. Шабановой и А. М. Стороженко.

ISBN 978-5-9221-1640-4

© ФИЗМАТЛИТ. 2015

© Коллектив авторов, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	6
Список основных обозначений и аббревиатур.	8
Введение.	10
Глава 1. Введение в нано- и микротехнологию	14
1.1. Основные понятия и определения, используемые в нано- и микротехнологиях	14
1.2. Положение нано- и микрообъектов на шкале размеров, исследуемых современной наукой	16
1.3. Приставки к единицам системы СИ	18
1.4. Влияние размерных эффектов на физические свойства материалов	19
1.5. К истории развития нанотехнологий и нанообъектов	20
Контрольные вопросы к главе 1	28
Глава 2. Физическая модель сплошной среды	29
2.1. Уравнение непрерывности	29
2.2. Уравнение движения	30
2.3. Уравнение механического состояния	33
2.4. Коэффициент упругости	36
2.5. Пондеромоторная сила.	38
2.6. Магнитный скачок давления	40
2.7. Механика «проскальзывания» нано- и микрочастиц при ускоренном движении суспензии	42
Контрольные вопросы к главе 2.	44
Глава 3. Измерения магнитных параметров нано- и микродисперсных сред	45
3.1. Магнитное поле	45
3.2. Описание экспериментальной установки и метода получения кривой намагничивания.	47
3.3. Кривая намагничивания	49
3.4. Расчет «максимального» и «минимального» магнитных моментов наночастиц и их диаметров	50
Контрольные вопросы к главе 3.	52
Глава 4. Магнитокалорический эффект в нанодисперсной магнитной системе	54
Контрольные вопросы к главе 4.	58

Глава 5. Проявления пондеромоторной силы	59
5.1. Экспериментальное подтверждение пондеромоторного механизма электромагнитного возбуждения упругих колебаний в магнитной жидкости	59
5.2. Пондеромоторный механизм возбуждения колебаний в цилиндрическом резонаторе с магнитной жидкостью	62
5.3. Добротность магнитожидкостной пленки — излучателя упругих колебаний	70
5.4. Возбуждение звука в неограниченной магнитной жидкости	76
5.5. Коэффициент пондеромоторной упругости магнитожидкостной перемычки	79
5.6. Резонансная частота колебаний магнитожидкостного уплотнения	81
5.7. Экспериментальный метод определения коэффициента пондеромоторной упругости	83
5.8. Магнитожидкостная цепочка с упругостью пондеромоторного типа	84
5.9. Вращательные колебания линейного кластера в магнитном поле	87
5.10. Колебания формы магнитожидкостной капли	88
5.11. Простой механизм объемной магнитострикции	90
5.12. Магнитная левитация	91
Контрольные вопросы к главе 5.	93
Глава 6. Сравнение равновесного намагничивания нанодисперсной магнитной жидкости и микродисперсной ферросуспензии	94
Контрольные вопросы к главе 6.	99
Глава 7. Реологические свойства суспензий	100
7.1. Ньютоновские и неньютоновские жидкости	100
7.2. Магнитореологический эффект	104
7.3. Физическая сущность магнитореологического эффекта	106
7.3.1. Роль кластеризации структуры ферросуспензии в формировании магнитной восприимчивости (106). 7.3.2. Природа неньютоновской вязкости в ферросуспензии (108).	
Контрольные вопросы к главе 7.	111
Глава 8. Механические и магнитные свойства нанодисперсных систем	113
8.1. Уравнение магнитного состояния суперпарамагнетика	113
8.2. Диффузия наночастиц в жидкой матрице	118
8.3. Магнитодиффузия и бародиффузия в нано- и микродисперсных средах	121
8.4. Агрегативная устойчивость дисперсной системы магнитных наночастиц	122
Контрольные вопросы к главе 8.	126

Глава 9. Аддитивная модель упругости нано- и микродисперсных систем	127
9.1. Аддитивная модель упругости нано- и микродисперсных систем с учетом межфазного теплообмена	127
9.2. Сжимаемость магнитной жидкости типа магнетит–вода	129
Контрольные вопросы к главе 9	131
Глава 10. «Подвешивание» магнитной жидкости в трубке для изучения ее реологических свойств	132
10.1. Столбик магнитной жидкости в трубке как инерционно-вязкий элемент колебательной системы	132
10.2. Реология магнитной жидкости с анизотропными свойствами	138
10.3. Немагнитные микрочастицы в нанодисперсной магнитной жидкости	142
Контрольные вопросы к главе 10	143
Глава 11. Кинетические и прочностные свойства магнитожидкостной перемычки	145
Контрольные вопросы к главе 11	153
Глава 12. Кавитационная модель разрыва–восстановления магнитожидкостной перемычки	154
Контрольные вопросы к главе 12	158
Глава 13. Методы получения магнитных жидкостей и ферросуспензий	159
13.1. Получение магнитных жидкостей с различной дисперсной фазой	162
13.2. Методика получения магнетита и магнитных жидкостей на трансформаторном масле	167
13.3. Лабораторная установка для получения магнитной жидкости методом химической конденсации	169
13.4. Выбор дисперсионной среды	170
13.5. Получение магнитных жидкостей с микрокапельными агрегатами	174
Контрольные вопросы к главе 13	175
Глава 14. Области применения нано- и микродисперсных сред	176
14.1. Применение ферросуспензий	176
14.2. Применение нанодисперсных магнитных жидкостей в науке и технике	178
Контрольные вопросы к главе 14	183
Заключение	185
Список литературы	187