

**Д.И. Рыжонков,  
В.В. Лёвина, Э.Л. Дзидзигури**

# **НАНОМАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

6-е издание, электронное



Москва  
Лаборатория знаний  
2021

УДК 539.21  
ББК 22.36+22.37+30.37  
Р93

*Серия основана в 2006 г.*

**Рыжонков Д. И.**

Р93      Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. — 6-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2021. — 368 с. — (Нанотехнологии). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-93208-550-9

Рассмотрены различные методы получения ультрадисперсных наноматериалов — механические, физические, химические, биологические. Обобщены современные представления об электрических, магнитных, тепловых, оптических, диффузионных, химических и механических свойствах наноматериалов. Подчеркнута и продемонстрирована зависимость этих свойств от структуры материала и геометрических размеров наночастиц. Значительное внимание уделено вопросам хранения и транспортировки наноматериалов.

Для студентов, обучающихся по специальностям «Физикохимия процессов и материалов», «Наноматериалы», «Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия», преподавателей, аспирантов, слушателей курсов повышения квалификации.

УДК 539.21  
ББК 22.36+22.37+30.37

**Деривативное издание на основе печатного аналога:** Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. — 2-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. — 365 с. : ил. — (Нанотехнологии). — ISBN 978-5-9963-0345-8.

**В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации**

ISBN 978-5-93208-550-9

© Лаборатория знаний, 2015

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>1. Классификация дисперсных систем</b>	<b>7</b>
1.1. Классификация по агрегатному состоянию	8
1.2. Классификация по размерам	10
1.3. Классификация по мерности	16
<b>2. Способы получения наноразмерных материалов</b>	<b>18</b>
2.1. Методы механического диспергирования	20
2.2. Методы физического диспергирования	37
2.3. Методы химического диспергирования	53
2.4. Биологические подходы к получению наноразмерных материалов	73
2.5. Способы консолидации наноразмерных порошков	77
<b>3. Физико-химические основы получения     наноструктурных материалов</b>	<b>88</b>
3.1. Формирование наноматериалов по механизму «снизу-вверх»	88
3.2. Формирование наноматериалов по механизму «сверху-вниз»	102
<b>4. Размерные зависимости свойств наноматериалов</b>	<b>106</b>
4.1. Особенности термодинамических свойств наносред	108
4.2. Структура наноразмерных материалов	122
4.3. Характеристики дисперсности наноматериалов	136
4.4. Поверхность, границы, морфология наноматериалов	153
4.5. Электрические свойства наноматериалов	167

4.6. Ферромагнитные характеристики наноматериалов . . . . .	187
4.7. Особенности тепловых свойств наноматериалов . .	196
4.8. Оптические характеристики наносред . . . . .	209
4.9. Диффузия в наноматериалах . . . . .	228
4.10. Химические свойства наноматериалов . . . . .	244
4.11. Механические характеристики дисперсных сред . . . . .	263
<b>5. Методы изучения свойств наноматериалов . . . . .</b>	<b>284</b>
5.1. Исследование размерных характеристик . . . . .	284
5.2. Определение элементного состава . . . . .	302
5.3. Определение фазового состава . . . . .	313
5.4. Методы изучения поверхности . . . . .	318
<b>6. Использование наноматериалов в практической деятельности . . . . .</b>	<b>328</b>
6.1. Применение наноматериалов в промышленности . . . . .	328
6.2. Использование наноматериалов в биологии и медицине . . . . .	339
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>343</b>
<b>Приложение. Пассивация, хранение и транспортировка наноматериалов . . . . .</b>	<b>345</b>
П.1. Способы защиты наноматериалов от внешних воздействий . . . . .	346
П.2. Некоторые аспекты транспортировки . . . . .	352
<b>Литература . . . . .</b>	<b>363</b>