

Программа спецкурса « Введение в физику наноструктур»

Для студентов 4 курса, специализация «Нанобиоматериалы и нанобиотехнологии»
(Подгруппа НБ1)

Проф. Ю.И. Головин (7 сем.)

Аннотация

Экспериментальный вводный курс по физике наноструктур адресован студентам нефизических специальностей, изучающим биохимические аспекты синтеза и применения наночастиц и наноструктур в нанобиотехнологиях, наномедицине, экологии. Он кратко знакомит студентов с физическими причинами специфики нанообъектов, классических и квантовых размерных эффектов в них, методами получения и исследования их структуры и свойств. Спецкурс призван обеспечить межпредметные связи и наметить наддисциплинарные подходы рассмотрения сложных физико-химических явлений с участием нанообъектов.

Лекция 1. Вводная. Основные понятия и мотивации. Классификации нанообъектов. Физические причины их специфического поведения. Понятие о размерных эффектах, самоорганизации и самосборке. Две конкурирующие и взаимодополняющие технологические парадигмы «сверху - вниз» и «снизу – вверх».

Блок 2. Атомная структура твердых тел. Монокристаллы, поликристаллы, квазикристаллы и аморфы. Решетки Браве. Индексы Мюллера. Понятие о роли симметрии в формировании свойств твердых тел. Реальные твердые тела и наночастицы. Нуль-, одно-, дву- и трехмерные структурные дефекты. Их роль в формировании структурочувствительных свойств твердых тел. Специфика атомной структуры нанокластеров и наночастиц. Фуллерены, нановолокна и нанотрубки.

Блок 3. Электронная структура твердых тел. Взаимодействие атомов и типы связи в конденсированных веществах. Образование энергетических зон в кристаллах. Металлы, диэлектрики, полупроводники. Частицы, возбуждения и квазичастицы. Влияние реальной структуры и размеров наночастиц на энергетические спектры и связанные с ними электронно-оптические свойства вещества. Квантовые точки, квантовые нити, квантовые колодцы и их применение в нанотехнике.

Блок 4. Роль свободных и внутренних поверхностей. Понятие о физике поверхности. Атомная релаксация и реконструкция у поверхности. Электронные приповерхностные состояния и явления. Соотношения поверхностных и объемных сил, энергий, и других характеристик в функции характерных размеров системы. Способы и средства модификации поверхности.

Блок 5. Основы физики размерных эффектов в наноструктурах. Конституционные и революционные размерные эффекты. Скейлинг и границы его применимости. Понятие об автомодельности процесса. Классические размерные эффекты в статике и явлениях переноса. Квантовые размерные эффекты в квантовых колодцах, квантовых проволоках и квантовых точках.

Блок 6. Термодинамика и кинетика образования наноструктур. Проблема их стабильности. Фазовые переходы в наноструктурах. Гомогенное и гетерогенное зарождение новой фазы. Зародыши и их рост в паровой, жидкой и твердой фазе.

Блок 7. Экспериментальные методы получения и исследования неорганических наночастиц, наноструктур и наноматериалов. Систематизация физических, химических и биохимических методов синтеза. Физические принципы основных групп методов исследования наноструктур (микроскопия, структуроскопия, спектроскопия, дифрактометрия). Методы определения размеров наночастиц.

Блок 8.1. Физические свойства наночастиц и наноматериалов. Фундаментальная связь: химический состав - атомная структура - микроструктура – макросвойства. Роль поверхности и размерных эффектов в формировании макросвойств. Физико-механические, электрические и электронно-оптические свойства.

Блок 8.2. Физические свойства наночастиц и наноматериалов (продолжение). Магнитные свойства и их природа. Магнитное упорядочение. Ферро-, антиферро- ферри-, пара-, диамагнетизм. Суперпарамагнетизм наночастиц. Тепловые свойства. Фононный газ. Оптические спектры и их специфика в наноструктурах. Комбинационное рассеяние и рамановская спектроскопия. Основные направления и перспективы применения наноструктур и наноматериалов.

Вопросы к зачету

1. Принципы классификации нанообъектов и наноструктур. Основные классы наноматериалов и области их использования.
2. Физические причины специфического поведения нанообъектов.
3. Основные разновидности размерных эффектов в наномасштабных структурах.
4. Самоорганизация и самосборка. Термодинамика и кинетика. Конкретные примеры и условия осуществления.
5. Роль свободных поверхностей в физико-химии наноструктур.
6. Приповерхностные структуры и состояния. Их роль в формировании свойств наночастиц и наноструктур.
7. Моно-, поли- и нанокристаллические твердые тела, аморфные нанокompозитные и нанопористые материалы. Основные особенности их строения.
8. Роль симметрии в строении и свойствах твердых тел. Кристаллические решетки Бравэ.
9. Частицы и квазичастицы в твердых телах. Их роль в формировании свойств.
10. Нульмерные, одномерные и двумерные дефекты структур кристаллического строения и их роль в формировании структурочувствительных свойств.
11. Основы физики размерных эффектов в наноструктурах. Понятие о скейлинге и автомоделности.
12. Природа классических размерных эффектов в наноструктурах. Их типичные проявления.
13. Квантовые размерные эффекты, их природа, проявления и примеры использования.
14. Основы термодинамики и кинетики фазовых переходов в наноструктурах.
15. Гомогенное и гетерогенное зарождение новой фазы. Зародыши и их рост в паровой, жидкой и твердой фазе.
16. Физические принципы и основные группы методов исследования наноструктур.
17. Основные группы физических свойств наноматериалов и их связь с химическим составом, атомарной и микроструктурой.
18. Природа и способы управления физико-механическими, электрическими и электронно-оптическими свойствами твердых тел.
19. Природа магнитных свойств вещества. Особенности магнитного упорядочения в наноструктурах (ферро-, антиферро-, ферри-, пара- и суперпарамагнетизм).

Основная литература

1. Ч. Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии (перевод с англ. под ред. Ю.И. Головина). М.: Техносфера. 2004. 328 с.
2. Ю.И. Головин. Введение в нанотехнику. М.: Машиностроение. 496 с.
3. Ю.И. Головин. Размерные эффекты в наноматериалах. В книге «Перспективные материалы» Т.3. Изд-во МИСИС-ТГУ. 2009. с. 225-322.

Дополнительная литература

4. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М.: Наука. 1978. 792 с.
5. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. Физика твердого тела. Нижний Новгород: Издательство Нижегородского госуниверситета. 1993. 491 с.
6. М. Праттон. Введение в физику поверхности. Ижевск: НИЦ РХД. 2000. 252 с.
7. Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. Физические и химические основы нанотехнологии. М.: Физматлит. 2008. 456 с.
8. И.П. Суздаев. Нанотехнологии: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига. 2006. 596 с.
9. А.И. Гусев. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит. 2005. 416 с.
10. Г.Б. Сергеев. Нанохимия. М.: Изд-во МГУ. 2003. 288 с.
11. А.Д. Помогайло, А.С. Розенберг, А.С. Уфлянд. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия. 2000. 672 с.
12. Ю.П. Петров. Кластеры и малые частицы. М.: Наука. 1986. 367 с.
13. В.Н. Портнов, Е.В. Чупрунов. Возникновение и рост кристаллов. М.: Физматлит. 2006. 328 с.
14. Ю.Д. Третьяков, В.И. Путляев. Введение в химию твердотельных материалов. М.: Изд-во МГУ. 2006. 400 с.
15. А.Л. Бучаченко. Нанохимия – прямой путь к высоким технологиям нового века. Успехи химии. 2003. 419 с.
16. Ю.А. Пентин, Л.В. Вилков. Физические методы исследования в химии. М.: Мир. 2006. 683 с.
17. Б. Нолтинг. Новейшие методы исследования биосистем. М.: Техносфера. 2005. 256 с.
18. Introduction to Nanoscience and Technology (ed. by M.D: Ventra et al.) Kluwer Academic Publisher. 2004. 611 p.
19. Р.А. Андреевский, А.В. Рагуля. Наноструктурные материалы. М.: Академия. 2005. 192 с.
20. Э.Г. Раков. Нанотрубки и фуллерены. М.: Университетская книга, Логос. 2006. 376 с.
21. Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology (ed. by W.A. Goddard et al.) CRC Press. 2002. 848 p.

22. Springer Handbook of Nanotechnology (ed. by B. Bhushan). Berlin Springer – Verlag. 2007. 1916 p.
23. Журналы Nano Today & Materials Today за 2005-2009 гг.
24. www.nanonewsnet.ru
25. www.nanometer.ru
26. www.nanotoday.com