

Программа спецкурса « Введение в физику наноструктур»

Для студентов 4 курса, специализация «Нанобиоматериалы и нанобиотехнологии»

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.

Блок 1. Вводная лекция. 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. 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 3. 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. 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 4. 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 5. 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. Поверхностные плазмоны. Их

использование для молекулярного детектирования и генерирования света. Способы и средства модификации поверхности.

Блок 6. Физические методы исследования наноструктур. Электронная и сканирующая зондовая микроскопия. Дифрактометрия. Оптическая, электронная, рамановская, радио- и масс-спектрометрия. Определение размеров наночастиц.

Блок 7. Физические свойства наночастиц и наноматериалов. Фундаментальная связь: химический состав - атомная структура - микроструктура – макросвойства – функции (в биологии). Роль поверхности и размерных эффектов в формировании макросвойств. Физико-механические, электрические и электронно-оптические свойства. Нанопотоника. Квантовые точки. Магнитные свойства и их природа. Магнитное упорядочение. Ферро-, антиферро- ферри-, пара-, диамагнетизм. Суперпарамагнетизм наночастиц. Магнитная гипертермия. Тепловые свойства. Фононный газ.

Вопросы к зачету

1. Принципы классификации нанообъектов и наноструктур. Основные классы наноматериалов и области их использования.
2. Размерные эффекты (РЭ) в наноструктурах. Понятие о скейлинге, автомодельности и границах применимости теории/модели.
3. Основные разновидности РЭ в наномасштабных структурах.
4. Основные группы физических причин специфического поведения нанообъектов.
5. «Классические» РЭ в наноструктурах. Их типичные проявления.
6. РЭ в механике.
7. Прочность и пластичность в наношкале.
8. Трение в наношкале.
9. Поведение нанодисперсий в гравитационном поле.
10. Капиллярные явления в наношкале.
11. РЭ в явлениях переноса. Баллистический режим.
12. РЭ в гидродинамике.
13. РЭ в диффузии.
14. РЭ в электропереносе.
15. РЭ в теплопереносе.
16. Феноменология магнетизма в наношкале.
17. Размерное квантование, проявления и примеры использования.
18. Туннелирование, его проявления и использование.
19. Самоорганизация и самосборка. Термодинамика и кинетика. Конкретные примеры и условия осуществления.
20. РЭ в химии наноструктур.
21. Твердые тела. Роль симметрии в строении и свойствах твердых тел. Кристаллические решетки Бравэ.
22. Моно-, поли- и нанокристаллические твердые тела, аморфные, нанокompозитные и нанопористые материалы. Основные особенности их атомного строения.
23. Нульмерные, одномерные и двумерные дефекты структур кристаллического строения и их роль в формировании структурочувствительных свойств.
24. Основы термодинамики и кинетики фазовых переходов в наноструктурах.
25. Гомогенное и гетерогенное зарождение новой фазы. Зародыши и их рост в паровой, жидкой и твердой фазе
26. Роль свободных и внутренних поверхностей в физико-химии наноструктур.
27. Основные группы причин специфики свойств поверхности.
28. Атомарные приповерхностные структуры. Релаксация и реконструкция, микротопология, адатомы и адсорбированные молекулы. Их роль в формировании свойств наночастиц и наноматериалов.
29. Принципы образования зон в электронных спектрах идеальных твердых тел. Зависимость энергетической структуры от числа атомов в частице. Магические числа атомов в наночастицах.
30. Размерное квантование. Квантовые колодцы, квантовые проволоки и квантовые точки. Квантовые точки с оболочками.

31. Электронные приповерхностные состояния. Их роль в формировании свойств наночастиц и наноматериалов.
32. Поверхностные плазмоны. Резонанс на поверхностных плазмонах и его использование в химии.
33. Физические принципы и основные группы методов исследования наноструктур. Упругое и неупругое рассеяние.
34. Принципы и техника просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии.
35. Принципы и методы сканирующей зондовой микроскопии (туннельной, атомно-силовой и оптической ближкопольной).
36. Принципы оптической и рамановской спектроскопии.
37. Принципы магниторезонансной спектроскопии.
38. Принципы и методы масс-спектрометрии.
39. Принципы гамма-резонансной спектроскопии.
40. Принципы дифрактометрии. Камеры и дифрактометры. Электронная, рентгеновская и нейтронная дифракция.
41. Принципы и методы измерения размеров наночастиц.
42. Основные группы физических свойств наноматериалов и их связь с химическим составом, атомарной и микроструктурой (с акцентом на последнюю).
43. Природа и способы управления, электрическими и электронно-оптическими свойствами твердых тел.
44. Природа магнитных свойств вещества.
45. Особенности спонтанного магнитного упорядочения в наноструктурах (ферро-, антиферро-, ферри- и суперпарамагнетизм).
46. Магнитная гипертермия. Неелевская и броуновская релаксация. Тепловыделение и температурное поле в магнитной суспензии, помещенной в радиочастотное магнитное поле.

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. Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. Физические и химические основы нанотехнологии. М.: Физматлит. 2008. 456 с.
4. И.П. Суздаев. Нанотехнологии: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига. 2006. 596 с.

Дополнительная литература

5. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М.: Наука. 1978. 792 с.
6. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. Физика твердого тела. Нижний Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета. 1993. 491 с.
7. М. Праттон. Введение в физику поверхности. Ижевск: НИЦ РХД. 2000. 252 с.
8. К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин и др. Введение в физику поверхности. М.: Наука. 2006. 490 с.
9. А.А. Елисеев, А.В. Лукашин. Функциональные наноматериалы (под ред. Ю.Д. Третьякова). М.: ФИЗМАТЛИТ. 2010. 456 с.
10. А.И. Гусев. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит. 2005. 416 с.
11. Г.Б. Сергеев. Нанохимия. М.: Изд-во МГУ. 2003. 288 с.
12. А.Д. Помогайло, А.С. Розенберг, А.С. Уфлянд. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия. 2000. 672 с.
13. Ю.П. Петров. Кластеры и малые частицы. М.: Наука. 1986. 367 с.
14. В.Н. Портнов, Е.В. Чупрунов. Возникновение и рост кристаллов. М.: Физматлит. 2006. 328 с.
15. Ю.Д. Третьяков, В.И. Путляев. Введение в химию твердых материалов. М.: Изд-во МГУ. 2006. 400 с.
16. А.Л. Бучаченко. Нанохимия – прямой путь к высоким технологиям нового века. Успехи химии. 2003. 419 с.
17. Ю.А. Пентин, Л.В. Вилков. Физические методы исследования в химии. М.: Мир. 2006. 683 с.
18. Б. Нолтинг. Новейшие методы исследования биосистем. М.: Техносфера. 2005. 256 с.
19. Introduction to Nanoscience and Technology (ed. by M.D: Ventra et al.) Kluwer Academic Publisher. 2004. 611 p.
20. Р.А. Андреевский, А.В. Рагуля. Наноструктурные материалы. М.: Академия. 2005. 192 с.
21. Э.Г. Раков. Нанотрубки и фуллерены. М.: Университетская книга, Логос. 2006. 376 с.

22. Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology (ed. by W.A. Goddard et al.) CRC Press. 2002. 848 p.
23. Springer Handbook of Nanotechnology (ed. by B. Bhushan). Berlin Springer – Verlag. 2007. 1916 p.
24. Журналы Nano Today & Materials Today за 2005-2010 гг.
25. www.nanonewsnet.ru
26. www.nanometer.ru
27. www.nanotoday.com