

Proyecto de programa para un curso de física de los nanomateriales



Alberto Iglesias Cerveto

F. de Física. U. de La Habana. San Lázaro y L-A.P. 10400 La Habana, Cuba.

E-mail: aiglesias@fisica.uh.cu

(Recibido el 15 de Junio de 2012, aceptado el 23 de Septiembre de 2012)

Resumen

En el trabajo se presenta un proyecto de programa para un curso de física de los nanomateriales a estudiantes de licenciatura e ingeniería preferiblemente del tercer año en adelante. El proyecto tiene como antecedente dos cursos impartidos por el autor en el Centro nacional de investigaciones científicas de Cuba durante el primer semestre de los años 2006 y 2007. El trabajo consta de: introducción y antecedentes, marco teórico, objetivos generales y específicos. El plan temático se describe detalladamente dando el contenido de los nueve temas que conforman el curso señalándose la distribución por semanas, temas, horas lectivas y de estudio individual, distribución por conferencias, clases prácticas, seminarios y evaluaciones. Se da un ejemplo de distribución del contenido por tema. En el proyecto se incluyen un trabajo de curso y prácticas de laboratorio. En este último caso se tiene en cuenta que el contenido de las mismas depende del equipamiento disponible.

Palabras clave: Clave Nano ciencia, Nanotecnología, Conferencias sobre nano ciencia y nanotecnología.

Abstract

In this paper we present a project for a program of lectures on physics of nanomaterials for students of science and engineering for the third year or beyond. The project was antecedent whit two courses in the National center for scientific research in Cuba during the firth semester of 2006 and 2007. This work included an introduction, antecedents, theoretic bases and the general and specific objectives. The thematic plan is explained with details given the night themes forming the course signaling the distribution by week, themes, lectures, individual work, practices seminars and evaluations. An example is given for the distribution of one theme. The Project include a work for concluding the course and a laboratory. The practices are selected in dependence of the equipment that is available.

Keywords: Nanoscience, Nanotechnology, Lectures on manoscience and nanotechnology.

PACS: 73.63.-D, 73.21.-b, 71.20.-b, 82.37.-Gk

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCTION Y ANTECEDENTES

Los nano materiales se describen generalmente como aquellas sustancias cuyas dimensiones son del orden de los nanómetros (10^{-9} m) y cuyas propiedades depende, marcadamente, de su longitud, superficie o volumen.

A escala manométrica estas sustancias exhiben nuevas propiedades las cuales puedes ser modificadas con solamente un cambio en su tamaño o forma.

Se prevé que en un futuro relativamente próximo muchos de los medios disponibles, tanto en la ciencia, como en la vida diaria, estén compuestos de materiales cuya estructura será manométrica.

Tomando esto como premisa es claro que se hace necesario incluir en las carreras universitarias de ciencia y tecnología cursos donde se aborde, como aspecto principal, las propiedades físicas, químicas, y de ingeniería de este tipo de materiales. Por este motivo se ha elaborado este proyecto de programa para un curso de física de los nanomateriales con el cual se intenta actualizar los conocimientos de este aspecto de las nanociencias en

nuestras universidades y, en aquellas carreras, donde se estudia sistemáticamente la ciencia de los materiales.

Este proyecto de programa tiene como antecedentes dos cursos impartidos por el autor en el Centro nacional de investigaciones científicas de Cuba durante los años 2006 y 2007.

II. MARCO TEORICO

El desarrollo de las nuevas tecnologías para el procesamiento y utilización de los materiales ha sufrido un cambio sustancial en los últimos 20 años. El surgimiento de los nanomateriales y los compuestos nanos estructurados ha abierto nuevas vías y nuevos fenómenos que no se conocían con anterioridad.

La nanociencia y la nanotecnología se desarrollan rápidamente por lo que es necesario adquirir conocimientos muy actuales para poder interpretar los nuevos fenómenos que se descubren y tomando como base estos conocimientos, realizar las aplicaciones que permitan

TABLA I. Física de los nanomateriales. Plan temático. Distribución por semanas, temas, horas lectivas y de estudio individual.

Semanas de curso	Temas	Horas lectivas/tema	Horas de auto estudio/tema	Horas totales
1	Introducción general	2	2	4
2-3	Estructura cristalina	4	4	8
4-5	Elementos de M. Cuántica	4	4	8
6-7	Nano materiales de carbono	4	4	8
8	Propiedades ópticas de las nano partículas	4	4	4
9-10	Cristales fotónicos	4	4	8
11	Nano magnetismo	2	2	4
12-13	Transporte de carga en nano estructuras. Cuantización de la conductancia. Puntos cuánticos	4	4	8
14-15		4	4	8
16	Dispositivos de medida	2	2	4
Horas totales		34	34	68

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general del curso

Este curso está dirigido a estudiantes de ciencias e ingeniería con el objetivo de elevar y actualizar su nivel profesional en la disciplina de los nano materiales y favorecer, de esta manera, la continuación en el desarrollo de sus habilidades y conocimientos con un enfoque actualizado siguiendo las tendencias actuales en la investigación y el desarrollo de los materiales nano estructurados y de la nanotecnología.

B. Objetivos específicos

1. Adquirir los fundamentos teóricos necesarios en el estudio y la investigación de los materiales nano estructurados.
2. Realización de trabajos de curso que permitan aplicar y perfeccionar los conocimientos teóricos adquiridos.
3. Ser capaz de interpretar los materiales escritos en el campo de las nano estructuras.
4. Adquirir la formación básica necesaria para poder continuar los estudios sobre el tema posteriormente.

IV. CAPACIDADES ADQUIRIDAS POR EL ESTUDIANTE

El estudiante deberá ser capaz, una vez concluido el curso, de interpretar los fenómenos fundamentales que son característicos de los nano materiales así como de realizar trabajos independientes, a su nivel, en este campo.

V. JUSTIFICACION

El desarrollo a finales del siglo XX y principios de XXI, en lo que concierne a la manipulación y obtención de objetos a escala manométrica, muestra que en un futuro no muy lejano la base de la mayoría de los materiales de uso común así como el equipamiento y procedimientos en la ciencia, la ingeniería, la medicina, la informática y en otras muchas ramas de la ciencia y la técnica estarán basados en nano partículas y nano estructuras. Por este motivo es indispensable implementar cursos a nivel de carrera universitaria que introduzca a los alumnos en los aspectos teóricos y prácticos fundamentales de estos nuevos materiales.

TABLA II. Plan temático. Distribución por conferencias, clases prácticas, seminarios y evaluaciones. El orden en la tabla es cronológico.

Temas	Conferencias (H. lectivas)	Seminarios (H. lectivas)	Clases prácticas (H. lectivas)	Evaluaciones
Introducción general	1 (2)	1 (Tres primeros temas) (2)	1 (2)	1
Estructura cristalina	2 (4)		1 (2)	
Elementos de M. Cuántica	2 (4)		1 (2)	
Propiedades ópticas de las nano partículas	2(4)	1 (Propiedades ópticas) (2)	1 (2)	1
Cristales fotónicos	2 (4)			
Nano materiales de carbono	2 (4)	1 (Conducción y magnetismo) (2)	1 (2)	1
Nano magnetismo	1 (2)		1 (2)	
Transporte de carga en nano estructuras. Cuantización de la conductancia. Puntos cuánticos	4(8)		1(2)	
Dispositivos de medida	1 (2)		1 (2)	
Totales	17 (34)	3 (6)	8 (16)	3

VI. PLAN TEMATICO

El programa de la asignatura está dividido en nueve temas que se relacionan en la Tabla I. Para la selección de cada uno de ellos se han tomado en cuenta aspectos tales como el desarrollo científico del mismo y la posibilidad de su aplicación.

Se realizaran, además de las conferencias, al menos tres seminarios y ocho clases prácticas. Se pretende incluir en el curso prácticas de laboratorio dirigidas a la familiarización de los alumnos con los instrumentos de medición más comunes utilizados en la caracterización de los nanomateriales. La carga horaria de cada tema (conferencias, clases prácticas y seminarios) están determinadas por la complejidad del mismo.

Cada hora lectiva corresponde a un turno de clase de 50 minutos.

TABLA III. Prácticas de laboratorio relacionadas con los instrumentos de medición de uso común para la caracterización de los nanomateriales. Distribución por horas lectivas y preparación de informe.

Prácticas	Horas lectivas	Preparación de informes	Totales
M. TEM	4	4	8
M. SEM	4	4	8
M. F. ATOMICA	4	4	8
Totales	12	12	24

VII. CONTENIDO POR TEMA

En las Tablas I y II se muestran de forma general los temas que conforman el proyecto de curso. A continuación detallamos el contenido de cada uno de ellos.

1. Introducción general

- 1.1. Introducción
- 1.2. Definiciones e historia
- 1.3. Métodos típicos de obtención.
- 1.4. Características de las nano partículas.
- 1.5. Estructura de bandas en los sólidos cristalinos masivos.
- 1.6. Metales.
- 1.7. Semiconductores.
- 1.8. Propiedades estructurales.
- 1.9. Propiedades mecánicas.
- 1.10. Propiedades termodinámicas.
- 1.11. Propiedades catalíticas.
- 1.12. Propiedades magnéticas.
- 1.13. Métodos de caracterización.
- 1.14. Aplicaciones.
- 1.15. Tendencias.
- 1.16. Conclusiones.

2. Estructura cristalina

- 2.1. Introducción
- 2.2. La simetría en la naturaleza, sólidos cristalinos.
- 2.3. Elementos de simetría.
- 2.4. Red espacial, clases de simetría, grupos espaciales.
- 2.5. Coordenadas cristalográficas.
- 2.6. Redes de Bravais.
- 2.7. Representación vectorial de una red cristalina.
- 2.8. Vectores elementales de la red cristalina, celda elemental.
- 2.9. Ejemplos.
- 2.10. Planos cristalinos e índices de Miller.
- 2.11. Ley de Bragg.
- 2.12. Red reciproca.
- 2.13. Vectores base de la red reciproca.
- 2.14. Zonas de Brillouin, ejemplos.

3. Confinamiento

- 3.1. Introducción.
- 3.2. Origen del comportamiento de los nanomateriales.
- 3.3. Efectos de frontera.
- 3.4. Efectos de tamaño (Confinamiento).
- 3.5. Espectro energético de los electrones en un cristal. Modelo de Kronig-Penney.
- 3.6. Estructura de bandas.
- 3.7. Casos límite (Electrón fuertemente ligado y débilmente ligado).
- 3.8. Significado físico de la función de onda
- 3.9. Densidad de estados (casos).
- 3.10. Longitudes características. Longitud de onda de DeBroglie y Radio excitónico.

4. Nanomateriales a base de carbono

- 4.1. Introducción.
- 4.2. Estados de agregación del carbono.
- 4.3. Fullerenos.
- 4.4. Hoja de grafeno, geometría y estructura de bandas.
- 4.5. Formación y geometría.
- 4.6. Estructura de bandas de los NTC.
- 4.7. Métodos de obtención.
- 4.8. Mecanismo de crecimiento.
- 4.9. Defectos.
- 4.10. Métodos de purificación.
- 4.11. Propiedades.
- 4.12. Aplicaciones.

5. Propiedades ópticas de las nanopartículas

- 5.1. Introducción.
- 5.2. Elementos de electrodinámica.
- 5.3. Ecuaciones de Maxwell en sólidos.
- 5.4. Constantes ópticas de los metales.
- 5.5. Modelo de Drude Sommerfeld.
- 5.6. Valores experimentales para la constante dieléctrica del Au y el Ag
- 5.7. Caso de partículas pequeñas.
- 5.8. Resonancia plasmónica.
- 5.9. Ancho de la línea de resonancia y tiempo de vida.
- 5.10. Plasmones.
- 5.11. Plasmones en la interface metal dieléctrico.
- 5.12. Teoría electrodinámica de los plasmones superficiales.
- 5.13. Plasmones en nanopartículas.
- 5.14. Modelo Semiclásico.
- 5.15. Teoría electrodinámica para los plasmones en nanopartículas.
- 5.16. Aproximación de Rayleigh.
- 5.17. Teoría de Mie.
- 5.18. Algunos resultados del modelo electrodinámico.
- 5.19. Comportamiento del ancho y de la posición del máximo de la curva de resonancia.
- 5.20. Efectos del medio.

6. Nanomagnetismo

- 6.1. Introducción
- 6.2. Elementos de magnetismo. Origen
- 6.3. Dipolos magnéticos, momento magnético.
- 6.4. Interacción magnética.
- 6.5. Anisotropía magneto cristalina
- 6.6. Dominios magnéticos
- 6.7. Tipos de materiales magnéticos
- 6.8. Magnetización, Lazo histeresico
- 6.9. Nanomagnetismo. Introducción
- 6.10. Transición mono dominio multidominio
- 6.11. Modelo de Stoner-Wohlfath inversión de la magnetización, superparamagnetismo.
- 6.12. Anisotropía y temperatura de Bloqueo.
- 6.13. Escala de los tiempos de observación
- 6.14. Algunas aplicaciones.

7. Cristales fotonicos

- 7.1. Introducción

IX. SISTEMA DE EVALUACION

A. Participación en clases practicas

Para un conjunto de temas se impartirá una clase práctica cuyo contenido estará relacionado con el objetivo particular del tema o los temas que abarque la clase práctica.

B. Participación en seminarios.

El profesor señalará al menos dos alumnos los cuales prepararan un tema específico del cual harán una exposición pública. Cada tema tendrá dos alumnos como oponentes los cuales cumplimentaran, con su oposición su participación en los seminarios. El trabajo, tanto como el de los que lo presentan como de los que hacen la oposición será evaluado.

C. Trabajo de curso

Se prevé un trabajo de culminación de curso que constara de no menos de 10 páginas ni más de 30 con no menos de 30 referencias de no más de cinco años de edición escrito con letra Aial 12 a dos espacios y en papel A4 que se defenderá ante un tribunal seleccionado al efecto.

X. CARGA HORARIA

La carga horaria del curso es de 186 horas en 16 semanas (un semestre) 2 horas por semana sin incluir los seminarios y clases prácticas que pueden ajustarse según las necesidades.

XI. CONCLUSIONES

El curso se ha estructurado para su impartición en un semestre sin embargo esto es flexible y es posible ajustando los horarios extenderlo a dos semestres. El número de horas totales por actividad se muestra en la Tabla IV. Las prácticas de laboratorio pueden adecuarse a la disponibilidad de equipamiento.

- 7.2 Definiciones y conceptos
- 7.3 Ecuaciones de Maxwell en un medio dieléctrico
- 7.4 Propagación de la luz en los cristales fotonicos. Planteamiento del problema
- 7.5 Propagación de una onda electromagnética en los cristales fotonicos
- 7.6 Propiedades de simetría y parámetros importantes en un cristal fotonico.
- 7.7 Estructura de bandas en un cristal fotonico
- 7.8 Cristales fotonicos 1D
- 7.9 Defectos y sus funciones

- 8. Transporte de carga en nanomateriales cubanización de la conductancia. Puntos cuánticos**
 - 8.1 Introducción
 - 8.2 Modelo de Drude Sommerfeld para los conductores
 - 8.3 Transporte de carga en nanoestructuras
 - 8.4 La distribución de la energía en el caso de los nanoalambres
 - 8.5 Transporte de carga en puntos cuánticos
 - 8.6 Niveles de energía en puntos cuánticos
 - 8.7 Bloqueo de Coulomb. Escalera de Coulomb.

- 9. Métodos experimentales**
 - 9.1 Introducción
 - 9.2 Microscopia de campo lejano
 - 9.3 Microscopia de campo próximo
 - 9.4 Microscopia de fuerza atómica

VIII. EJEMPLO DE CONTENIDO POR TEMA. ESTRUCTURA CRISTALINA

Cuando se selección el contenido de cada tema se trato de organizar el mismo de forma que mantuviera una continuidad lógica. En la Fig. 1 se muestra. De forma esquemática, como se distribuye el contenido del tema Estructura cristalina.

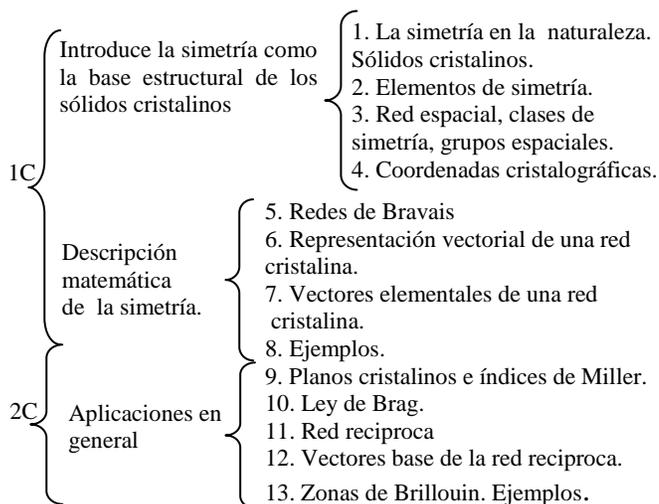


FIGURA 1. Organización del contenido de un tema. Estructura cristalina. 1C. Primera conferencia. 2C. Segunda conferencia.

TABLA IV. Horas total del curso.

Horas totales del curso	Horas lectivas	Horas de auto estudio	Seminarios y clases practicas	Prácticas de laboratorio	Trabajo de curso	Total general
	68	46	22	24	32	19

REFERENCIAS

- [1] Akta, B., Tagirov, L., Mikailov, F. (Eds.). *Magnetic Nanostructures*, (Springer, The Netherlands, 2009).
- [2] Azzeroni, B., Asti, G., Pareti, L., Consiglio Nazionale della Ricerca. *Magnetic Nanostructures in Modern Technology Spintronics, Magnetic MEMS and Recording*. Published in cooperation with NATO Public Diplomacy Division and Spintronics, Magnetic MEMS and Recording. Parma, Italy (Springer, The Netherlands, 2006).
- [3] Sellmyer, D. and Skomski, R., *Advanced Magnetism nanostructures* (Springer, Berlin, 2006).
- [4] Kuno, M., *Introduction to nanoscience and technology*, A Workbook 2005. On line <<http://www.kuno.fisic.org/bo.pdf>>.
- [5] Weis, J., *Coulomb Blockade and Single Electron Charging Effects; Electrical Transport through Quantum Dots. Part I The basics*. Mac Planck Institut fur Festkorperforschung Germany. On line. <<http://www.wjurgemacplanckinstitut.fur.festkorperforschung>>. Consultado 23 de Enero (2012).
- [6] Satyanarayana, V. N. T., Kuchibhatla, A. S., Karakoti, Debasis Bera, S. Sial., *One dimensional nanostructured materials*, *Progress in Materials Science* **52**, 600 (2007).
- [7] Dias, L., *Lectures: Condensed Matter II 1*, Quantum dots 2. Kondo effect. UT/ORNL. On line. <<http://www.Ut/ornl.l.dias.lect.pdf>>. Consultado 01 de Febrero 2012.
- [8] Muralidharan, B., Siddiqui, L. and Ghosh, A. W., *The role of many particle excitations in Coulomb blockade transport*, *J. of Phy. Condens. Matter* **20**, 374109 (2008).
- [9] Bravo, A. J., Fan, S., Johnson, B. S., Joannopoulos, D. J. and Soljaic, M., *Modeling Nonlinear Optical Phenomena in Nanophotonics*, *Journal of Lightwave Technology* **25**, 9 (2007).
- [10] Lower, K., *Chemical Bonding*, Stephen Simon Fraser University. On line. <http://www.freeinfosociety.com/media/pdf/2726.pdf> Consultado 01 de Febrero 2012.
- [11] Medina, C., Martinez, M. J. S., Fadomski, A., Corrigan, O. I. and Fadomski, M. W., *Nanoparticles pharmacological and toxicological significance*, *British Journal of Pharmacology* **150**, 552-558 (2007).
- [12] Dresselhaus, M. S., *Solid State Physics*, (2001). On line <<http://www.Dresselhaus/bo.pdf>>. Consultado 25 de Marzo (2011).
- [13] Fam, J. and Pino, R., *Physical Chemistry; Energy Band Theory and Quantum Confinement*, Meliorum Technologies Inc. 620 Park Av. Rochester, NY USA 14607.
- [14] Grove, R. K., Jorgensen, T., *Electrical properties of Carbon Nanotubes*, (Niels Bohr Institute and NanoScience Center, University of Copenhagen, 2000), <http://www.nbi.dk/~nygard/Kasperproject2e.pdf>. Consultado 25 de Marzo (2011).
- [15] Poncharal, P., Berger, C., Yi, Y., Wang, S. L., Heer, A. W., *Room temperature ballistic conduction in carbon nanotubes*, School of Physics Georgia Institute of Technology Atlanta CA 30332.
- [17] Minot, D. E., *Tuning the band structure of carbon nanotubes*, A dissertation presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University, in partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy. On line <<http://www.davis.fisic.org/tes.pdf>>. Consultado 10 de Junio (2011).