

FÍSICA CUÁNTICA I

Profesor: Elías Palacios Latasa

e-mail: elias@unizar.es

Departamento: Física de la Materia Condensada

Localización: Fac. de Ciencias, Ed A, planta baja, sección NW



Universidad
Zaragoza



Bibliografía

- 1) R. Eisberg and R. Resnick, “Quantum Physics of atoms, molecules, solids, nuclei, and particles”, 2nd edition, John Wiley and Sons (1985). Versión en castellano: “Física Cuántica (átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas)”, Ed. Limusa-Noriega (1997). ISBN 9681804198

Introducción: antigua teoría cuántica.

- 2) C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloe, “Quantum Mechanics” (2 vols.), Wiley-VCH 1977 (original en francés, 1971)

Libro fundamental de esta asignatura muy pedagógico y con desarrollos matemáticos detallados. **CONVIENE COMPRARLO**

- 3) Landau-Lifshitz, vol. 3: “Mecánica Cuántica No-Relativista” Reverté 1983

Consulta de detalles puntuales

- 4) Material original del profesor: presentaciones, problemas, programas...se pondrá en web
- 5)...Muchos otros. Pedir información en caso necesario

Material original :

http://fmc.unizar.es/people/elias/Fisica_Cuantica/Fisica_Cuantica.htm

Se puede acceder vía: unizar→centros →f. ciencias →Departamentos
→Fis. Mater. Condesada →Web: <http://fmc.unizar.es>

Hay un link desde la web de la asignatura
<http://fmc.unizar.es/12ciclo/grados.htm>

Presentaciones: En color en la web, en B/N en reprografía

Problemas: Se dará una copia a los asistentes a clase

Accesible en web

Programas: descargables libremente de la web, .exe y códigos fuente

Prácticas: en web, B/N reprografía

Exámenes: copias de exámenes pasados.

Consultar guías docentes :

<http://titulaciones.unizar.es/asignaturas/26921/index14.html>

Accesible por muchos caminos desde unizar.es (web universidad) y desde ciencias.unizar.es (web facultad de ciencias)

EVALUACION: CONTINUA

- 10% problemas propuestos (1)
- 20% presentación prácticas(2)
- 70% examen (7, min 2/7)

EVALUACION: GLOBAL

- 10% probl clase (1)
- 20% prácticas lab. (2)
- 70% examen (min 2/7)

* Modalidad a elegir por el alumno, incluso el mismo día del examen

* Para **CONTINUA** se necesita:

- 1) Realizar las prácticas
- 2) Hacer presentación y aprobarla (se convalida informe de cursos anteriores)
- 3) Hacer los problemas de clase
- 4) Examen sobre 7

* Para **GLOBAL** :

- 1) Examen sobre 7
- 2) Un problema de clase sobre 1
- 3) Una cuestión de prácticas sobre 2

* Se puede usar la nota obtenida en clase sólo de prácticas o de problemas.

PRÁCTICAS

- * Grupos y calendario unificados para FQI, Termo y Óptica
- * Comienzan en NOVIEMBRE, se indicarán los días
- * Por parejas (no necesariamente las mismas que para problemas)
- * **APUNTARSE** en el cuadro que se dejará en clase.
- * Juntar parejas que estén matriculados en las mismas asignaturas.
- * Son posibles grupos con más de dos personas si no están matriculadas de las tres asignaturas:

Ejemplos:

grupo 13

Ángel Pérez	FO
María Martínez	OT
Juan Fernández	FT

grupo 14

Alfonso Batallador	F
Isabel Católica	F
Juana de Arco	TO
Jaime Primero	TO

Planteamiento general del Curso

1. Física “cuántica antigua”: experimentos históricos que provocaron la formulación de la Mecánica Cuántica.
2. Formulación de Schrödinger de la Mecánica Cuántica.
3. Solución analítica y numérica de algunos problemas: partícula libre, escalón de potencial, pozos cuadrados, barrera cuadrada de potencial. Oscilador armónico
4. Enunciado de Dirac de los postulados de la Mecánica Cuántica.
5. Momento angular en MQ. Reglas de adición. El spin del electrón
6. El átomo de hidrógeno.

Código de colores en las presentaciones

Azul: texto principal

Rojo: títulos, detalles destacables

Verde: comentarios

Negro: matemáticas

¿Qué es la Física Clásica?

Es el conjunto de leyes físicas que se conocían hasta el año 1900...y lo que se estudia hasta 2º de Físicas

Se divide en 4 partes

MECÁNICA (Leyes de Newton): Estudia el movimiento.

TERMODINÁMICA Y FÍSICA ESTADÍSTICA (Carnot,..., Clausius, Maxwell, Boltzmann): estudia el calor y en general los sistemas de muchos átomos o moléculas.

ELECTROMAGNETISMO (Eqs. de Maxwell) Estudia la electricidad, el magnetismo y los campos electromagnéticos.

ÓPTICA: Estudia la luz visible

Óptica Geométrica: (Galileo, Fermat, Newton, Abbe) Principio de Fermat, desprecia los efectos de la longitud de onda de la luz, muy pequeña pero finita.

Reflexión y refracción, aberraciones,...

Óptica Física: (Huyghens, Kirchoff, Fraunhofer, Fresnel, Michelson ...). La luz como onda electromagnética. En realidad sería parte del electromagnetismo.

Interferencia, difracción, monocromaticidad y coherencia...

¿Qué es y por qué estudiar Física cuántica?

1. ¿Qué es la Física Cuántica y por qué se llama así?
2. Algunos hitos históricos del desarrollo de la Física Cuántica
3. Fenómenos cuánticos de la vida diaria en la actualidad.
4. ¿Por qué hay que estudiar primero Física Clásica?
5. Algunas Concepciones de la Física clásica dadas por supuestas sin discusión y que ahora hay que cambiar.

1. ¿Qué es la “FÍSICA CUÁNTICA”? I

- * Hacia finales del s. XIX y principios del s. XX se fue descubriendo gradualmente que la materia está formada por partículas muy pequeñas, átomos y/o moléculas. Y éstos a su vez por otras más pequeñas aún: electrones, protones y neutrones.
- * Las partículas de tamaño atómico (digamos del orden de $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ m}$ o menos) no obedecen a las leyes de Newton, de la Mecánica Clásica ni a formulaciones más elaboradas de las mismas: Lagrange o Hamilton.
- * Ojo, también los objetos grandes muy fríos (digamos $T < 4\text{ K} = -269^\circ\text{C}$) se apartan del comportamiento clásico: superconductividad, superfluidez, condensaciones bosónicas, etc
- * La modificación no es una simple corrección de las ecuaciones del movimiento de Newton, sino que es una concepción distinta de la descripción del propio concepto de “estado de una partícula” y de “movimiento”.

La Mecánica Cuántica es la teoría que describe “correctamente” el movimiento de los cuerpos. Para objetos macroscópicos a temperaturas no muy bajas el comportamiento previsto mediante dicha teoría es muy aproximadamente igual al previsto por Newton.

¿Qué es la “FÍSICA CUÁNTICA”? II

Todas las partes de la Física sufren los efectos cuánticos, así que se puede hablar de:

- * **Mecánica Cuántica** (MQ, trata del movimiento de una o un sistema de partículas)
- * **Física Estadística (y Termodinámica) Cuántica** (Bose-Einstein o Fermi-Dirac)
- * **Electrodinámica Cuántica** (Feynman, Tomonaga, Dyson)
- * **Óptica cuántica** (Láseres)
- * **Cromodinámica Cuántica**: trata de la interacción fuerte entre quarks, que forman los protones, neutrones y otras partículas raras.
- * **Teoría Electrodébil** : trata de la interacción débil y la desintegración beta en particular.

- *Otras muchas teorías recientes en desarrollo. Las situaciones en que sus “efectos especiales” se notan ocurrieron quizá sólo en los primeros microsegundos de vida del Universo.

Todavía no hay una teoría completa y consistente de la Gravitación Cuántica, para campos gravitatorios intensos.

¿Por qué se llama “CUÁNTICA”? I

Latín: “quantum, quanti” (g. neutro, pl. “quanta, quantorum”) = “cantidad de algo”

En inglés se usa directamente la palabra latina.

En castellano se ha introducido el tecnicismo:

“cuanto, -os” = (como nombre, no interrogativo) cantidad **MÍNIMA** de algo.

* Ejemplos clásicos:

* La carga eléctrica (positiva o negativa) es cero o un número entero de veces la carga del electrón, como mínimo uno (Millikan 1913).

* Un gas contiene un número entero de moléculas (ley de Avogadro, 1811)

¿Por qué se llama “CUÁNTICA”? II

Estos efectos se podrían llamar “cuánticos clásicos” (no atentan contra las leyes de Newton) pero hay otras cuantificaciones que las leyes de Newton no pueden explicar:

* Una partícula de masa m sujeta por un muelle de constante elástica k ($\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$) no puede tener cualquier energía (ni cero), sino $(n + \frac{1}{2})\hbar\omega$, $n \geq 0$, entero

* También la energía de una onda de frecuencia ω debe ser $n\hbar\omega$, n entero, ≥ 0

* El momento angular de un objeto orbitando alrededor de un centro atractivo tiene que ser $\hbar\sqrt{l(l+1)}$

Siendo $l \geq 0$ un número entero .

La constante universal: $\hbar \equiv \frac{h}{2\pi} = 1.05459 \times 10^{-34} \text{ Js}$ (cte de Planck)

es muy pequeña y la cuantificación no se nota cuando se trata de estudiar el movimiento orbital de un planeta o las oscilaciones de un péndulo de 1 kg (n o l muy grandes), pero es muy importante si hablamos de un electrón o de oscilaciones de un átomo.

2. Hitos del desarrollo de la Física Cuántica

- 1900 M. Planck. Introduce por primera vez la cuantificación como mero recurso matemático, para explicar la radiación del cuerpo negro.
- 1905 A. Einstein introduce el concepto de “fotón” para explicar el efecto fotoeléctrico.
- 1913 N. Bohr introduce sus postulados para explicar los niveles de energía del hidrógeno
- 1923 A. Compton explica el “efecto Compton”
- 1924 L. de Broglie introduce la dualidad onda-corpúsculo
- 1923-27 Davidsson y Germer observan la difracción de electrones por un cristal de Ni
- 1925 W. Heisenberg. “Mecánica de matrices”, Principio de incertidumbre.
- 1926 E. Schrödinger publica la “Mecánica ondulatoria”
- 1926 PAM Dirac unifica las teorías ondulatoria y de matrices→”Mecánica Cuántica”
- 1927 GP. Thomson observa la difracción de electrones por una muestra policristalina de silicio.
- 1928 Dirac. Mecánica Cuántica relativista. Predicción del spin y antipartículas.
- 1940-49 Feynman, Schwinger, Tomonaga, Dyson. “Electrodinámica cuántica”, Renormalización
- 1967 Glashow, Weinberg, Salam. “Teoría electrodébil”.
- 1974 Gross, Wilczek, y Politzer. “Cromodinámica cuántica” (interacción fuerte)

...

...anteayer... muchas teorías...gran unificación , supercuerdas, campo de Higgs...etc todo difícil de comprobar.

ALGUNOS COMENTARIOS

- * La Mecánica Cuántica (MQ) está bien formulada y comprobada desde 1930 por lo menos. Es la incultura científica general la que la considera como algo “misterioso”, “esotérico”, o de “tercer milenio” (lo mismo pasa con el magnetismo).
- * Ciertamente algunos resultados de la MQ contradicen la intuición, pero hoy día no es ni “sólo teoría”, ni una “rareza” que puede ocurrir sólo en condiciones extremas alejadas de la vida normal.
- * Hoy día el conocimiento de la MQ debería ser de cultura general, no sólo para físicos o químicos.
- * Todos tenemos en casa al menos 20 pruebas actuales de la MQ, en dispositivos que funcionan sólo por efectos cuánticos

3. Ejemplos cotidianos de sistemas cuánticos

- 1) **Cualquier equipo electrónico** contiene diodos y transistores que se basan en el comportamiento de los pares electrón-hueco en **semiconductores**.
- 2) **El láser** y cualquier dispositivo que lo use se basa en la emisión estimulada de radiación, efecto puramente cuántico.
- 3) Todos los equipos de **Resonancia Magnética Nuclear**.
- 4) Las **células fotoeléctricas y fotovoltaicas**.
- 5) Las **lámparas de descarga** (de bajo consumo, fluorescentes, de vapor de sodio o mercurio) .
- 6) La **difracción de partículas** (electrones o neutrones) por un sólido cristalino fue una prueba de la teoría ondulatoria en 1927. Hoy es una técnica rutinaria para estudio de los sólidos. Al año se hacen más de 50000 experimentos de difracción de neutrones y ni uno sólo ha dado resultados contrarios a la MQ desde que se descubrió el neutrón.
- 7) Los **detectores ultrasensibles de campo magnético** tipo SQUID (Superconducting **Quantum** Interference Devices)
- 8) La **superconductividad** es una condensación bosónica de pares de Cooper

4. ¿Por qué no estudiar MQ desde el principio, sin dedicar tiempo a la clásica?

- Porque la MQ no es intuitiva: ocurren cosas que uno no se espera.
- Porque la MQ requiere una base matemática mucho mayor (espacios vectoriales, de Hilbert, matrices, etc).
- Porque son muy pocos los problemas que se pueden resolver analíticamente, y menos aún con facilidad. Los métodos numéricos sí resuelven la mayoría de esos casos, pero son otro “tabú”.
- Porque en muchos casos la MCL es una aproximación suficientemente buena (No hay que usar cañones para matar moscas. Es un gran error científico usar algo complicado cuando basta con lo simple)

5. Algunas concepciones clásicas que hay que revisar I

En la concepción clásica de la Física existían fundamentalmente dos tipos de objetos:

Partículas: Una partícula es un **cantidad tan pequeña de materia** que se puede considerar un punto. Se supone que la materia se puede dividir hasta hacerla tan pequeña como queramos y etiquetar la partícula para distinguirla de otra igual.

El **estado de una partícula** está dado por su vector de posición (3 coordenadas) y su velocidad (3 componentes). Es así porque es lo mínimo que se necesita saber para obtener cualquier estado posterior integrando las ecuaciones del movimiento de Newton.

Ondas: Una onda es cualquier perturbación (es decir **cualquier propiedad física que se aparte ligeramente de su valor de equilibrio en cada punto**) que se propaga por el espacio sin pérdida de energía. La **velocidad es una propiedad del medio**.

Su movimiento lo regula la ecuación de ondas de d'Alembert, que viene de la aplicación de las leyes de Newton a las ondas mecánicas en materiales y las de Maxwell a las electromagnéticas. Una **construcción útil es la de Huyghens-Kircchoff**.

La onda ocupa todo el espacio. No tiene sentido hablar de su posición.

Algunas concepciones clásicas que hay que revisar II

Como veremos en este curso, para la MQ no hay gran diferencia entre ondas y partículas (S. Hawking). (O la diferencia es muy sutil: las “verdaderas ondas” son siempre bosones y las “verdaderas partículas” son fermiones o bosones)

Lo que pasa es que unas y otras tienen tanto las propiedades familiares de las ondas (interferencia y difracción) como las que no se espera de las ondas (cuantificación).

Un poco de terminología: “-ón” = cuanto de...

“electrón” = (significa “ámbar” en griego clásico) “mínima cantidad de electricidad”

La mínima cantidad de onda electromagnética se llama “fotón” = “mínima cantidad de luz”

Análogamente la mínima cantidad de onda mecánica se llama “fonón” = “mínima cantidad de sonido”, objeto que es especialmente importante en física del estado sólido.

“protón” = “mínima cantidad del primer elemento” = hidrógeno (“protos” = primero)