

Elementos de mecánica cuántica (Física atómica)

Clave: 2137041; Trimestre: 25-O; Grupo: CO12A

Horas de clase teóricas por semana: 4.5

Horas de clase prácticas por semana: 0

Total de horas por semana: 4.5

Total de horas por trimestre: 49.5

Profesores responsables

- **Adrián Mauricio Escobar Ruíz**
Departamento de Física, UAM-I
Correo: admau@xanum.uam.mx
- **Josué Iván Ríos Cangas**
Departamento de Matemáticas, UAM-I
Correo: jottsmok@xanum.uam.mx

Ayudante: No habrá ayudante asignado.

Objetivos del curso

1. Adquirir los elementos matemáticos y conceptuales básicos para la comprensión de la mecánica cuántica.
2. Aprender el uso de la notación de Dirac en problemas de mecánica cuántica.
3. Desarrollar herramientas para el estudio de estados cuánticos (puros y mixtos) y su dinámica aplicada a sistemas cuánticos de dos niveles (qubits).
4. Adquirir instrumentos teóricos para analizar aplicaciones de los qubits en tecnologías cuánticas.

Metodología de enseñanza-aprendizaje: El curso está orientado a estudiantes de posgrado que no han cursado previamente mecánica cuántica y que buscan una introducción a las tecnologías cuánticas. La asignatura se organiza en cuatro módulos:

1. **Álgebra lineal y espacios de Hilbert:** revisión de herramientas matemáticas fundamentales para establecer la base formal de la teoría.
2. **Formulación axiomática de la mecánica cuántica:** presentación de los postulados y estudio de la notación de Dirac, que simplifica los cálculos en este marco.
3. **Estados puros y mixtos:** análisis de la diferencia conceptual y formal; introducción al operador o matriz de densidad como la representación más general de la teoría.
4. **Evolución temporal de sistemas cuánticos:** estudio de la dinámica de sistemas puros y mixtos, introducción a compuertas unitarias y sistemas abiertos, con aplicaciones al cómputo, la información y la tecnología cuántica.

La enseñanza se llevará a cabo mediante la exposición de los temas por parte de los profesores, con énfasis en los aspectos conceptuales y procedimentales de cada módulo. Estos contenidos serán posteriormente reforzados mediante la resolución de ejercicios periódicos.

Contenido: Puede variar dependiendo de la compatibilidad e intereses de los estudiantes.

Dr. Josué Rios.

1. Elementos de álgebra lineal y espacios de Hilbert. (13 horas)

- 1.1. Espacios vectoriales.
- 1.2. Bases e independencia lineal.
- 1.3. Operadores lineales y matrices.
- 1.4. Matrices de espín de Pauli.
- 1.5. Producto interno y producto tensorial.
- 1.6. La notación de Dirac.
- 1.7. Autovalores y autovectores
- 1.8. Operadores autoadjuntos y operadores unitarios.
- 1.9. Funciones de operadores y descomposición espectral.
- 1.10. Conmutador y anti-conmutador.
- 1.11. Descomposición en valores singulares (SVD) y polar.

Dr. Adrián Escobar.

2. Los postulados de la mecánica cuántica (12.5 horas)

- 2.1. Formulación axiomática de la mecánica cuántica.
- 2.3. El estado del sistema y el espacio de estados.
- 2.4. Sistemas de dos niveles, el espín y la polarización de la luz.
- 2.5. El qubit y la esfera de Bloch.
- 2.6. Observables y cálculo de valores esperados.
- 2.7. La ecuación de Schrödinger y el colapso del estado cuántico.

Dr. Josué Rios.

3. Estados mixtos y el operador de densidad (12 horas)

- 3.1. Sistemas compuestos.
- 3.2. Estados puros y estados mixtos.
- 3.3. Matriz de densidad y sus propiedades.
- 3.4. Teorema de Gleason.
- 3.5. Descomposición de Schmidt.
- 3.6. Traza parcial y matriz de densidad reducida.

Dr. Adrián Escobar.

4. Evolución temporal de sistemas cuánticos. (12 horas)

- 4.2. Evolución temporal de un qubit.
- 4.3. Compuerta cuántica.
- 4.5. Mediciones cuánticas.
- 4.3. Evolución temporal de la matriz de densidad.
- 4.7. Reflexión final del curso.

Evaluación

100% Tareas. 4 tareas: Consisten en la resolución de ejercicios a partir del contenido visto en clase. Las tareas se entregarán al final de cada módulo.

Es importante la asistencia y la puntualidad. La participación regular en el curso será *cualitativamente* considerada para la calificación final.

Calificación y notas adicionales: La equivalencia entre la calificación numérica y la final es la siguiente:

- menor a 6.0 equivale a NA;
- de 6.0 a 7.4 equivale a S;
- de 7.5 a 8.9 equivale a B;
- de 9.0 a 10 equivale a MB.

BIBLIOGRAFÍA.

- Albert, D. Z., Quantum Mechanics and Experience. Harvard University Press, Cambridge, 1994.
- Breuer, H.-P., Petruccione, F. The Theory of Open Quantum Systems. Oxford University Press, Oxford, 2007.
- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B., and Laloë, F., Quantum Mechanics. Volume 1: Basic Concepts, Tools, and Applications. Wiley-Vch, Weinheim, 2019.
- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B., and Laloë, F., Quantum Mechanics. Volume 2: Angular momentum, spin, and approximated methods. Wiley-Vch, Weinheim, 2019.
- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B., and Laloë, F., Quantum Mechanics. Volume 3: Fermions, Bosons, Photons, Correlations and Entanglement. Wiley-Vch, Weinheim, 2019.
- Friedberg, S. H., Insel, A. J., Spence, L. E., Linear Algebra. 5th Edition, Pearson, Londres, 2021.
- Griffiths, D. J., Introduction to quantum mechanics. Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- Hughes, R.I.G., The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics, Harvard University Press, Cambridge, 1992.
- Löwdin, P-O., Linear Algebra for Quantum Theory. John Wiley & Sons, New York. 1998.
- Nielsen, M. A., Chuang, I. L. Quantum Computation and Quantum Information. 10th Anniversary Edition. Cambridge University Press, New York, 2010.
- Peres, A. Quantum Theory: Concepts and Methods, Kluwer Academic Publishers, New York, 2002.
- Preskill, J. Lecture Notes for Physics 229: Quantum Information and Computation. California Institute of Technology (1998). <http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/>
- Sakurai, J. J., Napolitano, J., Modern Quantum Mechanics (2nd. Ed.), Addison-Wesley, San Francisco, 2010.
- Scarani, V., Lynn, C., Yang L. S., Six Quantum Pieces. A First Course in Quantum Physics. World Scientific, Singapore, 2010.
- Vathsan, R. Introduction to Quantum Physics and Information Processing. CRC Press, Boca Raton, 2016.