



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas

Sílabo

CFO603 Mecánica Cuántica I
5 créditos
13.1 Escuela Académico Profesional de Física
16 semanas
4 horas de teoría y 2 de prácticas
Dr. Pablo H. Rivera
Departamento Académico de Física del Estado Sólido

Objetivo

Se analizan los conceptos básicos y contraintuitivos de la mecánica cuántica para caracterizar la dinámica de las partículas en el mundo atómico y subatómico en el régimen no relativístico.

Contenido

1. **El vector de estado** El vector de estado. Principio de superposición. Operadores. Representación matricial. Operadores hermitianos. El experimento original de Stern-Gerlach. *Lecturas:* Cap. 1 de la referencia [1], Cap. 2 y 3 de la referencia [8], Cap. 2 de la referencia [6].
2. **Rotación de estados bases y la mecánica matricial** El comienzo de la mecánica matricial. Operadores de rotación. Operadores de identidad y proyección. Representación matricial de los operadores. Cambiando representaciones. Valores esperados. Polarización de los fotones y espín del fotón. *Lecturas:* Cap. 2 de la referencia [1].
3. **Momento angular** Rotaciones que no conmutan. Conmutación de operadores. Autovalores y autoestados del momento angular. Los elementos de matrices de los operadores ascendentes y descendentes. Relaciones de incertidumbre y el momento angular. El problema del autovalor del espín $1/2$. Un experimento de Stern-Gerlach con partículas de espín 1. *Lecturas:* Cap. 3 de la referencia [1].
4. **Evolución temporal** El operador de evolución. El hamiltoniano y la ecuación de Schrödinger. La dependencia temporal de los valores esperados. Precesión de una partícula de espín $1/2$ en un campo magnético. Resonancia magnética. La molécula de amoníaco y el maser de amoníaco. Relaciones de incertidumbre energía-tiempo. *Lecturas:* Cap. 4 de la referencia [1].
5. **Un sistema de dos partículas de espín $1/2$** Los estados bases para un sistema de dos partículas de espín $1/2$. El desdoblamiento hiperfino del estado fundamental del átomo de hidrógeno. Adición del momento angular para dos partículas de espín $1/2$. El gato de Schrödinger y la paradoja de Einstein-Podolsky-Rosen. Un sistema no-cuántico y las desigualdades de Bell. Los estados enmarañados. *Lectura:* Cap. 5 de la referencia [1]. **Primera evaluación, E_1 .**
6. **Mecánica ondulatoria en una dimensión** Autoestados de posición y la función de onda. El operador de traslación. El generador de traslaciones. El operador de momento en las bases de posición. El espacio de momento. Un paquete de onda gaussiano. La relación de incertidumbre de

- Heisenberg. Propiedades generales de las soluciones a la ecuación de Schrödinger en el espacio de posición. El pozo de potencial infinito, simétrico y asimétrico. La partícula en un caja. Potenciales unidimensionales. Tunelamiento. Matrices de transferencia. Scattering en una dimensión. *Lecturas*: Cap. 6 de la referencia [1], Cap. 11 de la referencia [2], Cap. 4 de la referencia [6] y Cap. 3 de la referencia [7].
- 7. Oscilador armónico unidimensional** La importancia del oscilador armónico. Método de operadores. Un ejemplo: las oscilaciones torsionales de la molécula de etileno. Elementos de matrices de los operadores de creación y aniquilación. Las funciones de onda en el espacio de posición. La energía del punto cero. Límite clásico. Dependencia temporal. Solución de la ecuación de Schrödinger en el espacio de posición. Simetría de inversión y operador de paridad. Estados coherentes. *Lectura*: Cap. 7 de la referencia [1].
- 8. Sistemas en dos dimensiones** El pozo infinito 2D. El oscilador armónico 2D. Fuerzas centrales y momento angular. Momento angular cuántico en 2D. Sistemas cuánticos con simetría circular. Pozo infinito circular. Oscilador armónico isotrópico. Caos clásico y cuántico. *Lectura*: Cap. 16 de la referencia [5]
- 9. Integrales de camino de Feynman** El experimento de la multirendija. La amplitud de transición. La amplitud de transición para intervalos cortos de tiempo. La integral de camino. La integral de camino para partículas libres. El camino de la mínima acción. Interferencia cuántica debido a la gravedad. *Lectura*: cap. 8 de la referencia [1]. **Segunda evaluación**, E_2 .
- 10. Evaluación Tercera evaluación**, E_3 .

Referencias

- [1] John S. Townsend; *A Modern Approach to Quantum Mechanics*; University Science Books, Sausalito, California (2012).
- [2] David A. B. Miller; *Quantum Mechanics for Scientists and Engineers*; Cambridge University Press, Cambridge (2008).
- [3] Anthony Levi; *Applied Quantum Mechanics: For engineers and physicists*; Cambridge University Press, Cambridge (2003).
- [4] Stephen Gasiorowicz; *Quantum Physics*; second edition, John Wiley & Sons, Inc, New York (1996).
- [5] Quantum Mechanics: Classical Results, Modern Systems and Visualized Examples; Richard W. Robnett; Oxford University Press, New York (1997); Second edition, Oxford University Press, New York (2006).
- [6] Nouredine Zettili; *Quantum Mechanics. Concepts and Applications*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester (2001).
- [7] Franz Schwabl; *Quantum Mechanics*, cuarta edición, Springer-Verlag, Berlín (2007).
- [8] Gary E. Bowman, *Essential Quantum Mechanics*, Oxford University Press, New York (2008).

Sumilla

Fundamentación Este curso es el primero que corresponde al tema más importante en la formación básica de un científico en el área de la física, la mecánica cuántica. Como las evidencias experimentales del mundo nanoscópico contradicen el sentido común desarrollado a través de la observación del mundo macroscópico desde el nacimiento del estudiante, es necesario desarrollar en el alumno una visión más pragmática respecto a los fenómenos de la naturaleza a escalas muy pequeñas. Cultivando su curiosidad, honestidad, incredulidad e integridad respecto a los fenómenos del mundo microscópico sin los prejuicios adquiridos en el mundo macroscópico. Por ello, mostramos de primera mano los nuevos horizontes que actualmente está enfrentando la física y entrenamos su capacidad de resolver nuevos problemas con nuevas ideas en una retroalimentación continua.

Metodología Está basado en el método socrático. Se dan las lecturas desde el comienzo del curso (ver detalle del contenido), las notas y los capítulos de las referencias se encuentran en el sección virtual del curso, <https://classroom.google.com/u/0/c/NDA20Tc3Njk1NTAx>, código de la clase `ihzwpxr`. Se discuten en clase los detalles de los cálculos más importantes y se dejan como problemas los detalles complementarios. Las discusiones en las clases están basados en material audiovisual preparado por el profesor cuyas copias se encuentran en el curso virtual. Se discuten los problemas más relevantes usando los *notebooks* del Jupyter usando el Python y Julia.

Contenido El curso comprende los temas: El vector de estado cuántico, los operadores y los observables, los conmutadores y el momento angular. La evolución temporal de los sistemas cuánticos, los sistemas de partículas de espín 1/2, sistemas unidimensionales, el oscilador armónico. Los estados coherentes, los sistemas bidimensionales y las integrales de camino de Feynman.

Competencias a lograr

Liderazgo El trabajo concienzudo y la dedicación exclusiva al curso traerá para el estudiante una capacidad de visulizar la nueva problemática de la ciencia en los años venideros y la capacidad de tomar nuevos hitos en la solución de nuevos problemas.

Trabajo en equipo El trabajo concienzudo y la dedicación exclusiva del estudiante le permite al estudiante intercambiar ideas continuamente con sus compañeros y con el profesor. Este intercambio es vital porque cultiva y fortalece los vínculos de cooperación existentes en la comunidad de físicos a nivel mundial.

Responsabilidad social La formación del estudiante basado en el trabajo duro y concienzudo al curso trae como correlato un mejor conocimiento y mayor respeto hacia la naturaleza. Conocer los procesos a escalas muy pequeñas de la naturaleza genera una admiración por la misma que se proyecta en un mayor compromiso con el cuidado y el respeto de la naturaleza y la especie humana que la habita.

Ética El curso pretende continuar cultivando las cuatro características básicas de un científico: la honestidad, la incredulidad, el coraje y la integridad intelectual.

Evaluación En el semestre se realizan tres evaluaciones, la primera E_1 abarca la primera parte del curso y la segunda E_2 corresponde a la segunda parte del curso. La tercera evaluación E_3 abarca todo el contenido del curso y es opcional para realizarlo para aquellos alumnos que han participado y desaprobado en promedio de las dos primeras evaluaciones. Las prácticas resueltas que presentan los alumnos se califica con P . El promedio del curso es obtenido por la ecuación

$$\bar{E} = \frac{1}{3} \left[\text{Sum}(E_1, E_2, E_3) - \text{Min}(E_1, E_2, E_3) + P \right].$$