

Baccalauréat en physique

MÉCANIQUE QUANTIQUE I

Cours		Enseignant	
Titre :	Mécanique quantique I	Professeur :	David Poulin
Sigle :	PHQ 334	Auxiliaire :	Maxime Tremblay
Crédits :	3		
Travail personnel :	5 heures/sem.		

Place du cours dans le programme		Responsable du cours	
Type de cours :	obligatoire	Nom :	David Poulin
Cours préalables :	MAT 193 et PHQ 134 et (PHQ 210 ou PHQ 214)	Bureau :	D3-2044
		Courriel :	david.poulin@usherbrooke.ca

Horaire		Local	
Mardi :	15h30 à 17h20		D3-2033
Jeudi :	8h30 à 10h20		D3-2033
Disponibilités :	Sur demande par courriel		
Séance d'exercices :	Deuxième heure mardi		

1 Mise en contexte

C'est au début du 20^e siècle, alors que certains scientifiques pensaient avoir atteint une compréhension totale de la nature, que commencent à apparaître un ensemble de résultats expérimentaux qui viennent ébranler la belle cohérence des lois de la physique classique. En effet, jusqu'à cette période, les théories classiques comme la mécanique et l'électromagnétisme expliquaient très bien bon nombre de phénomènes physiques. La première mise en échec de la théorie classique est venue avec la théorie de la relativité d'Einstein. Ensuite, une série d'expériences sur les atomes et le noyau atomique ont mis en lumière l'incapacité des théories classiques à rendre compte des phénomènes se produisant à cette échelle microscopique.

Le passage de la mécanique classique à la mécanique quantique a été effectué dans le cours PHQ 134. L'objectif du cours PHQ 334 est d'approfondir vos connaissances de la mécanique quantique. Historiquement, la fonction d'onde $\psi(x)$, une fonction complexe des coordonnées spatiales, joua un rôle central dans le développement de la théorie quantique. Elle décrit l'amplitude de probabilité pour la position d'une particule. Dans ce cours, nous introduirons le langage moderne de la mécanique quantique, celui de la notation de Dirac, qui généralise en quelque sorte la notion de fonction d'onde afin de décrire un système quantique quelconque. Ce passage sera basé sur les systèmes étudiés dans le cours PHQ 134.

À l'aide de ce formalisme, nous introduirons les postulats de la mécanique quantique, qui donneront un cadre mathématique complet afin de décrire tout système physique. Nous appliquerons ces postulats à des systèmes simples, tels l'oscillateur harmonique et les systèmes à deux niveaux. Nous traiterons d'abord les systèmes comportant un nombre discret d'états pour ensuite généraliser aux variables continues et enfin établir un lien avec la fonction d'onde $\psi(x)$. Nous étudierons quelques aspects fondamentaux de la mécanique quantique tel le principe d'incertitude.

Le formalisme de Dirac utilisant l'espace des états sera utilisé dans le cours suivant : Mécanique quantique II (PHQ 430). Un troisième cours (optionnel), Mécanique quantique III (PHQ 635) traitera des problèmes de diffusion et des méthodes perturbatives nécessaires pour résoudre l'équation de Schrödinger. Ces deux derniers cours sont nécessairement à caractère plus formel et mathématique.

2 Objectifs

Savoir résoudre l'équation de Schrödinger pour des potentiels simples à une dimension. Maîtriser le formalisme mathématique ainsi que l'application des postulats de la mécanique quantique.

3 Contenu

La matière est distribuée sur 13 semaines de façon approximative tel qu'indiqué au tableau suivant. La page web Moodle du cours présente un plan de la matière plus détaillé.

Temps alloué	Sujet
1 semaine	Retour sur le puits infini vu en PHQ 134 (base discrète de solutions).
3 semaines	Formalisme mathématique de Dirac (ket, bra, produit scalaire, opérateur hermitique, opérateur unitaire, commutateur, base d'états, équations aux valeurs propres, projecteurs, fonctions d'opérateurs).
1 semaines	Postulats de la mécanique quantique (illustrés avec le puits infini).
2 semaines	Système à 2 niveaux (sphère de Poincaré, spin dans un champ magnétique longitudinal & transverse).
2 semaines	Opérateurs X et P (commutateur, généralisation du formalisme au cas continue, base de fonctions, transformée de Fourier, densité de probabilité).
2 semaine	Oscillateur harmonique (Hamiltonien, opérateur d'échelle, états propres, états cohérents).
2 semaines	Concepts fondamentaux de la mécanique quantique (principe d'incertitude et applications, étalement de la fonction d'onde, conservation de l'énergie, équation d'Heisenberg, ECOC).

4 Méthodes pédagogiques

1. Exposés magistraux et échanges avec la classe (3 heures par semaine) ;
2. Exercices dirigés (1 heure par semaine).
3. Exercices à la maison. Les devoirs doivent être réalisés en équipes de deux. La collaboration, incluant avec d'autres équipes, doit être intelligente et non aveugle. Une présentation et un français de qualité sont requis.

5 Évaluation

- Un examen partiel de 110 minutes, comptant pour 30% de la note finale.
- Un examen final de trois heures, comptant pour 45% de la note finale.
- Les devoirs compteront pour 25% de la note finale. Ils doivent être remis en équipe de deux. Une partie seulement des exercices, non divulguée à l'avance, sera corrigée.

Les dates des examens seront fixées par la faculté. Les devoirs sont réalisés en équipes de deux personnes, une seule copie doit être remise par équipe. Les dates de remise des devoirs seront fixées par le professeur durant le cours. Les devoirs doivent être remis au début du cours spécifié et une pénalité de 10% par jour s'appliquera aux devoirs remis en retard. La note 0 sera attribuée à tout devoir remis suite à la présentation de la solution.

Note : En cas de circonstances extraordinaires au-delà du contrôle de l'Université et sur décision de celle-ci, l'évaluation des apprentissages et le calendrier des séances dans ce cours sont sujets à changement.

6 Matériel didactique

Les notes de cours des Profs. René Côté et Alexandre Blais sont accessibles à partir de la page Moodle du cours. Aucun manuel n'est obligatoire mais les références suivantes sont recommandées afin d'approfondir la matière vue en classe.

Référence suggérée :

1. Mécanique Quantique (Tome I), C. Cohen-Tannoudji, B. Diu et F. Laloe, Ed. Hermann (1973).
2. PHQ430 - Mécanique Quantique II, Alexandre Blais, Université de Sherbrooke,
<http://dl.dropbox.com/u/2644574/Web/Enseignement/MQII/MQII.pdf>
3. PHQ330 - Mécanique Quantique I, René Côté, Université de Sherbrooke,

Références complémentaires :

1. R.M. Eisberg et R. Resnick, Quantum physics of atoms, molecules, solids, nuclei, and particles, John Wiley & Sons (1974)
2. D. Bohm, Quantum theory, Dover publications, New York, 1989. [QC 174.12 B64 1951 S].
3. D. J. Griffiths, Introduction to Quantum mechanics, Prentice Hall, 1995.
4. H. Kroemer, Quantum mechanics, Prentice Hall, 1994.
5. R. L. Liboff, Introductory quantum mechanics, Addison Wesley, 1998. [QC 174.12 L52 1992 S]
6. A. Messiah, Mécanique quantique, vol. 1, Dunod, 1959. [QC 174.12 M38 1974 S]
7. M. Alonso et E. J. Finn, Physics, Addison-Wesley, 1992.
8. E. Hecht, Physics Calculus, Brooks-Cole, 2000, [QC 21.2 H43 2000].
9. H. D. Young, University Physics, Addison-Wesley, 1992. [QC 23 S43 1992].
10. D. J. Griffiths, Introduction to quantum mechanics, Prentice-Hall (1995).
11. J.-L. Basdevant et J. Dalibard, Mécanique quantique, Les Éditions de l'École Polytechnique (2004).
12. R. Shankar, Quantum Mechanics, seconde édition, Plenum press (1997).
13. R. L. Liboff, Introductory quantum mechanics, Addison-Wesley (2002).
14. W. Greiner, Quantum Mechanics, an introduction, Springer (1994).

15. J. J. Sakurai, *Modern Quantum Mechanics*, Addison-Wesley (1985).
16. L. E. Ballentine, *Quantum Mechanics*, Prentice-Hall (1990).
17. R. Feynman and Sands, *Lectures Notes on Physics*, Addison-Wesley (1966).