

Baccalauréat en physique

MÉCANIQUE QUANTIQUE I

Cours		Professeurs	
Titre :	Mécanique quantique I	Volet I :	David Poulin
Sigle :	PHQ 330	Volet II :	Alexandre Blais
Crédits :	3	Auxiliaire :	Benjamin Bourassa
Travail personnel :	5 heures/sem.		

Place du cours dans le programme		Responsable du cours	
Type de cours :	obligatoire	Nom :	David Poulin
Cours préalables :	PHQ 210	Bureau :	D3-2044
		Courriel :	david.poulin@usherbrooke.ca

Horaire		Local
Lundi :	13h30 à 15h20	D3-2030
Jeudi :	10h30 à 12h20	D3-2030
Disponibilités :	Sur demande par courriel	
Séance d'exercices :	Deuxième heure jeudi	

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.

Ce cours de mécanique quantique a pour but de vous faire franchir le passage du classique au quantique. Les difficultés pour effectuer ce passage seront de deux ordres différents. En premier lieu, nous ferons face à des difficultés d'ordre conceptuel. Il nous faudra passer d'une description en termes de position et de vitesse des particules à une description en termes de probabilité de présence d'une particule. Ensuite, le déterminisme absolu de la mécanique classique sera remplacé par un déterminisme de tendance. Nous ferons ce passage graduellement, à la façon du chercheur qui effectue chaque nouvelle expérience, en tire des conclusions et construit peu à peu un nouvel édifice formel qui permet l'explication des nouveaux résultats tout en englobant les anciens.

Nous arriverons ainsi à une toute nouvelle description formelle : la fonction d'onde. Il s'agit du deuxième niveau de difficulté qui sera à la fois d'ordre conceptuel, mais surtout d'ordre formel. En effet, nous étudierons un nouveau type de langage, celui de Schrödinger et introduirons un formalisme mathématique utilisant abondamment l'algèbre linéaire. Dans ce langage, nous résoudrons un ensemble de problèmes physiques simples pour lesquels il existe des solutions analytiques abordables comme l'oscillateur harmonique ou

l'atome d'hydrogène. À chaque occasion, nous tirerons de ces solutions des connaissances nouvelles qui approfondiront notre compréhension du monde quantique.

Dans ce cours, nous insisterons beaucoup sur le sens physique des concepts de la nouvelle théorie quantique ainsi que sur les différences entre théories classique et quantique. Nous essayerons de dégager la façon dont la mécanique quantique décrit le réel et ce qu'elle nous permet ou non de dire sur la réalité physique. Nous expliquerons certaines des découvertes récentes sur la théorie de la mesure en mécanique quantique et tenterons de voir si elles confirment ou infirment l'interprétation orthodoxe (interprétation de Copenhague) de la théorie quantique. Nous aborderons aussi le formalisme mathématique de la théorie en nous concentrant surtout sur l'espace des fonctions d'ondes. Le formalisme de Dirac utilisant l'espace des états sera abordé 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. Le présent cours est donc une occasion unique de réfléchir sur le sens des concepts de la mécanique quantique.

2 Objectifs

S'initier à la description quantique des phénomènes physiques à l'échelle microscopique et se familiariser avec les concepts propres à cette description.

Effets photoélectriques et Compton, dualité onde-corpuscule, onde de probabilité, fonction d'onde, paquet d'ondes, principe d'incertitude, quantification de Bohr-Sommerfeld. équation de Schrödinger, puits de potentiel. Formalisme de Dirac : bases, kets, bras, représentations, valeurs et vecteurs propres. Systèmes à deux niveaux, spin, oscillateur harmonique, opérateurs de création et d'annihilation, polynômes d'Hermite.

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
2 semaines	Comportement corpusculaire de la radiation électromagnétique
2 semaines	Comportement ondulatoire de la matière
2 semaine	Concepts fondamentaux de la mécanique quantique
2 semaines	Équation de Schrödinger
2 semaines	Potentiels carrés en une dimension et oscillateur harmonique
2 semaine	Formalisme mathématique de la mécanique quantique

4 Méthodes pédagogiques

1. Exposés magistraux et échanges avec la classe (3 heures par semaine) ;
2. Exercices dirigés (1 heure par semaine).

5 Évaluation

- Devoirs : 25%
- Examen intratrimestriel : 30%
- Examen final : 45%

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 du Prof. René Côté 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. R.M. Eisberg et R. Resnick, Quantum physics of atoms, molecules, solids, nuclei, and particles, John Wiley & Sons (1974)

Références complémentaires :

1. Mécanique Quantique (Tome I), C. Cohen-Tannoudji, B. Diu et F. Laloe, Ed. Hermann (1973).
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).