

Baccalauréat et maîtrise en physique

PHOTONIQUE ET OPTIQUE QUANTIQUE

| Cours | | Professeur | |
|--------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Titre : | Photonique et optique quantique | Nom : | Mathieu Juan |
| Sigles : | PHQ 577 & PHY 777 | Bureau : | D2-1077 |
| Crédits : | 3 | Tél : | 821-8000 poste 65391 |
| | | Courriel : | mathieu.juan@usherbrooke.ca |

Place du cours dans le programme

| | |
|--------------------|--------------------|
| Type de cours : | Optionnel |
| Cours préalables : | PHQ 324 PHQ 334 |

| Horaire | Local |
|----------------------|---|
| Mardi : | 10h30 12h20 D3-2032 |
| Mercredi : | 13h30 15h20 D3-2032 |
| Scéance d'exercice : | Deuxième heure du Mercredi (sujet à changement) |

1 Mise en contexte

La notion d'optique quantique fait en général référence aux effets pour lesquels il est nécessaire de décrire la lumière en utilisant un quanta d'énergie : le photon. Et, par extension, la photonique quantique regroupe les applications technologiques reposant sur l'utilisation de ces photons en tant que quantas. Un certain nombre d'observations historiques sont souvent expliquées en évoquant le photon, comme la force de pression de radiation ou encore l'effet photo-électrique, et constitue des exemples d'optique quantique. Toutefois, ici l'aspect quantique se limite bien souvent à la quantisation de la lumière. L'optique/photonique quantique *moderne*, elle, est plus axée sur l'étude d'effets reposants sur des états complexes qui ne peuvent pas être décrits à l'aide de la mécanique classique par exemple les états superposés ou l'intrication. Aussi les exemples notables de l'optique quantique sont fascinants, avec par exemple la téléportation quantique entre deux bits quantiques séparés spatialement ou encore la production de chats de Schrödinger.

Au-delà de l'intérêt académique pour l'optique quantique, la possibilité de contrôler l'état quantique des photons ouvre d'importantes avenues technologiques. Notamment, les états quantiques permettent un encodage dense de l'information ainsi que la mise en place de canaux de communication sécurisés. Dans un contexte un peu différent, l'optique quantique offre aussi la possibilité de contrôler des systèmes massifs (*e.g.* résonateurs mécaniques), et ainsi de préparer des états mécaniques complexes. Plusieurs éléments clés entrent en jeu pour toutes ces applications : la possibilité de générer des photons uniques (de façon déterministe), le contrôle de l'état quantique des photons et comment les coupler avec un autre système. C'est sur ces aspects importants que le cours de photonique et optique quantique mettra l'accent.

2 Objectifs

Comprendre les différents aspects de l'interaction lumière/matière, tels que la notion de densité d'états photoniques et l'action mécanique de la lumière, ainsi que le contrôle et la mesure de systèmes quantiques (atomes et qubits supraconducteurs). Se familiariser avec divers éléments d'optique avancée, en particulier la photonique et certains effets non-linéaires, et leurs applications dans le contexte de l'optique quantique moderne avec notamment l'optomécanique quantique.

3 Contenu du cours

La matière est distribuée sur 13 semaines au cours desquelles les chapitres suivants seront couverts :

- Chapitre 1 : Physique des LASERs et coefficients d'Einstein
- Chapitre 2 : Émetteurs à deux niveaux : modèles classique et semi-classique
- Chapitre 3 : Rayonnement et effets collectifs entre atomes
- Chapitre 4 : Densité d'états photoniques locaux et photonique
- Chapitre 5 : Sources de photon *quantiques*
- Chapitre 6 : Effets mécaniques de la lumière
- Chapitre 7 : Optomécanique 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

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. Pour les Étudiants de PHY-777, le projet final consistera en un rapport et exposé oral portant sur un sujet de pointe en optique et photonique quantique. Les détails de ce projet seront discutés en classe et sont sujets à changement.

PHQ 577

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

PHY 777

- Devoirs : 20%
- Examen intratrimetriel : 25%
- Examen final : 35%
- Projet final : 20%

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 de ce cours sont sujets à changement.

5.1 Examens partiel et final

Les examens écrits permettent de vérifier l'acquisition d'un certain nombre de concepts physiques et d'aptitudes, telle que la résolution de problèmes par des développements mathématiques. Comme il ne s'agit pas de vérifier votre capacité à *apprendre par coeur*, vous aurez droit à vos notes de cours.

5.2 Devoirs

Les devoirs servent principalement à vérifier la progression des étudiants conformément aux attentes du professeur. Ils pourront être remis à raison d'une copie par équipe de deux ou trois étudiants. Bien sûr, il est dans l'intérêt de chacun de prendre part activement à la rédaction du devoir.

5.3 Règles générales

Les devoirs doivent être présentés sous une forme agréable à lire : soignez votre écriture ou bien utilisez un logiciel de traitement de texte. Cela s'applique aussi aux examens, qui sont bien sûr rédigés à la main.

Les dates de remises doivent être impérativement respectées. Un travail ne sera pas corrigé s'il est soumis après la publication du solutionnaire.

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

Aucun manuel n'est obligatoire, mais les références suivantes sont utiles afin d'approfondir la matière vue en classe.

1. G. GRYNBERG, A. ASPECT ET C. FABRE, *Introduction to Quantum Optics*, Cambridge University Press, 2010.
2. D. F. WALLS ET G. J. MILLBURN, *Quantum Optics*, Springer, 2008.
3. D. STECK, *Quantum optics notes*
<http://atomoptics-nas.uoregon.edu/dsteck/teaching/quantum-optics/>