

Licence Physique

Introduction à la physique quantique

Informations

Composante : Faculté des Sciences

Responsables

Jean-marc THEMLIN (responsable UE site d'Aix-Montperrain)
Gaetan HAGEL (responsable UE site de Saint Charles)

Langue(s) d'enseignement

Français

Contenu

Première introduction aux phénomènes quantiques, ce cours aborde ces deux aspects (expérimental et théorique) d'une manière essentiellement phénoménologique et heuristique (littéralement "art d'inventer, de faire des découvertes, en résolvant des problèmes à partir de connaissances incomplètes"). Il a pour objectifs principaux d'amener les apprenants à découvrir les limites de la description classique des objets physiques en termes d'ondes ou de particules, à apprécier la nécessité d'une nouvelle description des phénomènes du domaine quantique, et à découvrir quelques-uns des concepts et des outils qui permettent de décrire les phénomènes quantiques, d'interpréter et de prédire les résultats de mesures.

La première partie du cours, partant de la description de l'expérience de Young (interférences à deux sources) ou d'expériences historiques (diffusion des particules α , et de l'effet photoélectrique,...) introduit la nécessité d'une approche dépassant le cadre classique en termes de champs (d'ondes) et de particules.

Les limites du domaine quantique sont qualifiées en termes d'action et du quantum d'action h . Les "quants", objets physiques spécifiques qui manifestent dans certaines situations soit un comportement de type corpusculaire, soit de type ondulatoire, sont décrits par les relations fondatrices (Planck-Einstein et de Broglie) de la "mécanique ondulatoire".

A partir de l'extension spectrale du paquet d'onde classique, on introduit les trois inégalités de Heisenberg (énergie-temps, quantité de mouvement-position, moment angulaire-angle) et les valeurs et vecteurs propres d'un système quantique.

En second lieu, le cours introduit les principaux outils, concepts et langage formel spécifique de la mécanique quantique (MQ) dans le cadre simplifié d'un système quantique à deux niveaux.

Du point de vue didactique, ce cours s'inspire des méthodes récentes d'introduction au domaine, qui abordent la mécanique quantique (MQ) à partir des vecteurs d'états ("Spin-first" paradigm), introduits dans le cadre simplifié d'un système quantique à deux niveaux (spin-1/2 ou polarisation d'un photon unique). En effet, la description quantique de la polarisation montre de fortes analogies avec la description classique, ce qui facilite une première approche des outils formels de la MQ comme les vecteurs d'état, les opérateurs, les observables,...

En optique classique, la polarisation de la lumière est décrite en termes de vecteurs (à coordonnées complexes dans le cas d'une polarisation circulaire), tandis qu'à l'aide de matrices (de Jones), on décrit mathématiquement comment des objets tels que les polariseurs ou les lames modifient la polarisation. En MQ, les vecteurs d'états (kets) décrivant la polarisation de photons individuels existent dans un espace de Hilbert bidimensionnel, où les coordonnées sont en général complexes, et les objets mathématiques qui transforment un vecteur d'état en un autre sont des matrices appelées "opérateurs".

Cette analogie permet d'introduire "en douceur" les concepts de vecteurs d'état dans le cadre simplifié d'un système quantique à 2D, ainsi que les opérateurs, le processus d'une mesure physique sur un système quantique et son interprétation "probabiliste", en ayant posé les premiers postulats de la MQ.

Fort de ces concepts, le cours aborde pour terminer quelques expériences récentes utilisant des photons (uniques ou intriqués), les systèmes de spin-1/2, l'évolution temporelle et les systèmes à variable continue, pour lesquels la fonction d'onde est finalement introduite.

Compétences à acquérir

- Identifier quand on doit avoir recours à une description quantique plutôt que classique pour décrire et modéliser un système physique.
- Expliquer des faits expérimentaux montrant que le photon n'est ni une particule, ni une onde ; en proposer une définition personnelle.
- Utiliser les inégalités de Heisenberg pour évaluer l'énergie de l'état fondamental de différents systèmes confinés (oscillateur harmonique, atome, noyau atomique,...).
- Comprendre le principe de certaines expériences d'optique quantique moderne basées sur les notions d'intrication et d'indiscernabilité.
- Utiliser certains outils formels et concepts de la MQ (vecteurs d'états, opérateurs, observables, densité de probabilité, mesure).
- Développer un sens critique sur ce que la MQ nous dit du monde microscopique, par exemple le modèle de Bohr, le spin des particules,...
- Comprendre le principe d'expériences avec des sources à photons intriqués et à photon unique, du type de celles qui pourront être réalisées dans des cours ou projets de L3 ou de master.

Modalités d'organisation

A travers les TD et activités en CM, ce cours privilégie autant que possible l'engagement interactif des étudiants pour favoriser l'appropriation active du contenu.

Ce cours de 30h (3 ECTS) au S4 comprend 16 heures de CM et 14 heures de TD. On propose un découpage en trois parties (quinze séances) comprenant un exposé magistral (CM) suivi d'exercices (TD) associés au contenu du CM :

1. Le domaine quantique
2. Outils & Concepts de la Mécanique Quantique
3. Explorations du Domaine Quantique

Bibliographie, lectures recommandées

1. J.-M. Lévy-Leblond & F. Balibar, Quantique - Rudiments, CNRS & Interéditions, 1984.
2. M. Beck, Quantum Mechanics - Theory & Experiments, Oxford University Press, 2012.
3. D.H. McIntyre, Quantum Mechanics, Pearson Education, 2012.
4. J.-L. Basdevant, Quinze leçons de Mécanique quantique, de Boeck Supérieur, 2019.
5. L. Marchildon, Mécanique Quantique, de Boeck Université, 2000.
6. J.S. Townsend, A Modern Approach to Quantum Mechanics, 2nd ed., University Science Books, 2012.

Pré-requis obligatoires

Vecteurs, Nombres complexes, Optique géométrique, Phénomènes ondulatoires.

Prérequis recommandés

Ondes électromagnétiques (de base), Optique ondulatoire, Séries de Fourier.

VOLUME HORAIRE

- Volume total: 30 heures
- Cours magistraux: 16 heures
- Travaux dirigés: 14 heures

Codes Apogée

- SPH4U18A [ELP]

- SPH4U18C [ELP]

Pour plus d'informations

[Aller sur le site de l'offre de formation...](#)



Dernière modification le 13/06/2024