

# Quantum mechanics II

## Titulaires

Jean-Marc SPARENBERG (Coordonnateur) et Nicolas CERF

## Mnémonique du cours

PHYS-H401

## Crédits ECTS

5 crédits

## Langue(s) d'enseignement

Anglais

## Période du cours

Premier quadrimestre

## Campus

Solbosch

## Contenu du cours

Éléments de théorie des collisions: collisions élastiques, sections efficaces, états stationnaires et amplitude de diffusion, développement et approximation de Born (équation intégrale de la diffusion, fonction de Green d'une particule libre), méthode des déphasages (ondes partielles, résonances, théorème de Levinson).

Symétries et invariances: groupes discrets et continus, générateurs, représentations réductibles et irréductibles, théorème de Noether, parité (parité intrinsèque d'une particule, violation de la parité par l'interaction faible), translations (générateur, séparation mouvement centre de masse) et rotations (générateur, angles d'Euler, grandes et petites matrices de rotations de Wigner, opérateurs tensoriels irréductibles, théorème de Wigner-Eckart et corollaires, coefficients  $6j$ ,  $9j$  et de Racah).

Équations d'ondes relativistes: éléments de relativité restreinte (espace-temps de Minkowski et quadrivecteurs, groupes de Lorentz et Poincaré, générateurs, électromagnétisme, hamiltonien d'une particule chargée), équation de Klein-Gordon (invariance de jauge, limite non relativiste, antimatière, mer de Dirac), équation de Dirac (matrices et spineurs de Dirac, formulations covariante et hamiltonienne, symétries et invariances, limite non relativiste, grandes et petites composantes, Zitterbewegung, paradoxe de Klein).

Opérateur densité: état pur, mélange statistique, équation de Liouville quantique, distribution de Wigner, exemples physiques (expérience de Stern-Gerlach, ensemble canonique).

Systèmes de particules identiques: indiscernabilité, opérateurs d'échange, groupe symétrique, principe de Pauli, gaz de Fermi, condensats de Bose-Einstein.

Seconde quantification: espace de Fock, opérateurs création/annihilation/nombre, état à  $N$  fermions/bosons.

Méthodes approchées pour le problème à  $N$  corps: champ moyen (Hartree-Fock), fonctionnelle densité (Thomas-Fermi).

## Objectifs (et/ou acquis d'apprentissages spécifiques)

Dans l'étude d'un système microscopique générique (noyau, atome, molécule, solide...), dégager les effets physiques dominants (particules constituant le système, interactions à l'œuvre...) et en proposer une modélisation adéquate. En particulier, identifier les différents ordres de grandeur concernés et les principes physiques menant à des simplifications efficaces dans l'élaboration de ce modèle (traitement relativiste ou pas, identification des symétries géométriques, exploitation de l'indiscernabilité des particules...). Dans le cas où le modèle ainsi établi peut être résolu analytiquement ou avec des capacités numériques restreintes, calculer les propriétés du système étudié (spectre, probabilités de transition, sections efficaces...) et les comparer aux mesures expérimentales.

## Méthodes d'enseignement et activités d'apprentissages

Cours ex cathedra sur base de dispositifs et/ou du tableau (36 heures).

Exercices sur papier avec utilisation occasionnelle d'une calculatrice ou d'un ordinateur, à préparer et à terminer chez soi (12 fois 2 heures).

## Contribution au profil d'enseignement

Compléter les connaissances de physique quantique nécessaires à l'étude approfondie des disciplines de la physique fondamentale et de la physique appliquée basées sur ce formalisme (physique nucléaire, atomique et moléculaire, physique du solide, optique quantique, information quantique...).

Aborder des connaissances plus avancées de physique quantique en vue de pouvoir envisager un mémoire orienté vers la recherche en physique fondamentale théorique (physique des particules et des interactions fondamentales, cosmologie, théorie quantique des champs, relativité générale...).

## Références, bibliographie et lectures recommandées

- > C. Cohen-Tannoudji, B. Diu et F. Laloë, Mécanique quantique I, II (Hermann, 1977) et III (EDP Sciences, 2019)
- > J.-L. Basdevant et J. Dalibard, Mécanique Quantique (École Polytechnique, 2008)
- > F. Schwabl, Advanced Quantum Mechanics (Springer, 2008)
- > W. Greiner, Relativistic quantum mechanics. Wave equations (Springer, 2000)
- > E. Lipparini, Modern Many-Particle Physics (World Scientific 2008)
- > R.G. Parr and W. Yang, Density-Functional Theory of Atoms and Molecules (Oxford University, 1989)

## Support(s) de cours

Podcast, Syllabus et Université virtuelle

## Autres renseignements

### Lieu(x) d'enseignement

Solbosch

### Contact(s)

jmspar@ulb.ac.be ncerf@ulb.ac.be

## Méthode(s) d'évaluation

Examen écrit et Examen oral

### Examen oral

Question ouverte à réponse courte et Question ouverte à développement long

Examen avec préparation

### Méthode(s) d'évaluation (complément)

Première session (janvier):

- Examen oral sur la partie du Prof. Cerf
- Examen écrit sur la partie du Prof. Sparenberg
- Participation aux exercices: préparation, présence, implication, clôture

Seconde session:

- Examen oral sur la partie du Prof. Cerf
- Examen écrit sur la partie du Prof. Sparenberg
- Participation aux exercices: préparation, présence, implication, clôture

### Construction de la note (en ce compris, la pondération des notes partielles)

Note globale (sur 20 points):

- 2/3 sur la partie du Prof. Sparenberg (collisions, symétries, équations d'ondes relativistes)
- 1/3 sur la partie du Prof. Cerf (opérateur densité, problème à N corps, seconde quantification et méthodes approchées)

Participation aux exercices: entre 0 et 1.5 points ajoutés à la note de l'examen.

### Langue(s) d'évaluation principale(s)

Anglais

## Programmes

### Programmes proposant ce cours à l'école polytechnique de Bruxelles

MA-IRPH | Master : ingénieur civil physicien | finalité Spécialisée/ bloc 1