

# 1SL3000 - Physique Quantique et statistique

Responsables : **Hichem DAMMAK**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT PHYSIQUE**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS , FRANCAIS**

Type de cours : **Cours hors séquence**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30**

Année académique : **2024-2025**

Niveau avancé : **non**

## Présentation, objectifs généraux du cours :

L'ambition de ce cours est de construire les bases de la physique du 21<sup>ème</sup> siècle telles qu'elles ont été formulées au début du 20<sup>ème</sup> (la relativité mise à part). Ce faisant, il s'agit de montrer comment les modèles se

sont élaborés, en partant des résultats expérimentaux, en tentant d'utiliser les outils de l'ancienne théorie puis en reconstruisant de manière axiomatique une nouvelle théorie. Ceci est fait dans un premier temps sur la

mécanique et l'électromagnétisme conduisant alors à la théorie quantique puis, dans un second temps, sur la thermodynamique, aboutissant à la physique statistique. L'accent est à chaque fois mis sur les applications où l'impact des notions introduites sur les domaines où l'ingénieur (ou, simplement, le citoyen) est présent.

In fine, le but est de donner une certaine familiarité aux élèves ingénieurs avec les apports conceptuels de la physique sur lesquels s'élaborent de nombreuses innovations actuelles. Ils en auront le vocabulaire, en maîtriseront quelques démarches essentielles pour une mise en oeuvre éclairée et connaîtront les limites de son application.

## Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SG3 et ST4

## Prérequis :

Equations différentielles, algèbre linéaire, espaces vectoriels, thermodynamique, électromagnétisme.

## Plan détaillé du cours (contenu) :

En plus des séances de présences aux cours et travaux dirigés (TD), du travail en temps libre est demandé à un moment précis entre deux séances sous forme d'un devoir libre (DL). Chaque DL demandé est indispensable pour l'assimilation des notions de base du cours et pour les séances qui suivent.

### I. Période 1

1) Cours 1 : Dualité onde-corpuscule. Quelques expériences clef (1h30)

-DL1 : Applications de la dualité onde-corpuscule

2) Cours 2 : De la phénoménologie à la formulation axiomatique. Equation de Schrödinger et

potentiels constants par morceaux (1h30)

\*TD1 : Puits infinis (2D) et modèle du dihélium (1h30)

-DL2 : Non dégénérescence en 1D. Propriétés générales d'ondes stationnaires dans un puits symétrique

-DL3 : L'ensemble des fonctions d'onde des états stationnaires forment une base orthogonale.

3) Cours 3 : Opérateurs, commutateurs et principe d'indétermination de Heisenberg (1h30)

\*TD2 : Effet tunnel et microscopie (1h30)

-DL4 : Manipulation d'opérateur. Fonction propres de  $x$ ,  $p_x$  et  $L_z$  (rotation 2D)

4) Cours 4 : Formalisme et notations de Dirac (1h30)

\*TD3 : Etalement du paquet d'ondes (1h30)

-DL5 : Double puits. Maser NH<sub>3</sub>

5) Cours 5 : Vibrations et Oscillateur harmonique (1h30)

\*TD4 : Vibration moléculaire et transitions entre états (1h30)

6) Cours 6 : Moment cinétique (1h30)

\*TD5 : Précession de Larmor (application à la RMN)

-DL6 : Méthode de variation appliquée au potentiel quartique ( $x^4$ ).

7) Cours 7 : Fermions, Bosons et moment Spin. Atome H et modèle de (1h30)

## II. Période 2

\*TD6 : Etat fondamental de l'hydrogénoïde. Hamiltonien de He (1h30)

8) Cours 8 : Approximations. Perturbations au premier et second ordre (1h30)

\*TD7 : Potentiel de Morse ou oscillateur anharmonique (1h30)

-DL7 : Application de la méthode de perturbation et de la Méthode de variation à l'atome He.

9) Cours 9 : Physique statistique de la thermodynamique à la théorie de l'information (1h30)

10) Système régulé de particules classiques (1h30)

\*TD8 : Paramagnétisme et loi de Curie (1h30)

-DL8 : Modèle d'Einstein pour la chaleur spécifique d'un solide à basse température

\*TD9 : Sublimation de l'argon (1h30)

-DL9 : Chaleur spécifique d'un gaz diatomique

EXAMEN FINAL (1h30)

## Déroulement, organisation du cours :

Cours magistraux, travaux dirigés, lectures. L'inscription (et le maintien) dans les groupes de petits effectifs est conditionnée à une participation active.

## Organisation de l'évaluation :

L'évaluation se fait au moyen d'une épreuve écrite dont les questions portent sur les acquis d'apprentissage attendus à la fin du cours (voir liste ci-dessus). Au moins une question est spécifiquement destinée à l'évaluation de la compétence C1.

La note de première session (NS1) est calculée à partir des notes des quiz de contrôle continu et du contrôle final (CF). Le poids de chaque quiz est de 7%.

Le mode de calcul par défaut est :

$$NS1 = \text{MAX} (CF, (1-n*7\%) CF + n*7\% QCM)$$

où  $n=5$  est le nombre de quiz. La note QCM est la moyenne des  $n$  quiz.

Pour les élèves bénéficiant de la formation en modalité renforcée, une note MR est fournie par le responsable de cette activité (voir fiche de cours associée). Pour les élèves bénéficiant de la mise à niveau Dual Diplôme, une note DD est également fournie par l'équipe. Dans ce cas, la note  $\max(MR, DD)$  remplace la plus mauvaise note obtenue parmi les  $n$  quiz passés.

## Moyens :

Equipe enseignante : ANTONI Thomas, AYOUS Mehdi, BRAVO Sophie, BRIEUC Fabien, BRUN François, CORTONA Pietro, DAMMAK Hichem, DELODOVICI Francesco, EMERY Emile, GENESTE Grégory, GILLET Jean-Michel, KORNEV Igor, LANDFRIED Romaric, LAZRAK Gabriel, MASSON-LABORDE Paul-Edouard, MILESI-BRAULT Cosme, MORICE Corentin, PAIN Jean-Christophe, PUGLIESE Léo, RONDIN Loic, SANTACHIARA Raoul, SEYVE Lilian, TESTE Philippe, TOFFANO Zeno, ZVONAREV Mikhail.

· Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 90, 50, 25

· Salles de cours et TD (département et capacité d'accueil) : Physique, 1 grand amphith atre, 6 salles de 90, 1 salle de 50 et 10 salles de 35

## Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A la fin du cours, l'élève devrait avoir acquis la capacité de :

- 1) Appliquer le concept de dualité onde-corpuscule pour interpréter un résultat ou modéliser une expérience (effet photo-électrique, diffraction par un réseau)
- 2) Appliquer les conditions de continuité pour déterminer les fonctions d'onde des  tats stationnaires d'une particule dans un potentiel constant par intervalle, en 1D.
- 3) Distinguer les  tats stationnaires liés et libres à l'aide de leur énergie à partir d'une courbe d'énergie potentielle  $V(x)$ .
- 4) Décrire qualitativement l'effet tunnel ainsi que l'influence de la hauteur ou de largeur de la barrière de potentiel sur le coefficient de transmission.
- 5) Appliquer la décomposition spectrale pour établir l'évolution temporelle d'une particule dans un état non stationnaire.
- 6) Déterminer la moyenne d'une observable ( nergie, position, quantité de mouvement, ...).
- 7) Déterminer l'état d'une particule après une mesure ainsi que la probabilité de mesurer une valeur d'une observable.
- 8) Appliquer le principe d'indétermination d'Heisenberg pour estimer les limites de précision dans la mesure simultanée de grandeurs physiques complémentaires.
- 9) Appliquer le modèle de l'oscillateur harmonique pour estimer les énergies des  tats localisés d'une particule confinée dans un puits.
- 10) Déterminer les  tats d'un moment magnétique soumis à un champ magnétique en utilisant les propriétés du moment cinétique/spin
- 11) Appliquer le modèle de l'ion hydrog noide pour déterminer ou interpréter des spectres d'émission ou d'absorption.
- 12) Appliquer la méthode de perturbation au premier ordre pour estimer les énergies des  tats stationnaires d'un système proche de ceux modélisés et traités en cours (puits de potentiel, oscillateur harmonique, ion hydrog noide)
- 13) Appliquer les concepts d'équilibre et de température à un système de  $N$  particules
- 14) Différencier les  tats macroscopiques et microscopiques et utiliser les notions de probabilité et d'entropie
- 15) Calculer la fonction de partition pour des systèmes simples et en déduire des grandeurs thermodynamiques
- 16) Utiliser une représentation statistique pour dériver des équations d'état et calculer des fluctuations.

## Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

The competences targeted are C1.2: Use appropriate models, choose the right scale of modelling and relevant simplifying assumptions to deal with the problem and C1.3: Be critical of a solution. In particular by comparing the results of a model with those of experience. Skill C1 is tested by means of at least one question during the final written exam.

## Bibliographie :

Polycopi  de cours et d'exercices imprim  fourni.

