

Programme du tronc commun « L3 Physique Fondamentale » 2023-2024

Mécanique quantique I (5 ECTS - Pr Mathieu Langer) *

L'objectif de ce cours est d'acquérir une solide connaissance des bases de la mécanique quantique. On discutera en particulier les points suivants :

- Phénomènes quantiques
- Principes, postulats et mesure en mécanique quantique
- Formalismes de Schrödinger et de Dirac
- Symétries, invariances et lois de conservation
- Oscillateur harmonique
- Moments cinétiques orbital et de spin
- Atome d'hydrogène

Mécanique quantique II (4 ECTS - Pr Jean-François Roch) *

L'objectif est de compléter l'enseignement de mécanique quantique du premier semestre. On discutera les points suivants :

- Transitions entre niveaux : méthode des perturbations dépendant du temps, application à l'interaction matière-rayonnement, couplage à un continuum et règle d'or de Fermi
- L'expérience de Stern et Gerlach : modèle de mesure en mécanique quantique
- Spin 1/2 : électron, noyaux et résonance magnétique
- Intrication, paradoxe EPR et inégalités de Bell
- Addition des moments angulaires : états triplet et singulet de deux spins 1/2, cas général
- Méthodes d'approximation : théorie des perturbations stationnaires, méthode des variations
- Hydrogène : structure fine et hyperfine
- Particules identiques : statistiques quantiques, bosons et fermions, interaction d'échange, quelques applications

Mécanique analytique (3 ECTS - Dr Guillaume Roux) *

Ce cours propose une introduction aux formulations lagrangienne et hamiltonienne de la mécanique, dont les concepts et le formalisme sont utilisés dans de nombreux autres cours. Y sont introduits : les équations d'Euler-Lagrange et d'Hamilton, les principes variationnels, la prise en compte des contraintes, les grandeurs conservées et le rôle des symétries.

Après une discussion générale sur l'évolution temporelle pour un système conservatif, les techniques de résolution des équations sont abordées, comme les transformations canoniques, l'équation de Hamilton-Jacobi, les crochets de Poisson ou les méthodes d'approximation.

Parmi les applications proposées, on trouve le traitement des petites oscillations, la rotation des solides, le problème à deux corps, et les liens avec la mécanique quantique.

Electromagnétisme et Optique I (5 ECTS - Pr Xavier Checoury) *

Cet enseignement part des équations de Maxwell et aborde les points suivants :

- Propriétés du champ électromagnétique : énergie, impulsion et moment cinétique du champ. Onde électromagnétique dans le vide
- Électrostatique et magnétostatique
- Induction électromagnétique
- Milieux diélectriques et magnétiques : étude microscopique et macroscopique. Propagation dans les milieux diélectriques
- Systèmes rayonnants : rayonnement d'une source oscillante, antennes et charges en mouvement

Electromagnétisme et Optique II (4 ECTS - Pr Xavier Checoury & Pr Fabien Bretenaker) *

Dans la continuité du cours du 1er semestre, ce cours aborde :

- Propagation guidée et cavités électromagnétiques
- Problèmes de diffusion

L'enseignement d'optique comprend deux parties :

- Des équations de Maxwell à l'optique : Ondes planes, Optique matricielle, Cavités optiques, Diffraction (ondes planes et sphériques), Guides d'ondes, Causalité et dispersion
- Matériaux anisotropes et lumière : Propagation dans un milieu anisotrope, Polarisation et ondes planes, Biréfringence circulaire

Physique statistique (6 ECTS - Pr Christophe Texier) *

Le cours propose une introduction à la physique statistique, à partir du postulat fondamental de la physique statistique et la description détaillée de l'ensemble microcanonique. Les notions essentielles sont introduites (entropie, température, pression, ...). Le problème important du relâchement des contrainte(s) est discuté en détail, ce qui permet de donner un éclairage probabiliste sur la notion d'irréversibilité. On aborde ensuite la description des systèmes non isolés, à travers la présentation des ensembles canonique et grand canonique.

C'est dans ce cadre que l'on peut aborder quelques problèmes physiques intéressants. Après quelques propriétés des gaz (monoatomique, diatomique) étudiés dans un cadre semi-classique, on décrit la thermodynamique des oscillateurs harmoniques (vibration des corps solides et rayonnement du corps noir). Le cours se clôt par une introduction aux transitions de phase. La phénoménologie de la transition liquide-gaz est rappelée afin d'insister sur les analogies avec la transition paramagnétique-ferromagnétique qui est étudiée plus en détail.

Relativité restreinte (3 ECTS - Pr Patrick Puzo) *

Le but de ce cours est de d'offrir une initiation à la relativité restreinte et aborde les points suivants :

- Postulats de la Relativité restreinte
- Structure de l'espace-temps & transformation de Lorentz
- Formulation covariante
- Quadrivecteurs (à l'aide du formalisme Lagrangien)
- Tenseur électromagnétique et équations de Maxwell

Mathématiques (7 ECTS - Dr Laurent Simard)

Ce cours introduit différentes notions d'analyse utiles en Physique. Il couvre en particulier :

- L'analyse complexe (fonctions holomorphes, théorème des résidus)
- La théorie de la mesure et l'intégration de Lebesgue
- L'analyse de Fourier (sur L^1 , L^2 et les espaces de Schwartz)
- La théorie des distributions

Informatique (3 ECTS - Dr Bartjan van Tent)

Le but de ce cours est l'apprentissage du langage C en vue de la modélisation numérique et de la simulation en physique. Les points suivants sont abordés :

- Tous les éléments de base de la programmation en C, comme tests, boucles et fonctions
- Entrées, sorties, fichiers, graphiques
- Pointeurs et tableaux dynamique
- Générateur de nombres aléatoires
- Résolution d'équations différentielles

Enseignement expérimental (2 ECTS - Dr Miguel Monteverde)

Cette UE expérimentale a pour but la réalisation des expériences qui permettent d'étudier les ondes électromagnétiques dans une large plage de fréquences. Elle comporte quatre expériences qui abordent respectivement la polarisation, le filtrage spatial, la physique des rayons X et les hyperfréquences.

Projet expérimental (6 ECTS - Dr Miguel Monteverde)

Cette UE a pour but la réalisation d'un projet expérimental complet proche de la physique expérimentale pratiquée dans les laboratoires de recherche. L'étudiant devra choisir la thématique ainsi que la question spécifique de physique à aborder, la conception et la fabrication du dispositif expérimental qui permettra de répondre à la question posée. Ceci comprend la réalisation de tests, la prise de données, l'analyse et la communication des résultats sous forme écrite et orale.

L'UE débute par une initiation à l'acquisition de données par micro-ordinateur, soit en utilisant un langage de programmation graphique (LabVIEW™) et des cartes d'acquisition National Instrument™, soit en utilisant des cartes d'acquisition Arduino™. Le projet se déroule ensuite sur cinq jours consécutifs et donne aux étudiants le temps de construire et/ou de prendre en main un système expérimental complexe. Autonomie, dynamisme et initiative sont fortement encouragées.

Projet d'informatique (4 ECTS - Dr Bartjan van Tent)

Réalisation durant un mois et demi d'un programme en C conçu pour l'étude d'un problème de physique. L'étudiant pourra soit choisir un sujet proposé par l'équipe enseignante, soit proposer lui-même un sujet.

Anglais (3 ECTS - Mr Duncan Thom)

Le but de cet enseignement est de fournir un entraînement à l'expression orale et écrite sur une gamme de sujets (actualités, questions de civilisation, culturelles, scientifiques) avec clarté, élégance et correction :

- Développer une aisance à prendre la parole
- Possibilité de préparer le TOEFL
- Consolidation de grammaire selon les besoins du groupe

Programme des enseignements optionnels

L3 Physique Fondamentale

2023-2024

Physique Mathématique - Une introduction à la Relativité Générale (2,5 ECTS - Dr Robin Zegers)

Le but de cet enseignement est d'illustrer la démarche et les méthodes de la Physique Mathématique à travers la construction de la théorie de la Relativité Générale. Le cours est organisé en quatre parties :

- Une introduction aux aspects géométriques de la relativité restreinte et à la question de la gravitation relativiste
- Une introduction à la géométrie différentielle
- La construction de la théorie de la Relativité Générale et la déduction de ses principales prédictions
- Une introduction à la Physique des trous noirs

Cosmologie, relativité générale et observations récentes (2,5 ECTS - Pr Mathieu Langer)

Cette option est une introduction aux concepts fondateurs de la cosmologie et aux bases du modèle Λ CDM cosmologique. On s'appuiera également sur les mesures et observations les plus récentes, et on discutera l'exemple d'une mission spatiale ou d'un observatoire au sol actuels. Les points suivants seront développés :

- Principe cosmologique - Loi de Hubble-Lemaître - Coordonnées comobiles
- Éléments de cosmographie - Métrique FLRW - Redshift, facteur d'échelle, taux d'expansion
- Éléments de cosmologie relativiste - Équations de Friedmann - Paramètres cosmologiques - Distances en cosmologie - Notions d'horizon - Accélération de l'expansion
- Formation des structures : instabilité gravitationnelle de Jeans
- Grands relevés cosmologiques

Théorie des Groupes (2,5 ECTS - Dr Hervé Bergeron)

Le but de cette option est de donner un panorama des différents aspects mathématiques de la théorie des groupes et de ses applications en Physique (classique ou quantique). On verra successivement :

- Propriétés mathématiques générales ; étude de quelques groupes discrets utiles en Physique (groupes ponctuels)
- Représentations des groupes : définitions générales, représentations irréductibles, représentation des groupes finis, applications
- Groupes et Algèbre de Lie: définitions et propriétés mathématiques générales, représentations, applications à quelques groupes utiles en Physique (SU(2), SO(3),...)

Intégrales de chemin et applications (2,5 ECTS - Dr Grégory Moreau)

Ce module de physique théorique propose une introduction au formalisme de l'intégrale de chemin :

- Histoire du concept d'action en physique
- Synthèse du formalisme de la mécanique quantique
- Introduction du calcul fonctionnel en mathématique et de la notion quantique de propagateur
- Calcul de l'intégrale de chemin pour une transition d'états dépendant du temps et interprétations physiques
- Application aux cas d'une particule libre et d'un oscillateur harmonique afin de retrouver, d'une autre manière, les résultats usuels de mécanique quantique
- Application à l'amplitude de probabilité de la diffusion entre une particule élémentaire et un champ d'interaction. Introduction des graphes de Feynman. Discussion heuristique du cas relativiste
- Calcul de la section efficace de Rutherford

Option « Ecoles » (2,5 ECTS - Dr Sylvia Matzen)

Préparation aux deux principaux concours d'admission par voie universitaire en Ecoles d'ingénieurs :

- 14 écoles du groupe GEI-UNIV : Ecole Polytechnique, Ecole des Ponts Paristech, ISAE-Supaéro, ENSTA Paris, Télécom Paris, MINES Paris, MINES Saint Etienne, MINES Nancy, IMT Atlantique, ENSAE Paris, Chimie ParisTech, Arts et Métiers Paris, ESPCI Paris et SupOptique
- Ecoles Centrale : CentraleSupélec, Centrale Lyon, Centrale Lille, Centrale Nantes, Centrale Marseille
- Entraînement aux épreuves orales en maths et physique, entretien, et épreuves spécifiques pour l'Ecole Polytechnique

Chimie organique I (2,5 ECTS - Dr Christophe Bour et Frédéric Avenier)

Cet enseignement en chimie organique vise à immerger les étudiants dans les concepts fondamentaux de la discipline. Les analyses conformationnelles explorent la conformation et la configuration des molécules organiques, mettant en lumière l'impact des forces intermoléculaires. La stéréochimie approfondit les aspects de l'isomérisation stéréoisomérique, de la configuration absolue et relative à travers les projections de Fischer et de Newman.

Au cœur du programme, la réactivité est abordée en détail, couvrant des mécanismes tels que la substitution nucléophile (SN1 et SN2), l'élimination unimoléculaire (E1) et bimoléculaire (E2), ainsi que les réactions d'addition nucléophile. La résolution d'exercices pratiques provenant d'annales d'agrégation et de CAPES renforce les compétences nécessaires à la réussite des examens.

L'approche pédagogique encourage une exploration approfondie, une participation active et la consolidation des bases, mettant l'accent sur la compréhension des attentes spécifiques des épreuves. En mettant l'accent sur des stratégies efficaces pour réussir aux examens, cet enseignement en chimie organique prépare les étudiants, qu'ils soient débutants ou avancés, à relever les défis du domaine. Le programme propose deux niveaux distincts pour répondre aux besoins spécifiques de chaque étudiant, favorisant ainsi un apprentissage adapté à leur niveau d'expérience.

Chimie organique II (2,5 ECTS - Dr Christophe Bour et Frédéric Avenier)

Au cours du deuxième semestre, l'approche devient plus expérimentale avec des travaux pratiques de chimie organique visant à familiariser les étudiants avec les techniques de laboratoire, ainsi que des enseignements sur les risques en laboratoire. Les cours s'ouvrent également à des sujets tels que la spectroscopie RMN, la chimie organique dans le vivant et la chimie organométallique.

Introduction à la géophysique (2,5 ECTS - Pr Alina Tudryn)

Module d'ouverture vers le domaine des Sciences de la Terre. Différentes techniques géophysiques (gravimétrie, sismique, magnétisme, etc...) permettent une meilleure caractérisation et compréhension de l'évolution de la Terre. Deux sujets seront abordés en particulier :

- Géodynamique
- La Terre dans le système solaire

Gastronomie moléculaire (2,5 ECTS - Pr Raphaël Haumont)

L'objectif de cet enseignement est de présenter la gastronomie moléculaire, discipline qui étudie les mécanismes physico-chimiques qui se produisent en cuisine. De par les diverses réactions qui interviennent, elle fait appel à la physique (transition de phase, percolation, variation thermique), la chimie (réaction acide-base, oxydation, complexation...), la physico-chimie (colloïde), et la biologie (réaction de fermentation, coagulation ...). A l'aide d'un enseignement par projet, cette UE présente le lien possible entre science et cuisine, et entre recherche-innovation-application.

Astrochimie (2,5 ECTS - Dr Donia Baklouti)

Il s'agit d'une UE d'initiation à l'Astrochimie dont l'objectif principal est de montrer comment les scientifiques s'appuient sur différents domaines et connaissances de base en chimie et physico-chimie pour étudier et comprendre l'histoire de la matière dans le Système solaire et au-delà.

Les principales problématiques qui y sont abordées se concentrent sur les poussières, gaz et glaces du milieu interstellaire, ainsi que sur les petits corps du Système solaire et l'histoire de la formation de ce dernier.

L'UE fonctionne sous la forme de séances de cours où les différents thèmes sont introduits et expliqués. Ensuite, les étudiants travailleront par groupe sur un sujet bibliographique alloué accompagné d'une problématique à résoudre. Chaque sujet repose sur des documents scientifiques (articles en anglais) que le groupe devra étudier de manière à en faire une synthèse critique sous forme d'un rapport écrit et d'une présentation orale. Les séances de TD sont consacrées à aider et guider chaque groupe dans son étude bibliographique.

Data Science (2,5 ECTS - Pr Pierre Desesquelles)

Les méthodes statistiques du big data, la simulation et l'intelligence artificielle sont des outils au cœur de la recherche, de l'astrophysique à la physique des particules.

L'enseignement du big data et l'interprétation de ses graphes se développe au lycée. Ce cours présentera ses fondements mathématiques et l'interprétation rigoureuse de ses résultats. Le formalisme markovien permet la simulation, l'analyse et la caractérisation des processus physiques pour prédire l'existence d'équilibres, les temps caractéristiques, etc. Il est à la base de la modélisation théorique et de la simulation.

Les applications de l'intelligence artificielle sont devenues courantes dans les laboratoires et les

entreprises : neurones, minmax, ChatGPT, etc. L'objectif est que chaque étudiant comprenne ces méthodes et, très concrètement, qu'il puisse développer ses propres projets de big data, simulation et intelligence artificielle.

Introduction aux Méthodes Physiques en Médecine (2,5 ECTS - Dr Erika Porcel)

Objectifs : Donner une vision globale des problèmes fondamentaux de physique en relation avec l'imagerie médicale, les traitements du cancer et la radioprotection. Montrer l'interdisciplinarité de ce domaine aux interfaces de la physique, de la biologie, de la médecine et de la chimie.

Contenu : Des notions de base d'interaction des rayonnements avec la matière biologique seront données afin d'aborder les concepts, méthodes et technologies utilisés en physique médicale. Le développement technologique et la recherche dans ce domaine seront traités.

Le cours porte essentiellement sur les principes physiques appliqués aux champs :

- De l'imagerie médicale moderne : rayons X, Ultra-sons, IRM, médecine nucléaire
- Des applications thérapeutiques : radiothérapie, curiethérapie, hadronthérapie
- De la radiobiologie et de la radioprotection

Programmation en Python (2,5 ECTS - Mme Emilie Mauduit)

Dans cette option on se propose d'introduire les bases de Python, notamment pour la manipulation de données et la représentation graphique qui sont indispensables pour l'analyse scientifique. Cette option s'adresse aux novices et débutants en Python, aucun prérequis n'est supposé. On verra notamment :

- Bases de la programmation : environnements, types de données, blocs conditionnels, boucles, définitions de fonctions et introduction à la programmation orientée objet
- Gestion et manipulation de données avec numpy
- Représentation graphique avec matplotlib : création de figures, de sous-plots, histogrammes, courbe de niveau, plots 3D
- Interfaces graphiques : permettre à l'utilisateur d'interagir avec le graphe, utilisation des widgets de matplotlib

Biophysique expérimentale (2,5 ECTS - Dr Anne-Lucie Teillout)

L'objectif de cette UE est de montrer comment des méthodes physico-chimiques sont utilisées sur des objets biologiques pour mieux comprendre leur fonctionnement. C'est donc à la fois une illustration des applications de ces méthodes et une introduction à la biophysique à travers une sélection d'exemples et d'expériences. On abordera en particulier les points suivants :

- Introduction des notions de biologie nécessaires. Noter qu'aucun prérequis de biologie n'est demandé
- Absorption UV
- Applications de la fluorescence en biologie de la macromolécule à la cellule
- Capteurs, dispositifs analytiques
- Mécanismes de transfert d'électrons dans les molécules biologiques
- Capteurs électrochimiques
- Applications en biologie cellulaire

Travail d'Etude et de Recherche (2,5 ECTS - Pr Patrick Puzo)

Des étudiants désireux de faire un travail personnel étudient un sujet (qu'ils choisissent) en Physique ou dans un domaine proche de la Physique, guidés par un spécialiste. Ce sujet est validé par le responsable de la formation.

Techniques Expérimentales à l'Agrégation (2,5 ECTS - Dr Martial Mazars)

Cette option expérimentale s'adresse aux étudiants qui souhaitent plus tard passer les concours de l'enseignement (CAPES, agrégation). Elle vise notamment à donner une nouvelle approche expérimentale en abordant différents thèmes (optique, électronique, électromagnétisme, ondes, mécanique).

Langue vivante 2 (2,5 ECTS)

Il est possible de prendre une LV2 à la place d'une option de physique. En 2023-24, les LV2 disponibles étaient : allemand, arabe, chinois, coréen, espagnol, hébreu, italien, japonais, portugais, russe, suédois et ukrainien.

Programme des enseignements spécifiques au Magistère 2023-2024

Outils pour la physique (2,5 ECTS - Pr Claude Pasquier)

Le but de cet enseignement est d'acquérir une manipulation rapide des bases de calcul nécessaires pour poursuivre un enseignement de haut niveau en physique fondamentale. On y voit ou revoit des notions telles que les intégrales simples et multiples, le calcul matriciel, des bases de calcul tensoriel, l'analyse vectorielle, les équations différentielles simples linéaires ou pas, les équations différentielles à plusieurs variables.

Processus fondamentaux en astrophysique (2,5 ECTS - Pr Alain Abergel)

Cet enseignement illustre de nombreux aspects des disciplines fondamentales de la physique et met l'accent sur les processus physiques fondamentaux mis en jeu dans l'Univers tels qu'ils sont aujourd'hui compris à partir des observations les plus actuelles :

- Gravitation : dynamique képlérienne, temps de chute libre, effets de marées, transfert de moment cinétique
- Physique du rayonnement thermique (loi de Planck, corps noirs).
- Constituants de l'Univers : premières secondes, expansion, nucléosynthèse primordiale, recombinaison, évolution du fond cosmologique, formation des structures, contenu actuel.
- Milieu interstellaire : phases, conditions thermodynamiques, équilibre, théorème du Viriel, instabilités.
- Formation stellaire, problème du moment cinétique, formation des systèmes planétaires.

Incertitudes en physiques (2,5 ECTS - Dr Marion Jacquey & Dr Manuel Andia)

Le but de cet enseignement est de définir le vocabulaire et les méthodes relatives au calcul d'incertitudes en physique ainsi que de faire une rapide introduction à la métrologie.

Les points suivants sont abordés :

- Notions de fiabilité, exactitude, précision, erreur aléatoire, erreur systématique.
- Incertitude de type A et type B.
- Propagation des incertitudes.
- Modélisations linéaire et définition du χ^2 .
- Notions de métrologie.
- Définition du système international d'unité.
- Traitement et caractéristique du bruit de mesure, Définition de la variance d'Allan.

Physics of Sustainable Development (2,5 ECTS, enseignement en anglais - Dr Claire Marrache-Kikuchi et Guillaume Roux)

Dans une première partie, on s'attachera à décrire et comprendre les arguments scientifiques et les modèles du changement climatique : quelle est l'origine de ce dérèglement anthropique, le rôle de l'énergie dans nos sociétés, les processus de décisions collectives impliqués dans cette question, les solutions envisageables. Une deuxième partie se focalisera sur la physique d'un bâtiment et à l'échelle urbaine : les principes de construction bioclimatique, les considérations thermiques au niveau d'un immeuble ou d'une ville, l'énergie et autres champs où le physicien peut apporter une perspective ou un savoir-faire à l'architecte et à l'urbaniste. Enfin, plusieurs séances seront dédiées à la réalisation par les étudiants d'un projet – bibliographique, de modélisation, expérimental – autour de ces thématiques.

Introduction to quantum information theory (2,5 ECTS, enseignement en anglais - Dr Leonardo Mazza)

Nous vivons une époque étrange : des termes comme ordinateur quantique, simulation quantique, intrication quantique ou téléportation quantique, qui n'étaient autrefois qu'un jargon de scientifiques et d'universitaires, se répandent parmi les profanes et dans les médias. Mais en fait, de quoi s'agit-il ? Dans ce cours, nous aborderons les bases de la théorie de l'information quantique et en discuterons d'un point de vue scientifique. Nous introduirons la notion de qubit et de portes quantiques, et tenterons de discuter des algorithmes quantiques qui ont valu à ce domaine sa notoriété. Nous aborderons ensuite des notions plus avancées comme celle d'intrication et de décohérence, sans oublier de discuter quelques idées sur les expériences les plus avancées. Prérequis : Mécanique quantique I.

Introduction to continuum mechanics (2,5 ECTS, enseignement en anglais - Dr Wietze Herreman)

La mécanique des milieux continus décrit le mouvement classique de corps macroscopiques déformables, fluides ou solides, avec de nouveaux champs physiques (densité, champ de vitesse, densité de force, tenseur des contraintes, champ de déplacement, champ de déformation, densité d'énergie interne, ...). Dans ce cours, nous dérivons les lois fondamentales à partir de mécanique Newtonienne pour des systèmes de N particules en interaction. Ensuite, nous trouvons des solutions de ces équations pour décrire le mouvement de quelques fluides simples (parfait ou visqueux) et des solides élastiques (linéaire vs. non-linéaire).

Stage d'initiation à la recherche (5 ECTS - Dr Stéphane Douin)

Stage d'initiation à la recherche dans un laboratoire de six semaines minimum, situé à la fin de l'année universitaire. Ce stage est évalué par un rapport écrit et une soutenance.

Pr PATRICK PUZO
Responsable du Magistère
de Physique Fondamentale d'Orsay
Bât 625 - 91400 Orsay Cedex
Université Paris-Saclay