

**Astrophysique** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UPMC

Volume horaire : Cours 24 h – Travaux Dirigés 24 h – Travaux Pratiques/projet 12 h

Prérequis : Dynamique gravitationnelle (1P004 ou 2P004). Equilibre hydrostatique (1P003). Electromagnétisme et optique (2P021, 3P021). Notions de thermodynamique statistique (3P003, 3P011). Notions de mécanique quantique (2P021, 3P001). Modélisation et méthodes numériques (2P022, 3P002).

Descriptif de l'enseignement : Etude quantitative de quelques systèmes astrophysiques fondée sur les connaissances de physique générale acquises en L2 et L3 et mettant en lumière les relations entre observation et modélisation par l'intermédiaire de projets utilisant la plateforme expérimentale d'astrophysique.

Programme proposé :

- Introduction : ordres de grandeur en astrophysique, méthodes d'observation.
- Instruments astronomiques : lois physiques régissant le fonctionnement des (radio)télescopes (optique géométrique et physique, interférences, résolution spatiale, spectroscopie, rapport signal sur bruit).
- Etoiles : méthodes de détermination des propriétés (masse, distance, luminosité, température), spectres et types stellaires, diagramme HR, bilans énergétiques, équilibre hydrostatique.
- Systèmes planétaires : dynamique, méthodes de détection d'exoplanètes, température d'équilibre (rayonnement thermique), échappement atmosphérique, marées, zone d'habitabilité.
- Galaxies et amas de galaxies : modèles dynamiques simples des galaxies et amas, rôle de la matière noire (dynamique des systèmes, théorème du viriel et équilibre hydrostatique).
- Cosmologie : principes de la cosmologie, lois physiques mises en jeu et modélisation simple de l'expansion de l'univers.

Projets :

Chaque étudiant effectuera un projet en 3 séances de 4h. Exemples de projets envisagés :

- Observation de l'émission 21 cm de la Voie Lactée (utilisation d'un et pilotage à distance d'instruments connectés).
- Etude photométrique d'une population d'étoiles, caractérisation de leur température de surface (utilisation de télescopes optiques avec roues à filtres et caméra CCD associées).
- Projet expérimental ou numérique en lien avec le projet Nanosat à l'UPMC.

Acquis attendus :

- Méthodologie d'application des notions physique acquises antérieurement pour modéliser des systèmes macroscopiques complexes.
- Sensibilisation à quelques enjeux importants de l'astrophysique moderne.
- Méthodologie des observations en astrophysique. Distinction entre le signal et la réponse de l'appareil de mesure.

**Compléments de physique** – Licence 2<sup>ème</sup> année

UPMC

Volume horaire : Cours Magistral : 28h ; Travaux Dirigés : 28h.

Thèmes abordés :

I. Mécanique

- Cinématique et dynamique des solides rigides. Angles d'Euler. Toupie symétrique.
- Statique et dynamique des solides déformables. Applications aux fils, tiges et plaques.
- Stabilité des systèmes élastiques.

II. Systèmes dynamiques

- Systèmes linéaires. Réponse impulsive. Fonction de Green. Applications aux phénomènes ondulatoires. Stabilité d'un système linéaire.
- Systèmes non linéaires. Solutions approximées : linéarisation.
- Solitons.
- Analyse qualitative des systèmes non linéaires. Solutions périodiques. Equations de Volterra. Application à l'étude de la dynamique des populations.

Acquis attendus

- Acquérir des bases solides de mécanique via un approfondissement des notions enseignées en L1.
- Connaître quelques propriétés fondamentales des systèmes non linéaires.

Ouvrages de référence :

M. Alonso, E. J. Finn, Physique Générale, vol. 1 (Inter Editions, Paris, 1988).

L. D. Landau, E. Lifchitz, Physique théorique : Mécanique, vol. 1 (Editions MIR, 1960).

L. D. Landau, E. Lifchitz, Physique théorique : Théorie de l'élasticité, vol. 7 (Editions MIR, 1967).

### **Electromagnétisme et électrocinétique** – Licence 2<sup>ème</sup> année

UPMC

Volume horaire : Cours Magistral : 34h ; Travaux Dirigés : 40h ; Travaux Pratiques : 16h

Pré-requis : notions mathématiques de base sur les vecteurs et équations différentielles du premier ordre. Manipulation d'ordres de grandeur.

Descriptif de l'enseignement : Cette UE présente les bases de l'électromagnétisme et ses nombreuses applications dans la vie courante.

Thèmes abordés :

- Electrostatique : charge, courant, force, champ électrique, symétries et invariances, lignes de champ, dipôle électrostatique, conducteurs à l'équilibre. Théorème de Gauss. Potentiel et énergie électriques.
- Magnétostatique : aimants, champ magnétique, symétries et invariances, théorème d'Ampère, force de Laplace, moment. Application : champ magnétique terrestre, le LHC, ITER.
- Induction : force électromotrice d'induction, loi de Faraday, loi de Lenz, champs induits, moteurs et générateurs, auto-induction, induction mutuelle. Applications : courants de Foucault, transformateur.
- Electrocinétique : composants (résistance, capacités, inductances), circuits. Application : filtrage, résonance.
- Electromagnétisme. Equations de Maxwell. Ondes électromagnétiques, équation de propagation et ses solutions dans le vide.

Acquis attendus à l'issue de l'UE :

- Savoir-faire techniques : Savoir utiliser les éléments de symétrie et les invariances pour simplifier les calculs de champs et potentiels. Maîtriser les outils mathématiques de l'électromagnétisme (notamment champs de vecteurs, opérateurs vectoriels, résolution d'équations différentielles d'ordre 1 et 2, intégrales multiples). Savoir relier les champs électrique et magnétique à leurs sources. Savoir calculer des énergies potentielles électrostatiques. Savoir tracer des lignes de champs et les interpréter. Savoir calculer l'effet des champs électrique et magnétique sur des particules chargées. Savoir prédire qualitativement la réponse d'un circuit électrique à une excitation en fonction de la fréquence de celle-ci. Savoir caractériser une onde électromagnétique plane progressive monochromatique rectilignement polarisée
- Savoir-faire expérimentaux : Savoir mesurer le champ magnétique engendré par une spire ou un solénoïde. Savoir utiliser un oscilloscope et un générateur basse fréquence. Savoir réaliser un montage simple d'électrocinétique. Maîtriser le logiciel de traitement de données qtiplot. Savoir présenter de façon claire un ensemble de résultats expérimentaux et savoir tracer et exploiter une courbe.

**Mécanique quantique** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE DIDEROT PARIS

Résumé du programme :

- Introduction : pourquoi la MQ ? Instabilité de l'atome classique. Corps noir. Chaleur spécifique des gaz à basse température. Expérience d'Young. Effet photoélectrique.
- Dualité onde/corpuscule, relation d'incertitude, révision de la notion de trajectoire. Objet quantique : action et quantum d'action.
- Postulats de la MQ.
- Application 1 : particule libre. Paquet d'ondes, propagation, étalement.
- Application 2 : particule dans un puits de potentiel. Etats stationnaires. Marche de potentiel, puits infini, diffusion par un atome etc.
- Application 3 : effet tunnel. Exemple : désintégration alpha.
- Application 4 : oscillateur harmonique I. Spectre d'énergie. Etats stationnaires. Exemple : vibrations d'une molécule diatomique. – Opérateurs et commutateurs. Image matricielle des opérateurs. Algèbre linéaire. Espace de Hilbert. Relation d'incertitude.
- Application 5 : système à 2 niveaux. Exemples : Molécule d'ammoniac, oscillations de neutrinos.
- Application 6 : oscillateur harmonique II. Opérateurs de création et d'annihilation. OH a 3 dimensions. Dégénérescence. Exemples : phonons.

**Ondes** – Licence 2<sup>ème</sup> année

UPMC

Volume horaire : Cours Magistral : 22h ; Travaux Dirigés : 24h ; Travaux Pratiques : 12h

Pré-requis : En physique : bases de thermodynamique (1P003) et de mécanique (1P004). En mathématiques : fonctions de plusieurs variables, dérivées partielles, nombres complexes.

Descriptif de l'enseignement :

Thèmes abordés

- Propagation des ondes dans le vide et les milieux. Application : effet Doppler, radar, vélocimétrie.
- Superposition des ondes progressives. Notions de cohérence spatiale et temporelle. Interférences à deux ondes. Application : interférométrie astronomique.
- Principe de la diffraction.
- Propagation des ondes mécaniques : corde vibrante et ondes sonores, ondes dans les solides. Applications : acoustique d'une salle de concert, haut-parleur.
- Réflexion et transmission, ondes stationnaires, modes propres. Application : instruments de musique.

Acquis attendus

- Savoirs faire techniques : Savoir décrire mathématiquement différents types d'ondes (phase, période spatiale et temporelle). Savoir utiliser la notation complexe. Savoir reconnaître une équation d'onde. Savoir identifier la période spatiale et la période temporelle d'une onde. Savoir décrire les interférences à deux ondes.
- Savoirs faire expérimentaux : Savoir utiliser un oscilloscope et un générateur basse fréquence. Savoir mesurer un déphasage entre deux ondes. Savoir créer et caractériser un système d'interférences à deux ondes dans différents domaines de la physique. Savoir présenter de façon claire un ensemble de résultats expérimentaux et savoir tracer et exploiter une courbe.

Ouvrages de référence :

« Physique », Eugène Hecht, ed. DeBoeck Université 2007

« Physique », Halliday, Resnick &amp; Walker, ed. Dunod

« Physique générale » tome 2, Alonso &amp; Finn, ed. Dunod

**Physique 4 – Licence 2<sup>ème</sup> année**

UNIVERSITE DIDEROT PARIS 7

Résumé du programme :

Électrocinétique : circuits RC et RLC, régime transitoire, oscillations forcées, résonance.

Ondes et vibrations : oscillateur simple, oscillation forcées et résonance, chaîne d'oscillateurs, propagation d'ondes, applications (corde vibrante, ligne électrique, acoustique, ...)

Compétences visées :

Bases de l'électrocinétique et propagation d'ondes mécaniques et mise en perspective de la notion d'oscillations forcées et de résonance.

**Physique contemporaine – Licence 3<sup>ème</sup> année**

UNIVERSITE DIDEROT PARIS 7

Descriptif de l'enseignement : Il s'agit d'une UE introductive aux grands domaines de la physique contemporaine.

Introduction à la Physique Macroscopique

- Etats de la matière : forces de liaison intermoléculaires, des solides cristallins à la matière désordonnée.
- Introduction à la mécanique des milieux continus : milieux continus, forces élastiques dans les solides et forces visqueuses dans les fluides, lien avec les caractéristiques microscopiques.
- Interface entre deux milieux fluides ou solides : fluides miscibles (diffusion), fluides non miscibles (tension de surface), interface entre deux solides (friction).
- Matière molle : interactions, exemples de systèmes (colloïdes, tensioactifs, systèmes auto-organisés, mousses, granulaires, cristaux liquides, systèmes biologiques...).

Introduction à la physique du solide

- La conductivité dans les métaux : modèle de Drude (conductivité électrique, conductivité thermique, limites du modèle)
- Liaisons et Structure des solides - Vibrations du réseau : phonons
- De l'électron libre à l'électron dans un cristal : le concept de bande d'énergie
- Métaux, Isolants, Semiconducteurs

Introduction à la Physique Subatomique

- Physique nucléaire : découverte et structure du noyau atomique, fission et fusion, les types de radioactivité, les centrales nucléaires.
- Physique des particules : les particules élémentaires et leurs nombres quantiques (+ aspects historiques). Les interactions fondamentales et les lois de conservation. Les détecteurs de la physique des particules.
- Le rayonnement cosmique : découverte, composantes (noyaux, photons, neutrinos), sources et propagation. Les détecteurs de la physique des astroparticules.

Introduction à l'Astrophysique et la Cosmologie

- Interaction lumière-matière et rayonnement de corps noir. Les étoiles (naissance, nucléo-synthèse, évolution).
- Les galaxies et la structure à grande échelle de l'Univers. La loi de Hubble.
- La théorie du Big Bang et l'expansion de l'univers. Le redshift. L'histoire thermique de l'Univers et le fond de rayonnement cosmologique.

5 Travaux Pratiques :

- Approche expérimentale de la physique contemporaine
- Observation de muons cosmiques et mesure de  $c$

- Spectroscopie de l'atome d'Hydrogène
- Diffusion thermique
- Effet photoélectrique
- Morphogenèse

**Physique des milieux continus** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UPMC

Volume horaire : Cours 26 h – Travaux Dirigés 26 h – Travaux Pratiques 8 h

Descriptif de l'enseignement : Donner des éléments d'hydrodynamique et d'élasticité. L'accent est donné sur les applications physiques de la physique des milieux continus.

Thèmes abordés :

- Hydrodynamique :
  - rappels d'hydrostatique, – cinématique des fluides : approches eulérienne et lagrangienne, – dynamique des fluides parfaits : conservation de la masse, quantité de mouvement et énergie, bilans
  - dynamique des fluides visqueux : transport diffusif de quantité de mouvement, équations du mouvement, fluides non-newtonien
- Élasticité et visco-élasticité : – Milieux solides déformables et modules élastiques, – lois de comportement : élasticité linéaire, loi de Hooke, limite élastique et critère de plasticité, – exemples de déformations élastiques : traction, flexion, cisaillement, – visco-élasticité (modèles d'association ressort – amortisseur, comportement non-linéaire)
- Ondes dans les liquides et les solides.

Acquis attendus :

– Compréhension intuitive de la physique des milieux continus : identifier les grandeurs physiques pertinentes dans la description d'un phénomène macroscopique – Savoir appliquer les notions de champs de vecteurs et de leurs dérivées locales (gradient, rotationnel, divergence) aux fluides et milieux déformables. Appliquer les équations de conservation à un élément de volume et dresser le bilan dans des cas simples.

Ouvrages de référence :

En français :

« Hydrodynamique Physique », E. Guyon, J.-P. Hulin et L. Petit, 3<sup>ème</sup> édition, EDP Sciences, 2012.

« Mécanique des fluides », S. Candel, Dunod.

« Gouttes, bulles, perles et ondes », P.-G. de Gennes, F. Brochard-Wyart, D. Quéré, Belin, 2006.

« Mécanique des fluides », L. Landau et E. Lifchitz, Editions de Moscou.

« Le cours de Physique de Feynman – Électromagnétisme », tome 2, R. Feynman, chap. 38, 39, 31.

« Théorie de l'élasticité », L. Landau et E. Lifchitz, Editions de Moscou.

En anglais :

« Physical fluid dynamics », D.J. Tritton, Oxford Science Publication, 1988.

« Fluid Mechanics », P.K. Kundu, Academic Press, 1990.

« An Album of Fluid Motion », Van Dyke, Parabolic Press, 1982.

« Elementary Fluid Dynamics », D.J. Acheson, Oxford, 1990.

**Physique quantique** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UPMC

Volume horaire : 30h Cours Magistral, 30h Travaux Dirigés

Prérequis : Toute la physique classique de L1-L2 : Mécanique du point, dynamique de Newton, forces, champs électriques et champ magnétiques, énergies potentielles, lois de conservations, ondes

électromagnétiques, ondes acoustiques, ondes en général. Bases mathématiques : dérivations, différentielles, équations différentielles du premier et second ordre. Transformation de Fourier. Algèbre linéaire, matrices complexes, produit scalaire, produit hermitien, espaces vectoriels, espaces de Hilbert, espaces de Hilbert de fonctions.

Thèmes abordés :

Les difficultés de l'approche classique (Les expériences historiques)

Mécanique ondulatoire (Schrödinger) : Fonction d'onde et probabilité, Heisenberg Schrödinger dépendant du temps, Etats stationnaires, barrières de potentiel, résolution de cas simples. Formalisme de la Mécanique quantique, formalisme de DIRAC, Postulats : algèbre linéaire, ECOC, opérateurs, commutations, formalisme de Dirac, les postulats

Oscillateur harmonique 1D : Importance et exemples, Schrödinger, applications

Moment cinétique orbital : Rappels classiques, définition, évolution, éléments de la théorie générale, harmoniques sphériques,

Moment cinétique de spin : Stern et Gerlach, moment intrinsèque, particularités, matrices de Pauli

Atome Hydrogène : Harmoniques sphériques, fonction d'onde de l'atome d'hydrogène.

Acquis attendus :

A l'issue de ce module, l'étudiant(e) doit connaître les ruptures principales de la mécanique quantique avec la mécanique classique : la notion probabiliste, le principe de la mesure, les quantités physiques observables, les états stationnaires. Il(elle) doit savoir trouver les états stationnaires de systèmes simples, les états propres et valeurs propres d'observables simples. Il(elle) connaîtra les propriétés élémentaires du système à deux niveaux, de l'oscillateur harmonique, de l'atome d'Hydrogène. Il(elle) aura été initié(e) au spin Il(elle) aura des notions sur l'évolution des systèmes.

Ouvrages de référence :

« Modern Quantum Mechanics », J. J. Sakurai, J. J. Napolitano (2nd Edition).

« Mécanique quantique, tomes 1 et 2 », Claude Cohen-Tannoudji et Franck Laloe, Hermann.

« Mécanique quantique », Jean-Louis Basdevant et Jean Dalibard, éditions de l'école Polytechnique.

« Quantique », Jean-Philippe Pérez, Robert Carles et Olivier Pujol, de Boeck 2013.

« Quantique Rudiments », JM Levy-Leblond, F. Balibar (Inter Editions CNRS, 1984)

« Cours de Physique BERKELEY » volume 4 Physique quantique (Armand Colin)

« Mécanique quantique tomes 1 et 2 », Claude Aslangul, de Boeck 2012. Livre en accès libre pour tous les étudiant(e)s inscrits pédagogiquement à SORBONNE UNIVERSITE.

## Quanta et relativité – Licence 2<sup>ème</sup> année

UPMC

Volume horaire : Cours Magistral : 26h ; Travaux Dirigés : 26h ; Travaux Pratiques : 9h

Pré-requis : Vecteurs, produits scalaire, exponentiels complexes et matrices 2x2.

Thèmes abordés :

1ère partie : introduction à la mécanique quantique - Ordres de grandeurs quantiques/classiques - Le photon : énergie, polarisation, probabilité de mesure - Dualité onde/corpuscule. Longueur d'onde de de Broglie - Etat quantique. Equation de Schrödinger. Systèmes à 2 états - Effet tunnel. Puits quantique. Niveaux d'énergie - Paquet d'ondes. Inégalités de Heisenberg.

2ème partie : relativité restreinte - Changement de référentiels Galiléens, Expérience de Michelson-Morley, Postulat de la relativité restreinte et Transformations de Lorentz - Dilatation des durées et contraction des longueurs – Simultanéité, causalité et intervalles spatio-temporels. - Cinématique relativiste, Composition de vitesses, Effet Doppler-Fizeau - Quantité de mouvement et Energie relativistes, énergie de masse, réactions nucléaires - Dynamique relativiste et Collisions. Effet Compton. Accélérateurs de particules.

Acquis attendus :

connaître les caractéristiques essentielles du monde quantique : dualité onde-corpuscule, quantification et aspects probabilistes - connaître l'énergie d'un photon et la longueur d'onde associée à une particule - savoir décrire un système à deux états (notation de Dirac, évolution, mesure) - connaître l'équation de Schrödinger et savoir déterminer les niveaux d'énergie dans un puits quantique infini - connaître les outils et résultats essentiels de relativité restreinte : principe de relativité, transformations de Lorentz, dilatation des durées et contraction des longueurs, intervalles d'espace-temps, composition relativiste des vitesses, effet Doppler relativiste - connaître l'expression relativiste des énergies (cinétique et totale) et de la quantité de mouvement d'une particule. - Savoir appliquer les lois de conservation énergie-impulsion.

Ouvrages de référence :

C. Fabre, C. Antoine, N. Treps, « Introduction à la physique moderne : relativité et physique quantique » (Dunod).

H. Benson, "Physique 3 : Ondes, Optique et Physique Moderne" (De Boeck Université).

P. Tipler, "Physics for scientists and engineers", Volume 3. - Y. Simon, "Relativité Restreinte – cours et applications" (Vuibert)

### Structure de la matière – Licence 3<sup>ème</sup> année

UPMC

Volume horaire : Cours 20 h – Travaux Dirigés 20 h – Travaux Pratiques 12 h – Projet bibliographique en trinôme 8 h.

Descriptif de l'enseignement : Compléter le cycle d'enseignement de la Mécanique Quantique, avec les notions indispensables de physique atomique (à partir de l'atome d'hydrogène) et moléculaire (liaison chimique). Donner, à partir de ces interactions, des éléments de structure de la matière dans ses états de condensation. Présenter les notions d'ordre à longue portée, de réseau cristallin, de symétrie, d'espace réciproque et des lois de diffraction. Introduire les aspects généraux des propriétés vibrationnelles et électroniques, et les notions d'isolant, métal, semi-conducteurs. Donner, via les projets bibliographiques, un aperçu de la recherche moderne en matière condensée et en nouveaux matériaux.

Thèmes abordés :

- Cohésion de la matière : atome d'hydrogène, systèmes à plusieurs électrons, liaison chimique, orbitales moléculaires.
- Organisation de la matière : classification de l'état condensé, structures cristallines, espace direct et réciproque, lois de diffraction, états désordonnés.
- Propriétés de la matière et nouveaux matériaux : phonons, électrons, bande interdite, métaux et isolants, généralités sur les nouveaux matériaux et les états exotiques de la matière.

Acquis attendus :

- Compréhension de la formation de la liaison chimique, de la molécule au solide.
- Notions de base de structure de la matière, organisation dans l'espace, ordre et désordre.
- Quelques connaissances sur les nouveaux matériaux qui révolutionnent la vie moderne, par un projet bibliographique en binôme.

Ouvrages de référence : Notes/slides de cours, Cohen-Tannoudji, Bransden, Tabor, Ashcroft

### Thermodynamique et introduction à la physique statistique – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE DIDEROT PARIS 7

Résumé du programme :

## Généralités, premier principe

- Etats d'un système : états d'équilibre, équations d'état, paramètres intensifs et extensifs
- Transformations irréversibles, quasi-statiques, réversibles
- Premier principe, énergie interne, travail et échanges de chaleur
- Application au gaz parfait

## Entropie et second principe

- Machines thermiques, cycle de Carnot, nécessité d'un second principe
- Entropie, température thermodynamique, énoncé moderne du second principe
- Rendements d'une machine thermique, moteurs et machines frigorifiques

## Changements de phase du corps pur

- Représentation en paramètres  $P$ ,  $T$  et  $P$ ,  $V$  des états du corps pur
- Point triple, point critique
- Coefficients calorimétriques, relations de Clapeyron

## Aspects microscopiques et introduction à la physique statistique

- Théorie cinétique des gaz, libre parcours moyen
- Equations de diffusion, équation de Boltzmann, distribution de Maxwell des vitesses
- Postulat fondamental de la physique statistique, ergodicité, équiprobabilité des micro-états
- Entropie comme mesure du "désordre", flèche du temps, entropie microcanonique