

Miroir VIRGO



REMISE DIPLOMES 2017

## MASTER DE PHYSIQUE

### PREMIERE ANNEE

Année 2021 /2022

14, rue Enrico Fermi - Bâtiment Gabriel Lippmann  
Domaine Scientifique de la Doua  
69622 Villeurbanne cedex  
Site web: <http://master-physique.univ-lyon1.fr>  
E-mail: [scolarite.physique@univ-lyon1.fr](mailto:scolarite.physique@univ-lyon1.fr)

## Objectif

L'objectif principal du Master de physique est d'assurer sur deux années la formation pédagogique de base indispensable

- aux étudiants désireux d'entreprendre une thèse de doctorat dans le domaine de la physique et de l'astrophysique
- aux étudiants souhaitant entrer dans la vie active à un niveau "bac+5".

Le master comporte 5 parcours :

- **ASTRO** : Astrophysique
- **CDIM** : Conception, Développement Instrumental, Mesure
- **PAMMCO** : Physique Atomique, Moléculaire, Matière Condensée et Optique
- **SUBA** : Physique Subatomique
- **SYVIC** : SYnthèse, Vieillesse et Caractérisation des matériaux du nucléaire

La première année du master de physique est une année commune aux cinq parcours du master qui se prépare en deux ans. Ce master représente un ensemble de formations réparties sur deux années et donc quatre semestres.

A la fin du premier semestre, les étudiants inscrits en master précisent leur orientation et choisissent une pré-spécialisation qui les conduira vers un des parcours en deuxième année.

**Le présent livret ne décrit que la première année et ne rentre pas dans le détail des programmes de deuxième année.**

La délivrance d'une maîtrise de physique aux étudiants ne poursuivant pas en M2 est possible.

La première année de master permet de suivre les enseignements du 1<sup>er</sup> semestre en anglais. Les étudiants non francophones ont un soutien en "Français Langue Etrangère".

## Conditions d'accès

Sont admis en première année de master :

- les étudiants titulaires d'une licence européenne de Physique
- les étudiants étrangers titulaires d'un diplôme équivalent après accord d'une commission d'équivalence
- les élèves ingénieurs après accord de la commission pédagogique du Master.

## Coordonnées

### Coordonnateur du M1 :

#### **S. PERRIES**

Bâtiment Paul DIRAC – bureau 119bis

Téléphone : 04 72 43 27 44

Courriel: s.perries@ipnl.in2p3.fr

### Scolarité du département de Physique :

Responsable :M. DERRER Mokthar– 04 72 43 19 67

Secrétaire de scolarité : Mme LACHTER Nabila – 04 72 43 26 89

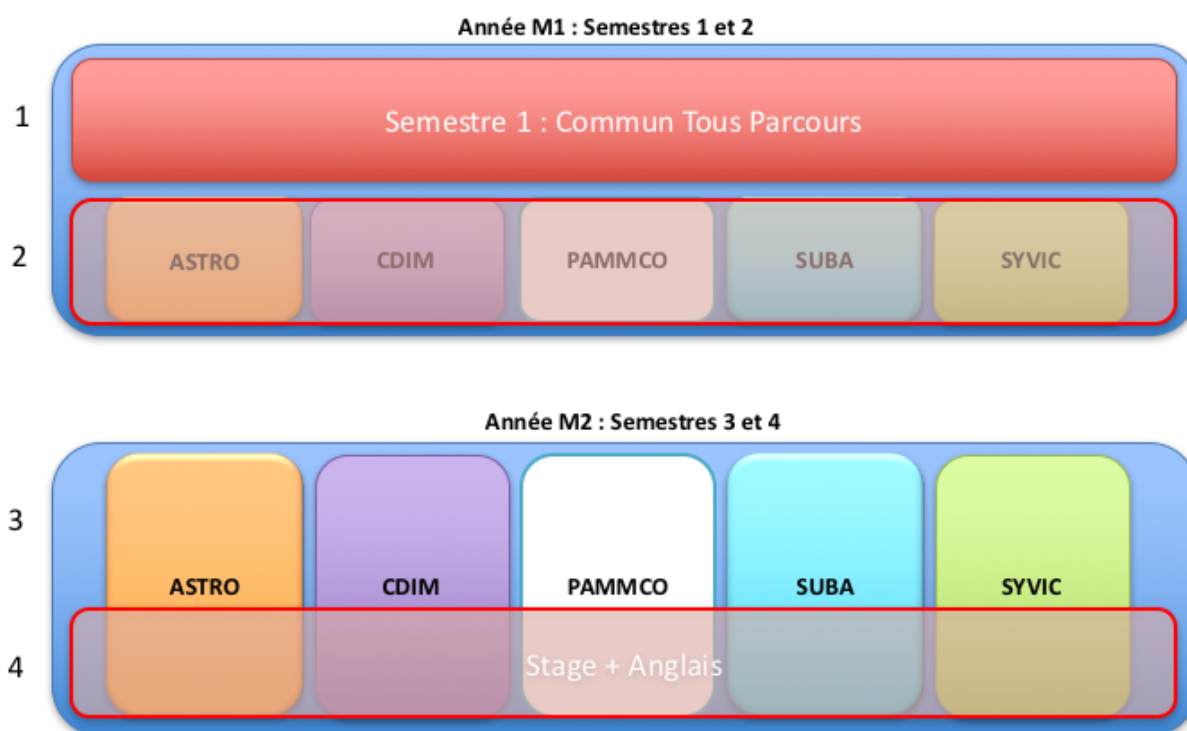
Domaine de la DOUA

Bât. Lippmann 1<sup>er</sup> étage

14 Rue Enrico Fermi, 69622 Villeurbanne

Courriel: scolarite.physique@univ-lyon1.fr

# ORGANISATION GENERALE DU MASTER



## Première année (M1)

- Premier semestre (S1) : commun à tous les parcours (30 crédits ECTS)
- Deuxième semestre (S2) : la moitié des cours est commune à tous les parcours (15 crédits ECTS) et l'autre moitié est dédiée à une pré-spécialisation (15 crédits ECTS)

## Deuxième année (M2)

- Troisième semestre (S3) : Cours spécifiques pour chaque parcours ((30 crédits ECTS)
- Quatrième semestre (S4) : Anglais (3 crédits ECTS), Atelier (6 crédits ECTS), un stage en laboratoire ou en milieu industriel (21 ECTS)

# **ORGANISATION DE LA PREMIERE ANNEE DE MASTER**

Le programme de la 1<sup>ère</sup> année du Master de Physique est constitué d'unités d'enseignement (UE) réparties en deux semestres distincts :

- Un premier semestre (S1) commun à tous les parcours (→ 30 crédits ECTS)
  - 4 UE de 6 crédits chacune en anglais ou en français (→ 24 crédits ECTS)
    - Mécanique Quantique et Applications  
(ou Quantum Mechanics and Applications)
    - Physique des Milieux Continus  
(ou Physics of Continuous Media)
    - Physique des Milieux Condensés  
(ou Physics of Condensed Systems)
    - Electromagnétisme et Matière  
(ou Electromagnetism and Matter)
  
  - 2 UE de 3 crédits (→ 6 crédits ECTS)
    - Insertion professionnelle
    - Anglais
  
- Un deuxième semestre après le choix du pré-parcours (→ 30 crédits ECTS)

Le format est le même pour tous les pré-parcours

  - Un tronc Commun de 3 UE obligatoires :

▪ Physique Expérimentale	6 ECTS
▪ Modélisation numérique	3 ECTS
▪ Stage en milieu professionnel	6 ECTS
  
  - 5 UE de 3 ECTS pour chaque pré-parcours (détail page suivante)

**ASTRO :**

- Mécanique quantique avancée
- Physique statistique des systèmes en interaction
- Physique atomique et moléculaire
- Astrophysique
- 1 UE optionnelle à choisir parmi
  - *Relativité générale*
  - *Physique des capteurs*
  - *Interaction rayonnement matière*
  - *Noyaux et radioactivités*

**CDIM :**

- Physique des capteurs
- Traitement du signal
- Interaction rayonnement matière
- Instrumentation optique et lasers
- 1 UE optionnelle à choisir parmi
  - *Noyaux et radioactivités*
  - *Nanosciences*
  - *Analyse des structures et des nanostructures*
  - *Liquides, interfaces et biophysique*

**PAMMCO :**

- Mécanique quantique avancée
- Physique statistique des systèmes en interaction
- Physique atomique et moléculaire
- Nanosciences
- 1 UE optionnelle à choisir parmi
  - *Instrumentation optique et lasers*
  - *Liquides, interfaces et biophysique*
  - *Interaction rayonnement matière*

**SUBA :**

- Mécanique quantique avancée
- Théorie classique des champs
- Noyaux et radioactivités
- Physique des particules
- 1 UE optionnelle à choisir parmi
  - *Physique du noyau et matière nucléaire*
  - *Interaction rayonnement matière*
  - *Physique statistique des systèmes en interaction*
  - *Relativité générale*

**SYVIC :**

- Réacteurs nucléaires
- Noyaux et radioactivités
- Interaction rayonnement matière
- Analyse des structures et des nanostructures
- 1 UE optionnelle à choisir parmi
  - *Physique des capteurs*
  - *Nanosciences*
  - *Physique du noyau et matière nucléaire*
  - *Instrumentation optique et lasers*

# **DESCRIPTION DES UE DU SEMESTRE 1**

## **PHYSIQUE DES MILIEUX CONTINUS**

6 ECTS

### **Enseignants :**

Catherine BARENTIN (CM/TD), Stella RAMOS CANUT (TD),

Cours : 30 heures ; TD : 30 heures

S'appuyant sur une grande séparation des échelles (en espace et en temps) et sur une hypothèse d'équilibre thermodynamique locale (pour définir des grandeurs intensives locales comme la température, la pression ou l'énergie interne), la Physique des Milieux Continus vise à établir les lois de comportement entre les quantités physiques en considérant des quantités moyennes (densité, champs de concentration...). Les modèles continus qui en résultent se fondent sur des lois de conservation exactes et des relations phénoménologiques souvent issues de la théorie de la réponse linéaire.

Ce cours se compose de trois parties, dont le formalisme commun est sous-tendu par l'approche évoquée ci-dessus : (i) les processus diffusifs, mécanismes de transport très importants dans la nature, (ii) l'hydrodynamique physique où l'on cherche à décrire la dynamique d'un fluide sous contrainte, qui contrairement à un solide, va s'écouler pour relâcher la contrainte, (iii) le comportement élastique des solides.

### 1. Introduction

### 2. Processus diffusifs

Équation de conservation de la diffusion, diffusion thermique (lois de Fourier), diffusion de particules (loi de Fick), relaxation pour une distribution initiale de sources ponctuelles, mouvement brownien, équation de Langevin, théorème de fluctuation-dissipation, formule d'Einstein, diffusion dans un champ externe.

### 3. Hydrodynamique physique

Propriétés cinématiques, dérivée convective, tenseur taux de déformation, équations de conservation (masse, quantité de mouvement, énergie). Tenseur des contraintes, régime newtonien et équation de Navier-Stokes. Notion de conditions aux limites. Cas particuliers des fluides parfaits (équation de Bernouilli), des écoulements potentiels (exemple du paradoxe de d'Alembert), des écoulements à petit nombre de Reynolds (exemple du problème de Stokes). Approximation de lubrification, hydrodynamique du mouillage.

### 4. Élasticité linéaire

Cette partie met à profit tout le formalisme introduit et développé pour l'hydrodynamique au chapitre 3.

Notion de déformations élémentaires, théorie générale de l'élasticité linéaire (introduction des tenseurs des contraintes et des déformations, loi de Hooke), cas des matériaux isotropes, équation d'équilibre (de Navier). Quelques applications de la théorie de l'élasticité dans le cas linéaire, homogène et isotrope (force ponctuelle, contact de Hertz,...)

# PHYSICS OF CONTINUOUS MEDIA

6 ECTS

## Enseignants :

Frédéric CAUPIN (CM/TD)

Cours : 30 heures ; TD : 30 heures

Based on a scale separation (both in space and time) and on a local thermodynamic equilibrium hypothesis (to define local intensive observables like temperature, pressure or internal energy), Physics of Continuous Media aims at establishing the laws of behavior of physical quantities considering averages (density, concentration fields, ...). Resulting continuous models are based on exact conservation laws and phenomenological relations derived from the linear response theory.

This lecture is made of three parts using the formalism described above : (i) diffusion processes, transport mechanisms, (ii) physical hydrodynamics to describe fluids under stress which flows as opposed to solids, (iii) elastic behavior of solids.

### 1 Introduction

### 2 Diffusion processes

Conservation equations for diffusion, thermal diffusion (Fourier laws), particle diffusion (Fick law), relaxation of a point source distribution, Brownian motion, Langevin equation, fluctuation-dissipation theorem, Einstein formula, diffusion in an external field

### 3 Physical hydrodynamics

Kinematic properties, convective derivative, stress rate tensor, conservation laws (mass, momentum, energy), Stress tensor, Newtonian regime and Navier-Stokes equation, Boundary conditions, Perfect fluids (Bernoulli equation), Flows (d'Alembert paradox), low Reynolds number flows, (Stokes problem), lubrication, wetting hydrodynamics

### 4 Linear elasticity

This part uses the formalism introduced and developed for hydrodynamics in the third part.

Elementary deformations, linear elasticity general theory (stress and deformation tensors, Hooke law), Isotropic media, equilibrium equation (Navier equation), Applications of the linear elasticity theory in the homogeneous and isotropic case (point force, Herz contact)



## **MECANIQUE QUANTIQUE ET APPLICATIONS**

6 ECTS

### **Enseignants :**

Imad LAKTINEH (CM), Karim BENNACEUR (TD)

Cours : 30 heures ; TD : 30 heures

**Remarque importante : Cet enseignement est un approfondissement de la mécanique quantique. Des connaissances de mécanique quantique de base sont indispensables.**

- 1- Rappel : Equation de Schrödinger et applications, oscillateurs harmoniques (1-3 dim), spin, perturbation indépendante du temps.
- 2- Potentiel central et atome d'hydrogène
- 3- Moments cinétiques : Moments angulaires et spin, addition, Clebsch-Gordan, Théorème de Wigner-Eckart, théorème de la projection, applications
- 4- Méthode variationnelle
- 5- Perturbation dépendante du temps et applications (oscillations, effet compton, résonance, désintégration)
- 6- Particules identiques

## **QUANTUM MECHANICS AND APPLICATIONS**

6 ECTS

### **Enseignants :**

Pierre-François BREVET (CM), Florian KULZER (TD)

Cours : 30 heures ; TD : 30 heures

- 1 Schrödinger equation, applications, harmonic oscillator (1 to 3D), spin, time independent perturbation theory
- 2 Central potential and hydrogen atom
- 3 Kinetics moment: angular and spin moments, addition, Clebsch-Gordan coefficients, Wigner-Eckardt theorem, projection theorem, applications
- 4 Variational method
- 5 Time dependent perturbation theory and applications (oscillation, Compton effect, resonances, disintegration)
- 6 Identical particles

# PHYSIQUE DES SYSTEMES CONDENSES

## 6 ECTS

### Enseignants :

Driss RAYANE (CM), Tristan ALBARET (TD)

Cours : 30 heures ; TD : 30 heures

### Chapitre 1. Outils de physique statistique pour décrire les solides (fermions, bosons)

- Les statistiques de Bose -Einstein et de Fermi- Dirac
- Le gaz parfait de fermions (Les conditions périodiques de Born-von Karman. Densité d'états. Energie de Fermi. Effets de la température. Capacité calorifique ...)

### Chapitre 2. Solides cristallins

- Energie de Cohésion
- Crystal et réseaux
- Réseaux directs et réciproques. Zones de Brillouin

### Chapitre 3 Electrons dans les solides cristallins

- Périodicité du potentiel et le modèle d'électrons libres. Structure de bande électronique.
- Le théorème de Bloch.
- Le modèle des électrons quasi libres.
- Le modèle de liaison forte. Bandes d'énergie.
- La densité d'états électroniques.
- Dynamique des électrons dans un cristal. Masse effective. Electrons et trous. Effet Hall.
- Classification des solides.

### Chapitre 4. Dynamique des solides

- Dynamique des cristaux à 1 et à 3 dimensions
- Les phonons sont des bosons
- Modèles Einstein et de Debye. Chaleur spécifique de phonons.

### Chapitre 5. Propriétés magnétiques

- Paramagnétisme et diamagnétisme. Magnétisation. Susceptibilité magnétique.
- Ferromagnétisme. Champ moléculaire et la théorie du champ moyen de Weiss

# PHYSICS OF CONDENSED SYSTEMS

6 ECTS

**Enseignants :**

Alfonso SAN MIGUEL (CM), Gianpietro CAGNOLI (TD)

Cours : 30 heures ; TD : 30 heures

## **Chapter 1. Statistical physics tools to describe solids (fermions, bosons)**

- The Fermi-Dirac and the Bose-Einstein statistics. The Fermi Energy
- The Free electron gas – From Drude to Sommerfeld models
- The Born-von Karman periodic conditions. Density of states
- Temperature effects. Specific heat for a fermion gas

## **Chapter 2. Crystalline solids**

- Cohesive Energy
- Crystal and lattices
- Diffraction and reciprocal space
- Direct and reciprocal lattices
- Brillouin zones

## **Chapter 3. Dynamics of solids**

- Dynamics of 1-dimensional crystals
- Dynamics of 3-dimensional crystal
- Phonons are bosons
- Einstein and Debye models. Phonon specific heat.

## **Chapter 4 Electrons in crystalline solids**

- Potential periodicity and the free electron model. Electronic band structure.
- The Bloch theorem.
- The quasi-free electrons model.
- The tight-binding model. Energy bands and gaps.
- The electronic density of states.
- Dynamics of electrons in a crystal. Effective mass. Electrons and holes. Hall effect.
- Classification of solids from their electronic structure
- Thermal conduction and the Wiedemann-Franz law.

## **Chapter 5. Magnetic properties**

- Paramagnetism and diamagnetism. Magnetization and magnetic susceptibility.
- Ferromagnetism. Weiss molecular field and mean field theory. Domains.
- Spin waves. Magnetization and specific heat.

# ELECTROMAGNETISME ET MATIERE

## 6 ECTS

**Enseignants :**  
Jacques Marteau (CM/TD)

Cours : 30 heures ; TD : 30 heures

Le but de cette U.E. est de reprendre les fondements de la théorie de l'**électromagnétisme classique** et **non-relativiste** et d'étudier en détail les interactions entre les champs et leurs sources : particules accélérées, particules libres ou liées dans la matière. Les principaux concepts abordés sont ceux de potentiels et de champs retardés, de théorie de la réponse linéaire et de développement multipolaire.

Rappels (Loi de Gauss, Ampère, champs E, B, D et H, équations de Maxwell dans le vide et dans la matière)

### **A – Structure fondamentale de l'électrodynamique classique**

- 1) Introduction
- 2) Lois de conservation en électrodynamique classique
- 3) Potentiels scalaires et vecteurs, jauge, invariance de jauge – Equation d'onde
- 4) Solutions de l'équation d'onde – Fonctions de Green – Potentiels retardés

### **B – Sources du rayonnement électromagnétique**

- 1) Rayonnement d'une particule en mouvement – Potentiels de Lienard-Wiechert – Rayonnement d'antennes
- 2) Développement multipolaire. Sources localisées.
- 3) Sources atomiques du rayonnement

### **C – Electromagnétisme dans la matière**

- 1) Equations de Maxwell pour les champs macroscopiques
- 2) Théorie de la réponse linéaire
- 3) Propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu linéaire, homogène, isotrope

# ELECTROMAGNETISM AND MATTER

## 6 ECTS

### Enseignants :

Michel Farizon (CM), Pierre-François Brevet (TD)

Cours : 30 heures ; TD : 30 heures

**Introduction:** Maxwell Equations in Vacuum and in Media, Gauss' and Ampère's Laws and the Fields, Orders of Magnitude.

#### *Part A: The Fundamental Structure Underlying Classical Electrodynamics*

**A1- The Conservation Laws in Classical Electrodynamics:** Conservation of Charge, Conservation of Energy, Poynting's Theorem for Harmonic Fields, Conservation of Linear and Angular Momentum.

**A2- Potentials and Wave Equation:** Scalar and Vector Potentials, Gauge Transformations.

**A3- Solutions of the Wave Equation:** Solutions in Free Space, Green's Functions for the Wave Equation, Retarded Solutions for the Fields.

#### *Part B: Radiation by Moving Charges*

**B1- Radiation by a Moving Point Charge:** Liénard-Wiechert Potentials, Fields-Power Radiated by a Point Charge, Radiation Reaction, Classical Lifetime of a Bohr Atom, Oscillating Dipole Radiation.

**B2- Multipole Expansion of the Electromagnetic Fields:** Multipole Expansion of the Vector Potential, The terms in the Multipole Expansion, Antenna Radiation.

**B3- Atoms and Radiation:** Thomson Atomic Model, Spontaneous Emission, Scattering of Harmonic Electromagnetic Radiation (Induced Dipole, Rayleigh' and Thomson's Scattering, Resonant Scattering), Semi-Classical Approach (Interaction Hamiltonian, Time Evolution of the State Population, Absorption and Stimulated Emission, Non-Resonant Scattering), *Dense Medium Light Scattering*

#### *Part C: Electrodynamics in a Medium*

**C1- Derivation of the Equations of Macroscopic Electromagnetism:** Spatial Averaging, The Macroscopic Charge Density, The Macroscopic Current Density.

**C2- Linear Response Theory:** Susceptibilities, Electric Polarizability, Magnetic Polarizability (Diamagnetism and Paramagnetism), Relation between Polarizability and Susceptibility, *Kramers Krönig Relations*.

**C3: Propagation of Electromagnetic Waves in Linear Media:** Propagation Equation, Dielectrics, Conductors, *Waves on Boundaries*.

## **INSERTION PROFESSIONNELLE 3 ECTS**

**Responsable** : Stéphane PERRIES/ SOIE  
**Cours** : 30 heures  
**INSERTION PROFESSIONNELLE**

L'année de M1 est une année charnière puisque vous êtes amenés à choisir votre orientation à la fin du S1 pour intégrer un parcours du M2 de physique.

7 parcours sont proposés dans le master de Physique : ASTRO, CDIM, ITC, PAMMCO, PHYSIQUE-CHIMIE, SUBA, SYVIC. Leur diversité demande à bien les connaître être proactif dans la réflexion et le développement de votre projet professionnel.

L'UE a pour objectif de vous aider à développer et affiner votre projet professionnel mais également de vous ouvrir à différents aspects de la vie de l'entreprise/laboratoire.

Les outils utilisés sont les suivants :

- 1 atelier CV/ Lettre de Motivation et Portefeuille de compétences
- 1 atelier sur les méthodologies de recherche d'information, les outils de bibliographie très utilisés en recherche, la fiabilité des sources ainsi qu'une initiation à la veille technologique
- Présentation des parcours du M2 de Physique.
- Conférences par des chercheurs des laboratoires IPNL, ILM, INL, LMA
- Conférences sur les métiers possibles à l'issue du Master de Physique
- Conférences par des cadres en entreprise
- Participation active au Forum entreprises Sciences et Technologies de la FST
- Rédaction d'un projet professionnel

# ANGLAIS POUR LA COMMUNICATION PROFESSIONNELLE NIVEAU 1

## ANGLAIS 3 ECTS

**Responsable** : Nathalie DOURLOT / SCEL  
**Cours** : 30 heures

### **Descriptif du cours** :

#### **Ecrit**

Compréhension et rédaction d'articles et de notices techniques, de rapports, de correspondance professionnelle formelle et informelle (lettre de motivation par exemple). Compréhension d'articles scientifiques, rédaction d'abstract.

#### **Oral**

Savoir expliquer des technologies, processus, méthodologies liés au domaine d'étude. Maîtriser la communication formelle et informelle pour pouvoir s'exprimer avec spontanéité lors d'une réunion professionnelle, d'un entretien de nature professionnelle (recrutement, entretien d'évaluation annuelle, conversation téléphonique, négociation, etc.),

#### **Communication**

Pouvoir présenter un diaporama en lien avec le domaine d'étude de façon formelle et informelle. Pouvoir participer de façon active à un congrès de type congrès international (présentation orale de travaux de recherche)

### **Evaluation** :

Contrôle Continu Intégral.  
3 ects

## **DESCRIPTION DES UE DU SEMESTRE 2**

### **UEs du TRONC COMMUN**

#### **PHYSIQUE EXPERIMENTALE**

6 ECTS

#### **Responsable :**

Laurent DUCROUX

TP : 52 H

L'U.E. est composée de 13 TP de 4 heures. Sur ces 13 TP, 9 sont communs (TP TRONC COMMUN) et couvrent l'ensemble du programme de master première année et 4 autres TP dépendent du parcours choisi (TP OPTION). Le nombre de crédits de l'U.E. est de 6 ECTS.

#### **TP TRONC COMMUN**

1. Effet Zeeman
2. Pompage optique
3. Méthode des coïncidences
4. Spectrométrie gamma
5. Compteur Geiger-Müller, activation neutronique et considérations statistiques
6. Mesure de la durée de vie du niveau excité à 59,5 keV du  $^{237}\text{Np}$  par conversion temps-amplitude
7. Étude d'un compteur de neutrons à tri fluore de bore
8. Propagation d'ondes ultrasonores dans les milieux élastiques
9. Gouttes rebondissant à la surface d'un fluide

#### **TP OPTION**

Chaque étudiant doit choisir un bloc d'option de 4 TP de 4 heures.

##### **A. Traitement du signal et électronique**

- Analyse de Fourier de signaux usuels
- Étude du multiplexage
- Échantillonnage
- Détection synchrone

##### **B. Optique cohérente**

- Spectroscopie de fluorescence résolue en temps
- Formation et traitement des images
- Holographie et interférométrie
- Réalisation d'un laser He-Ne

##### **C. Énergétique**

- Pompe à chaleur
- Diffusivité thermique
- Cellule photovoltaïque
- Pompage hydraulique par énergie solaire



# MODELISATION NUMERIQUE

3 ECTS

## Enseignants :

Abdul-Rahman ALLOUCHE, Florian KULZER, Franck RABILLOUD

Cours : 6 heures ; TP : 40 heures

- Cours de langage C/C++
- Initiation à Linux
- Résolution d'un projet de Physique sur machine avec analyse détaillée des résultats.

Les sujets proposés sont les suivants :

- Dynamique moléculaire et thermodynamique à l'équilibre
- Simulation d'un gaz sur réseau
- Modèle d'Ising
- Mécanique céleste
- États de diffusion pour l'équation de Schrödinger 1D stationnaire
- Solitons dans une chaîne d'oscillateurs couplés
- Formation d'agrégats
- Modèle d'inversion de la molécule d'ammoniac
- Propagation d'une « onde de chute » dans une chaîne de dominos

# STAGE EN MILIEU PROFESSIONNEL

6 ECTS

**Responsable :**  
Laurent JOLY

L'objectif du stage de première année de master est de conforter votre choix d'orientation vers l'un des six parcours du master. Il vous permet de découvrir votre prochain environnement professionnel. De plus, ce stage vous prépare à une insertion professionnelle, en vous amenant à développer les outils nécessaires à la réalisation d'un stage et les compétences utiles à votre objectif professionnel. Le stage dure six semaines. Il peut se dérouler :

- en laboratoire
- en milieu industriel
- à l'étranger

Pour votre recherche d'un stage, vous devez vous appuyer sur les trois journées d'ateliers de l'UE « Insertion professionnelle », portant sur « Rechercher un stage, un emploi ». L'un des objectifs visés par cette UE « Stage » est de vous guider vers une recherche en autonomie du stage.

A l'issue du stage de six semaines minimum, une note de synthèse de quatre à six pages sera à fournir, et une présentation orale devant un jury sera organisée. Une identification des compétences acquises via le Portefeuille d'Expériences et de Compétences sera à élaborer.

L'élaboration portera sur le déroulement du stage, la note de synthèse, la présentation et la fiche de compétences.

## Calendrier :

- La recherche du stage se déroule entre septembre et février. Pour un stage à l'étranger, il est particulièrement important d'identifier le stage rapidement.
- Les conventions doivent être finalisées pour le 23 mars : compter un mois entre l'obtention d'un stage et la finalisation d'une convention. Dans certains cas, (stage à l'étranger par exemple), cela peut être plus long.
- Le stage commence à l'issue des cours de Semestre 2, le 30 avril.
- Le rapport de stage et la soutenance orale se préparent après le stage.
- Soutenance entre le 9 et le 13 juillet. Pour les stages à l'étranger, la soutenance peut se faire à distance

Le document « Guide de l'étudiant » vous aidera tout au long du processus, de la recherche à la soutenance. Dès septembre, une permanence vous permettra de rencontrer régulièrement le responsable de l'UE Stage.

## ***UEs constitutives des pré-parcours***

### **ANALYSE DES STRUCTURES ET DES NANOSTRUCTURES**

#### **Enseignants :**

Stéphane GAVARINI

Cours : 15 heures ; TD : 6 heures ; TP : 9 heures

La caractérisation structurale et microstructurale des matériaux, et en particulier des nanomatériaux, devient de plus en plus importante dans de nombreux secteurs industriels, notamment la chimie de spécialité, la chimie fine, l'industrie textile, l'électronique, l'aérospatiale, le nucléaire, le domaine pharmaceutique, etc...

Le terme "nanotechnologie" désigne le domaine de la science où de nouveaux phénomènes physico-chimiques apparaissent à l'échelle nanométrique. Comprendre les propriétés fondamentales de la matière à cette échelle est donc primordial, pour pouvoir apporter une expertise des plus précises et fiables.

Cette UE porte sur des techniques d'analyse permettant la caractérisation structurale et microstructurale des matériaux et se focalise en particulier sur le cas des nanomatériaux.

#### **COURS :**

Théorie : Lois d'échelle – Forme des cristaux - théorème de Wulff : 3h

Microscopie électronique et à sonde locale : 3h

II- Spectroscopie Raman et Infra-Rouge : 3h

III- Spectrométrie photo électronique par rayons X (XPS) : 3h

IV – Spectrométrie d'absorption X (EXAFS et XANES) : 3h

**TD** : 2h XPS, 2h Raman/IR, 2h XAS

**TP** : 3h30 XPS, 3h30 Raman/IR, 2h Microscopie électronique

Objectifs visés par cette UE : L'objectif premier pour les étudiants est d'être capable de décider du choix ou non d'une technique d'analyse structurale et microstructurale parmi celles étudiées dans l'UE, de comprendre sa mise en œuvre et d'avoir les bases pour interpréter les résultats obtenus. Suite à cet enseignement, les étudiants pourront évaluer la place de ces techniques dans le cas d'analyses comparatives, en particulier dans le cas des nanomatériaux dont ils auront compris les spécificités.

#### Compétences techniques acquises :

- du vide,
- d'acquisition en ligne,
- de détection des rayonnements

#### Secteur d'activité concerné :

- Analyses structurales et microstructurales
- Analyses de surface
- Domaine des nanomatériaux

# ASTROPHYSIQUE

## Enseignants :

Jean-François GONZALEZ

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

## COSMOLOGIE ET MATIERE NOIRE :

- Dynamique à grande échelle et contenu de l'Univers, quintessence, constante cosmologique
- Histoire thermique de l'Univers à partir du Big Bang, inflation o Formation et évolution des galaxies
- Questions ouvertes sur les théories actuelles

## LE CYCLE DES ELEMENTS :

- Nucléosynthèse primordiale
- Abondance des éléments : dans les étoiles, les météorites du système solaire, le milieu intergalactique...
- Structure et évolution des étoiles conduisant à la fabrication des éléments lourds
- Recyclage du gaz et des éléments, évolution chimique du milieu interstellaire vers des molécules complexes

# INSTRUMENTATION OPTIQUE ET LASERS

Enseignants :

Jérôme MORVILLE, Clémentine SYMONDS

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

## I. Instrumentation Optique

1. Imagerie
  - a) Outils
  - b) Analyse
2. Propagation des faisceaux gaussiens
  - a) Formalisme
  - b) Systèmes optiques
3. Interférométrie
  - a) Michelson et Transformée de Fourier
  - b) Franges optiques parasites
4. Spectrométrie
  - a) Concept de résolution
  - b) Utilisation des réseaux de diffraction

## II. Lasers

1. Milieu amplificateur
2. Processus élémentaires et coefficients d'Einstein
3. Equation Bilan et Inversion de population
  - a) Système à trois niveaux
  - b) Système à quatre niveaux
4. Amplificateur
  - a) Gain linéaire
  - b) Gain saturé
5. Cavité optique
  - a) Réponse spectrale et temporelle
  - b) Modes propres et faisceaux gaussiens
6. Equations du laser
  - a) Solutions stationnaires
  - b) Analyse de stabilité linéaire
7. Aspect spectral : courbe de gain
  - a) Laser monomode
  - b) Laser multimode
8. Fonctionnement par impulsion
  - a) Laser à pertes déclenchées
  - b) Laser à modes synchronisés
9. Revue technique
  - a) Laser à colorant
  - b) Laser YAG
  - c) Laser Titane Saphir
  - d) Laser Diode
  - e) Laser Hélium Néon

Visite de laboratoire

# INTERACTIONS RAYONNEMENTS-MATIERE

## Enseignants:

Etienne TESTA, Patrick NEDELEC

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

### Contexte scientifique

L'interaction des rayonnements avec la matière intervient dans de nombreux domaines à la fois en recherche fondamentale (physique des particules, physique nucléaire, physique atomique...) et en recherche appliquée (physique médicale, physique des matériaux, techniques d'analyse de surface...) ainsi que dans le domaine de la radioprotection. Les rayonnements traités dans cette UE sont des rayonnements ionisants : ions, électrons, photons (rayons X et gamma) et neutrons. Cette UE est donc complémentaire avec l'UE « Electromagnétisme et matière » qui traite essentiellement de l'interaction des photons visibles avec la matière.

### Contenu de la formation

Lorsqu'on parle de l'interaction des particules avec la matière, on fait référence à la cascade de processus élémentaires que subit une particule lors d'une traversée d'un milieu (solide, liquide ou gazeux). La première séance du cours a pour but de situer les différents types de processus en jeu en fonction de l'énergie des particules et d'effectuer quelques rappels sur les forces fondamentales et la relativité restreinte.

La première partie du cours présente les interactions des différents types de particules (ions,  $e^-/e^+$ , rayons gamma, neutrons...) ainsi que leur modélisation qui est illustrée en TD par l'utilisation de Geant4 (code Monte Carlo open source). Deux séances de TD sont consacrées à l'utilisation de ces outils.

Différentes applications de la physique de l'interaction des rayonnements avec la matière seront présentées dans la deuxième partie du cours. On peut mentionner à titre d'exemple les détecteurs de rayonnements ionisants (chambres à gaz, scintillateurs, semi-conducteurs...), les microscopes électroniques, les analyses par faisceaux d'ions (RBS, FIB...) et par faisceaux de photons (XPS, XAS...) et quelques notions fondamentales de statistiques de détection seront évoquées pour permettre aux étudiants d'estimer des incertitudes de mesures relativement simples.

### Eléments de bibliographie

Détection de rayonnements et instrumentation nucléaire, A. Lyoussi, EDP Sciences (2010)

Radiation Detection And Measurement, Glenn F. Knoll, 4ème édition (2010)

Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How-To Approach, W. R. Leo, Springer.

### **Mode d'évaluation**

Contrôle continu sans document autorisé

# LIQUIDES, INTERFACES et BIOPHYSIQUE

## Enseignants :

Stella RAMOS CANUT, Hélène AYARI-DELANOE, Charlotte RIVIERE, Sylvain MONNIER et Christophe PIRAT

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

Cette UE se divise en deux parties.

Dans la première sont abordés des phénomènes inter faciaux et dans la deuxième une introduction à la Biophysique est proposée.

### **Liquides et Interfaces**

Capillarité et Mouillage :

Lois fondamentales et aspects expérimentaux

Interfaces spéciales

Forces intermoléculaires :

Interactions Van der Waals

Forces électrostatiques entre deux surfaces en milieux liquides ;

Aspects expérimentaux : mesures par microscopie à force atomique.

### **Petite introduction à la biologie cellulaire et tissulaire**

Les tissus : des fluides complexes.

Rhéologie et lois capillaires.

Mouvement cellulaire.

Outils micro fluidique pour la biologie.

# MECANIQUE QUANTIQUE AVANCEE

**Enseignants :**

Dimitrios TSIMPIS

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

1- Théorie de la diffusion (section efficace, Ondes partielles, Matrice de transition, Diffusion de particules identiques)

2- Interaction radiation-matière (traitement de la radiation comme un oscillateur, particule dans un champ avec couplage minimal + exemples tirés de la physique du solide)

3- Représentation du spin et méthodes tensorielles (lien avec les rotations, OTI)

4- Equations d'onde relativiste (équation de Klein-Gordon, équation de Dirac + application au moment magnétique de l'électron et à l'atome d'hydrogène)



# NANOSCIENCES

## Enseignants :

Catherine JOURNET, Alexandre TAMION

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

### 1. Introduction et lois d'échelle

### 2. Formes d'équilibre, fullerènes et nanotubes

- a) Forme des cristaux Notions de cristallographie/ théorème de Wulff
- b) Phénomènes d'adhésion
- c) Fullerènes
- d) Nanotubes

### 3. Nanofabrication

- a) Forme en place
- b) Synthèse en phase gazeuse
- c) Synthèse par voie physique
- d) Chimie humide/ Les colloïdes
- e) Création de nanostructures

### 4. Caractérisation

- a) La microscopie électronique (MET, MEB, Le microscope en transmission à balayage (METB))
- b) La microscopie à sonde locale (STM, AFM)
- c) Spectroscopies

### 5. Les électrons dans la matière

- a) Puits de potentiel 1D
- b) Puits de potentiel 3D

### 6. Propriétés optiques

- a) Densité d'état 3D/2D/1D/0D
- b) Propriétés des excitons dans les structures nanométriques
- c) Spectrométrie

### 7. Propriétés électroniques

- a) Le transistor MOS ou MOSFET
- b) Les limites du CMOS
- c) Dispositifs tunnel résonants
- d) Dispositifs à un électron
- e) Applications des dispositifs à un ou quelques électrons

### 8. Propriétés magnétiques

- a) Généralités/Le macrospin
- b) Le modèle de Stoner et Wohlfarth (retournement cohérent de l'aimantation dans un agrégat magnétique)
- c) Le superparamagnétisme
- d) Applications (médicale / enregistrement numérique)

### 9. Applications

- a) La nanoélectronique et l'informatique
- b) Mémoires de masse
- c) La nanomédecine
- d) La mécanique

e) La cosmétique

## **NOYAUX ET RADIOACTIVITE**

### **Enseignants :**

Corinne AUGIER, Stéphane PERRIES

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

- 1- Vallée de stabilité - Goutte liquide BW
- 2- Radioactivité alpha- beta –gamma-fission.
- 3- Nature des transitions règles de sélection Emission beta et gamma + conversion électronique
- 4- Dosimétrie et radioprotection.
- 5- Section efficace et collisions

# PHYSIQUE ATOMIQUE ET MOLECULAIRE

## Enseignants :

Marie-Ange LEBEAULT, Driss RAYANE

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

### Physique Atomique

- I Introduction
- II Effets relativistes de l'atome d'hydrogène
- III Atome à deux électrons
- IV Atome à plusieurs électrons
- V Structure Hyperfine
- VI Atome en champ électrique : effet Stark
- VII Atome en champ magnétique : effet Zeeman
- VIII Résonance Magnétique
- IX Interaction d'un atome avec le champ électromagnétique
- X Résonances optiques

### Physique Moléculaire

- XI Introduction à la Physique Moléculaire
- XII Rotateur rigide
- XIII Vibrations des molécules

# PHYSIQUE DES CAPTEURS

**Enseignants :**  
Gianpietro CAGNOLI

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

## 1- Capteurs de température

Thermoélectricité : thermocouples ; conductivité électrique dans les matériaux : thermométrie par résistance et thermistances ; température mesurée/température à mesurer (auto-échauffement) ; Pyrométrie optique

## 2- Capteurs optiques

Bases de radiométrie/photométrie ; Les photorécepteurs de l'œil; Caractéristiques métrologiques propres aux capteurs optiques (défectivité, bruit, Noise Equivalent Power) ; photoconducteurs, photodiodes ; capteurs émissifs: le photomultiplicateur (PM), les galettes de micro canaux ; capteurs d'images : principe des CCD (Charge-Coupled Device)

## 3- Capteurs de pression de vide

Transfert thermique dans les gaz (jauge Pirani) ; Ionisation dans les gaz (jauge à ionisation de type Penning ou Bayard Alpert)

# PHYSIQUE DES PARTICULES

**Enseignants :**

Stéphane PERRIES

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

## 1- Phénoménologie des particules et de leurs interactions

- Historique et ordre de grandeurs
- Classification des particules élémentaires
- Diagrammes de Feynman

## 2- Aspects expérimentaux

- Accélérateurs
- Détecteurs
- Observables expérimentales

## 3- Symétries et Modèle des quarks

- Rappels sur les symétries en mécanique quantique et la théorie des groupes
- Symétrie d'isospin SU(2)
- Symétrie de saveur SU(3)
- Fonction d'onde des baryons et des mésons

## 4- Taux de désintégration et section efficace (formulation covariante)

## 5- Interaction par échange de particules

- Théorie des perturbations au premier et au second ordre
- Diagrammes de Feynman et particules virtuelles
- Introduction à l'électrodynamique quantique (QED)
- Règles de Feynman pour QED

## 6- Calculs de processus simples en QED

- Annihilation électron-positron
- diffusion Bhabha
- diffusion Moller

# PHYSIQUE DU NOYAU ET MATIERE NUCLEAIRE

**Enseignants :**

Jules GASCON

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures ;

- 1- Densité et rayon nucléaire + paramètre d'impact + facteur de forme
- 2- Modèle en couche + Déformations
- 3- Interaction nucléon-nucléon + isospin
- 4- Collisions centrales et périphériques – fusion/fission/résonances
- 5- Equation d'état et diagramme de phase (noyau et plasma de quarks et gluons)

# PHYSIQUE STATISTIQUE DES SYSTEMES EN INTERACTIONS ET TRANSITIONS DE PHASES

## Enseignants :

Thierry BIBEN, Tristan ALBARET  
Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

### 1- Discussion du Modèle d'Ising :

- Version 1D
- résultats 2D
- dimension critique (+lois d'échelles)

### 2- Modèle de Landau, longueur de corrélation, limite du champ moyen

### 3- Gaz réel, gaz de Van der Waals

### 4- Transition Liquide-Gaz (d'après un modèle de Van der Waals)

### 5- Aspects atomistiques/moléculaires :

- fonction de corrélation de paire
- autocorrélation des vitesses
- quantités thermodynamiques moyennes dans un système avec interactions

# REACTEURS NUCLEAIRES

## Enseignants :

Philippe PONCHARAL

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

- Introduction au réacteur nucléaire et notions de neutronique.
- Modèle de réacteur infini homogène stationnaire, formule des 4 facteurs.
- Laplacien géométrique et Laplacien matière, notion de masse critique et réacteur fini.
- Ralentissement des neutrons et théorie multi groupe, couplage espace-énergie.
- Équations de Nordheim et cinétique du réacteur.
- Évolution du combustible dans le cœur et gestion du combustible.



# RELATIVITE GENERALE

## **Enseignants :**

Alexandre ARBEY

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures ;

### Relativité restreinte

- transformation de Lorentz
- formalisme covariant

### Relativité générale

- formalisme des espaces courbes de Riemann, avec l'introduction du tenseur métrique, de la connexion affine et du tenseur de Riemann, et l'étude du déplacement parallèle.
- Principe d'équivalence
- Généralisation de la gravitation newtonienne aux espaces courbes
- Les équations d'Einstein.
- Métriques de Schwarzschild et de Robertson et Walker
- Applications

# THEORIE CLASSIQUE DES CHAMPS

## Enseignants :

François GIERES

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

### 1- Le groupe des rotations dans $R^3$ :

- Le groupe de Lie  $SO(3)$ , son algèbre de Lie et leurs représentations (notamment lien avec l'opérateur de moment cinétique en mécanique quantique)
- Relation entre  $SO(3)$  et  $SU(2)$

### 2- Le groupe d'invariance relativiste :

- Espace de Minkowski, quadrivecteurs
- Groupe de Lorentz et ses composantes (rotations, boosts, parité, renversement du temps), algèbre de Lie et exemple de représentations
- Groupe de Poincaré
- Applications physiques en cinématique (collisions)
- Tenseurs et champs relativistes ; exemples physiques

### 3- Equations de Maxwell en notation covariante :

- Tenseur de Faraday
- invariants relativistes
- invariance de jauge

### 4- Formulation Lagrangienne de la théorie des champs classique :

- Rappel de mécanique analytique (notamment particule chargée dans un champ électromagnétique, couplage minimal) ; de la mécanique à la théorie des champs : limite continue d'une chaîne infinie d'oscillateurs harmoniques
- Formulation lagrangienne pour une collection de champs relativistes : Principe variationnel et équations du mouvement ; exemples : équation de Klein-Gordon et équations de Maxwell
- Théorème de Noether (courants et charges conservées) et application aux symétries géométriques (tenseurs d'énergie-impulsion et de moment cinétique) et aux symétries internes (charge électrique)

# TRAITEMENT DU SIGNAL

## Enseignants :

Pascal KLEINMAN, Louis RENAUD

Cours : 16 heures ; TD : 14 heures

### Généralités sur les signaux

- Classification des signaux
- Opérations élémentaires sur les signaux
- Etudes de signaux particuliers pour le TS : Heaviside, Porte, et impulsion de Dirac

### Analyse spectrale des signaux

- Base de Fourier (Décomposition en série de Fourier, Transformée de Fourier)
- Théorème de Parseval
- Analyse spectrale des signaux dans la pratique

### Les systèmes linéaires Invariants : Approche temporelle et fréquentielle

- Réponse temporelle (équation différentielle à coefficients constants)
- Réponses indicielle et impulsionnelle
- Convolution
- Fonction de transfert, Diagramme de Bode

### Le bruit

- Approche statistique
- Description temporelle (fonction d'autocorrélation)
- Description fréquentielle (densité spectral de puissance de bruit)
- Bruit blanc et filtrage, bruit rose, somme de bruit

### Introduction au Traitement numériques des signaux

- Echantillonnage, quantification et codage
- Analyse spectrale des signaux numériques : Transformée de Fourier Discrète
- Filtrage numérique : Equation aux différences, Transformée en z, Filtres récursifs et non récursifs.