

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**HARMONISATION**

**OFFRE DE FORMATION MASTER**

**ACADEMIQUE**

<b>Etablissement</b>	<b>Faculté / Institut</b>	<b>Département</b>
<b>Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou</b>	<b>Faculté des Sciences</b>	<b>Physique</b>

**Domaine : Sciences de la matière**

**Filière : Physique**

**Spécialité : Nanophysique**

**Année universitaire : 2016/2017**

# الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

## وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

### مواظمة

### عرض تكوين ماسرر

### أكاديمي

القسم	الكلية/ المعهد	المؤسسة
الفيزياء	العلوم	جامعة مولود معمري تيزي وزو

الميدان : علوم المادة

الشعبة : فيزياء

التخصص : نانوفيزياء

السنة الجامعية: 2016/2017

# SOMMAIRE

<b>I - Fiche d'identité du Master</b>	-----
1 - Localisation de la formation	-----
2 - Partenaires de la formation	-----
3 - Contexte et objectifs de la formation	-----
A - Conditions d'accès	-----
B - Objectifs de la formation	-----
C - Profils et compétences visées	-----
D - Potentialités régionales et nationales d'employabilité	-----
E - Passerelles vers les autres spécialités	-----
F - Indicateurs de suivi de la formation	-----
G - Capacités d'encadrement	-----
4 - Moyens humains disponibles	-----
A - Enseignants intervenant dans la spécialité	-----
B - Encadrement Externe	-----
5 - Moyens matériels spécifiques disponibles	-----
A - Laboratoires Pédagogiques et Equipements	-----
B- Terrains de stage et formations en entreprise	-----
C - Laboratoires de recherche de soutien au master	-----
D - Projets de recherche de soutien au master	-----
E - Espaces de travaux personnels et TIC	-----
<b>II - Fiche d'organisation semestrielle des enseignement</b>	-----
1- Semestre 1	-----
2- Semestre 2	-----
3- Semestre 3	-----
4- Semestre 4	-----
5- Récapitulatif global de la formation	-----
<b>III - Programme détaillé par matière</b>	-----
<b>IV – Accords / conventions</b>	-----

**I – Fiche d'identité du Master**  
**(Tous les champs doivent être obligatoirement remplis)**

# 1 - Localisation de la formation :

Faculté : **Faculté des sciences**  
Département : **Département de physique**

## 2- Partenaires de la formation \*:

- Autres établissements partenaires : **Néant**
- Entreprises et autres partenaires socio économiques : **Néant**
- Partenaires internationaux : **Néant**

## 3 – Contexte et objectifs de la formation

### Organisation générale de la formation : Position du projet

Le projet d'offre de formation de second cycle intitulée « Nanophysique » de l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou entre dans le cadre de l'opération d'harmonisation des masters. Il regroupe les 3 offres de formations de masters de la filière physique habilitées de l'université de Tizi Ouzou depuis 2007 à ce jour :

N°	Domaine	Filière	Spécialité	Finalité	Arrêté d'habilitation
01	SM	Physique	Physique de la matière de dimensionnalité réduite	A	N°206 du 01/07/2009
02	SM	Physique	Physique de la matière de basse dimensionnalité	A	N°324 du 01/10/2012
03	SM	Physique	Physique de l'interaction rayonnement matière	A	N°324 du 01/10/2012

Dans cette formation, l'étudiant poursuit :

- un ensemble de matières dites « obligatoires », permettant à cet étudiant d'acquérir les compétences dans le domaine de la nanophysique en général et les connaissances de physique et de mathématiques requises pour cette spécialité.
- et un autre ensemble de matières au choix dites « optionnelles », permettant à l'étudiant d'acquérir un profil complémentaire plus pointu dans le domaine de la nanophysique.

Le détail de ce profil complémentaire n'apparaîtra pas dans la feuille du diplôme mais sera bien décrit dans le document descriptif annexé au diplôme de master (Arrêté N°453 du 09/12/2012).

Le choix des matières optionnelles sera proposé sous forme de paquets adaptés au complément du profil choisi. Les profils possibles sont, entre autres : « Photonique et nanophotonique », « Nanomatériaux et surfaces », ...

### **A – Conditions d'accès** (indiquer les spécialités de licence qui peuvent donner accès au Master)

- Accès sans condition aux titulaires de la licence régime LMD en physique fondamentale, physique des matériaux, physique des rayonnements, physique théorique et physique appliquée.

- Accès sur examen du dossier par l'équipe de formation aux titulaires d'un diplôme équivalent. Des connaissances en mécanique quantique, en physique de la matière condensée ainsi qu'en physique statistique sont exigées.

## **B - Objectifs de la formation** (*compétences visées, connaissances pédagogiques acquises à l'issue de la formation- maximum 20 lignes*)

Le but de ce Master est d'assurer une formation générale équilibrée dans le domaine de la physique fondamentale. Il est axé, sur un enseignement des concepts, des méthodes et des outils nécessaires dans de nombreux domaines de la Physique et un approfondissement dans le domaine de la nanomatériaux et nanophotonique où les équipes des laboratoires de l'Université de Tizi-Ouzou développent une activité de recherche très diversifiée, concernant, les matériaux de basse dimensionnalité, les diélectriques, l'interaction rayonnements matière et la nano-optique.

## **C – Profils et compétences métiers visés** (*en matière d'insertion professionnelle - maximum 20 lignes*) :

Ce Master a pour objet la formation, par la recherche, des physiciens avec une solide formation théorique qui pourront ainsi s'orienter, aisément, aussi bien vers des activités de modélisations théoriques qu'expérimentales, dans les nombreux domaines où le rôle de la physique est important. En somme, les connaissances qui seront acquises à l'issue de cette formation sont :

- Acquisition de connaissances approfondies en physique de la matière condensée et en particulier en basse dimensionnalité.
- Acquisition des techniques de modélisation/simulation dans le domaine des nanomatériaux.
- Acquisition des techniques expérimentales d'analyse et de caractérisation des matériaux
- Acquisition de connaissances approfondies en physique de la matière condensée et en particulier en nano-optique.
- Acquisition des techniques de modélisation/simulation dans le domaine des nanomatériaux, des lasers et de la photonique.

## **D- Potentialités régionales et nationales d'employabilité des diplômés**

La formation obtenue à l'issue de ce Master donnera au lauréat la possibilité de s'inscrire en thèse de doctorat. Elle lui permettra également de postuler à divers types d'emploi dans l'enseignement, centres de recherche scientifique et dans le milieu socioéconomique ayant une relation avec l'élaboration et la caractérisation des matériaux, les lasers et la photonique.

## **E – Passerelles vers d'autres spécialités**

## **F – Indicateurs de suivi de la formation**

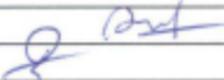
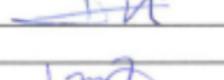
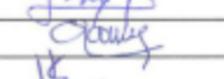
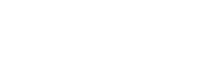
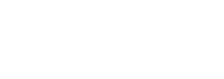
- Bilan pédagogique semestriel
- Suivi du nombre d'étudiants inscrits.
- Taux de réussite.
- Attirance des étudiants des autres universités nationales.
- Suivi du recrutement des étudiants titulaire du master

**G – Capacité d'encadrement** (donner le nombre d'étudiants qu'il est possible de prendre en charge) : 20 étudiants par année universitaire et par paquet optionnel.

<b>Grade</b>	<b>Effectif Interne</b>	<b>Effectif Externe</b>	<b>Total</b>
<b>Professeurs</b>	17	0	<b>17</b>
<b>Maîtres de Conférences (A)</b>	16	0	<b>16</b>
<b>Maîtres de Conférences (B)</b>	20	0	<b>20</b>
<b>Maître Assistant (A)</b>	24	0	<b>24</b>
<b>Maître Assistant (B)</b>	04	0	<b>04</b>
<b>Autre (préciser)</b>	0	0	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>81</b>	<b>0</b>	<b>81</b>

## 4 – Moyens humains disponibles

### A : Enseignants de l'établissement intervenant dans la spécialité :

Nom, prénom	Diplôme graduation + Spécialité	Diplôme Post graduation + Spécialité	Grade	Type d'intervention *	Emargement
BELKHIR Abderrahmane	DES - Physique	Habilitation - Physique	P	C, TD, TP, EM	
BENAKKI Mouloud	DES - Physique	Doctorat d'état - Physique	P	C, TD, TP, EM	
BENBRAHIM Nassima	DES - Physique	Doctorat d'état - Physique	P	C, TD, TP, EM	
BOUARAB Said	DES - Physique	Doctorat d'état - Physique	P	C, TD, TP, EM	
BOUZAR Hamid	DES - Physique	Doctorat d'état - Physique	P	C, TD, TP, EM	
DEGHICHE Djamel	DES - Physique	Habilitation - Physique	MCA	C, TD, TP, EM	
DJOUDER Madjid	DES - Physique	Doctorat - Physique	MCB	C, TD, TP, EM	
HAMIDI Mahdi	DES - Physique	Doctorat - Physique	MCB	C, TD, TP, EM	
ISSOLAH Arezki	DES - Physique	Doctorat d'état - Physique	P	C, TD, TP, EM	
LAMROUS Omar	DES - Physique	Doctorat d'état - Physique	P	C, TD, TP, EM	
MEFTAH Ali	DES - Physique	Habilitation - Physique	MCA	C, TD, TP, EM	
MEZEGHRANE Abdelaziz	DES - Physique	Habilitation - Physique	MCA	C, TD, TP, EM	
MOKDAD Rabah	Ingénieur d'État - Électronique	Habilitation - Physique	P	C, TD, TP, EM	
ZEMIRLI Mourad	DES - Physique	Doctorat d'état - Physique	P	C, TD, TP, EM	
ZIANE Abdelhamid	DES - Physique	Doctorat d'état - Physique	P	C, TD, TP, EM	

\* = Cours, TD, TP, Encadrement de stage, Encadrement de mémoire, autre ( à préciser)

## 5 – Moyens matériels spécifiques disponibles

**A- Laboratoires Pédagogiques et Equipements :** Fiche des équipements pédagogiques existants pour les TP de la formation envisagée (1 fiche par laboratoire)

Intitulé du laboratoire : **Microscopie électronique**

Capacité en étudiants : **02**

N°	Intitulé de l'équipement	Nombre	observations
01	Microscope électronique à balayage à haute résolution de type ESEM Philips XL30 TMP à filament de tungstène	01	

Intitulé du laboratoire : **Physique des matériaux et interaction rayonnement matière**

Capacité en étudiants : **72**

N°	Intitulé de l'équipement	Nombre	observations
01	Appareil à rayons X avec anti-cathode interchangeable (Cu) et interface RS232. Tension d'accélération 0 à 35 kV. Courant 0 à 1mA. Système d'acquisition et logiciel.	02	
02	Appareil à rayons X avec anti-cathode (Cu). Tension d'accélération 0 à 20 kV.	04	
03	Machine d'essai universelle 30kN. Accessoire pour test de traction, flexion, cisaillement, Brinell, emboutissage. Système de mesure électronique des déformations et de la force. système d'acquisition de données sur PC	02	
04	Equipement de mesure de la constante diélectrique des matériaux	02	
05	Ensemble d'équipements pour mesurer: - l'effet hall dans les métaux, -propriétés des semi-conducteurs (GAP), -magnétorésistance mesure du GAP.	04	
06	Equipement pour l'étude de la diffraction électronique	04	
07	Equipement pour la mesure de la viscosité des liquides	04	
08	Equipement de mesure de la flexion des barres de différents matériaux	04	
09	Equipement pour l'étude de transport de la chaleur par rayonnement (Lois de l'Ambert, loi de Boltzmann, facteur de forme, émissivité des matériaux .....)	04	
10	Ensemble d'équipements pour l'étude des propriétés magnétiques des matériaux	04	
11	Ensemble d'équipements pour l'étude de l'expansion thermique de matériaux	04	

12	Ensemble d'équipements pour l'étude de la fluorescence de rayons X et loi de Moseley	04	
13	Ensemble d'équipements pour l'étude de l'effet Compton	04	
14	Ensemble d'équipements pour l'étude de l'effet photoélectrique	04	
15	Ensemble d'équipements pour l'étude de la dissipation d'énergie de particules □	04	
16	Système COBRA 3 et accessoire d'acquisition de données	05	
17	Micro-ordinateurs	06	
18	Réfractomètre d'ABBE	02	

### B- Terrains de stage et formation en entreprise :

Lieu du stage	Nombre d'étudiants	Durée du stage
Laboratoire de Physique et Chimie Quantique	20	01 semestre

### C- Laboratoire(s) de recherche de soutien au master :

Chef du laboratoire : Pr BOUZAR Hamid  
N° Agrément du laboratoire

Date : 16/02/2016  
Avis du chef de laboratoire : Favorable

### D- Projet(s) de recherche de soutien au master :

Intitulé du projet de recherche	Code du projet	début du projet	fin du projet
Étude théorique de la structure électronique et ionique ainsi que des propriétés dynamiques de la matière dense désordonnée (Amorphes, liquides)	D00520130 066	2014-01-01	2017-12-31
Conception et modélisation d'objets métallo diélectriques pour des applications en nano optique	D00520130 052	2014-01-01	2017-12-31
Étude des propriétés physico-chimiques de systèmes moléculaires et solides : Réactivité de complexes d'actinides et Agrégats de lacunes dans les structures CFC	D00520130 051	2014-01-01	2017-12-31

Magnétisme et vibration dans les couches minces, surfaces et interfaces Et interfaces avec brisures de symétries	D00520130 054	2014-01-01	2017-12-31
Étude des propriétés structurales, électroniques et magnétiques d'agrégats Libres à base de métaux de transition et de semi- conducteurs et réponse optique de surfaces de composés métalliques	D00520130 045	2014-01-01	2017-12-31
Extension et optimisation de la modélisation FDTD de nano-objets pour des applications en photonique	Pro Thème /34/2015	2015-01-01	2016-12-31
Pôle de micro et nanophotonique	Pro Thème /35/2015	2015-01-01	2016-12-31

### **E- Espaces de travaux personnels et TIC :**

- Laboratoire de recherche de Physique et Chimie Quantique (LPCQ) : au moins 20 postes.
- Salle de travaux pratiques de simulation et modélisation : 15 postes
- Laboratoire pédagogique de physique des matériaux et rayonnement : 18 postes
- Espaces TIC existants dans les différentes bibliothèques

## **II – Fiche d'organisation semestrielle des enseignements**

(Prière de présenter les fiches des 4 semestres)

## 1- Semestre 1

Unité d'Enseignement	VHS	V.H hebdomadaire				Coeff.	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem.	C	TD	TP	Autres			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UF1(O) : Physique fondamentale 1</b>									
Mécanique quantique approfondie	63h00	3h00	1h30			3	5	X	X
Physique du solide 1	63h00	3h00	1h30			3	5	X	X
Physique statistique avancée	42h00	1h30	1h30			3	4	X	X
<b>UF2(O) : Physique spécifique 1 (4 crédits au choix)</b>									
Physique des diélectriques et des surfaces	42h00	1h30	1h30			2	4	X	X
Introduction à la Physique des milieux ionisés	42h00	1h30	1h30			2	4	x	x
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UM(O) : Physique méthodologique 1</b>									
Électromagnétisme avancé	63h00	3h00	1h30			3	5	X	X
Physique numérique 1	21h00			3h00 (1/15j)		2	2	X	X
Physique expérimentale 1	21h00			3h00 (1/15j)		2	2	X	X
<b>UE transversale</b>									
<b>UT(O) : Ouvertures transversales 1</b>									
Anglais scientifique 1	21h00		1h30			1	2	x	x
Conduite de projet	21h00		1h30			1	1	X	X
<b>Total Semestre 1</b>	<b>357h00</b>	<b>13h30</b>	<b>9h00</b>	<b>3h00</b>		<b>20</b>	<b>30</b>		

## 2- Semestre 2

Unité d'Enseignement	VHS	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem.	C	TD	TP	Autres			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UF1(O) : Physique fondamentale 2</b>									
Magnétisme du solide et supraconductivité	42h00	1h30	1h30			3	4	X	X
Physique du solide 2	63h00	3h00	1h30			3	5	X	X
Physique des semi-conducteurs	42h00	1h30	1h30			2	4	X	X
<b>UF2(O) : Physique spécifique 2 (6 crédits au choix)</b>									
Interaction rayonnement matière	42h00	1h30	1h30			2	3	X	X
Physique moléculaire	42h00	1h30	1h30			2	3	X	X
Introduction à l'optique quantique	42h00	1h30	1h30			2	3	x	x
Théorie de la structure atomique	42h00	1h30	1h30			2	3	x	x
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UM(O) : Physique méthodologique 2</b>									
Théorie des groupes et cristallographie	42h00	1h30	1h30			2	4	X	X
Physique numérique 2	21h00			3h (1/15j)		2	2	X	X
Physique expérimentale 2	21h00			3h/(1/15j)		2	2	X	X
<b>UE transversales</b>									
<b>UT(O) : Ouvertures transversales 2</b>									
Anglais scientifique 2	21h00	1h30				1	2	2	x
Contrôle et concepts qualité	21h00	1h30				1	1	2	x
<b>Total Semestre 2</b>	<b>357h00</b>	<b>12h00</b>	<b>10h30</b>	<b>3h00</b>		<b>20</b>	<b>30</b>		

### 3- Semestre 3

Unité d'Enseignement	VHS	V.H hebdomadaire				Coeff.	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem.	C	TD	TP	Autres			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UF1(O) : Physique fondamentale 3</b>									
Propriétés électroniques des nanostructures	42h00	1h30	1h30			3	4	X	X
Cristaux photoniques	42h00	1h30	1h30			3	4	X	X
<b>UF2(O) : Physique spécifique 3 (9 crédits au choix)</b>									
Magnétisme et nanostructures magnétiques	42h00	1h30	1h30			2	3	X	X
Dynamique de vibration des systèmes de basse dimension	42h00	1h30	1h30			2	3	X	X
Chimie moléculaire	42h00	1h30	1h30			2	3	X	X
Plasmonique, nanostructures métalliques et organiques	42h00	1h30	1h30			2	3	X	X
Optique non-linéaire	42h00	1h30	1h30			2	3	X	X
Spectroscopie moléculaire	42h00	1h30	1h30			2	3	x	x
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UM(O) : Physique méthodologique 3</b>									
Modélisation numérique des nanostructures	42h00		3h			3	5	X	X
Elaboration des couches minces	21h00		1h30			1	2	X	X
Physique des lasers et des dispositifs optoélectroniques	42h00		3h			2	3	X	X
<b>UE transversales</b>									
<b>UT(O) : Ouvertures transversales 3</b>									
Exposé et rédaction scientifiques	21h00		1h30			1	2	X	X
Ingénierie pédagogique	21h00		1h30			1	1	X	X
<b>Total Semestre 3</b>	<b>357h00</b>	<b>12h</b>	<b>10h30</b>	<b>3h</b>		<b>20</b>	<b>30</b>		

#### 4- Semestre 4 :

Domaine : Sciences de la matière  
Filière : Physique  
Spécialité : Nanophysique

Stage en entreprise sanctionné par un mémoire et une soutenance.

*Stage au sein du Laboratoire de Physique et Chimie Quantique, des unités de recherche de l'UMMTO, ou laboratoires externes pour la préparation et la rédaction d'un mémoire*

	VHS	Coeff	Crédits
Travail Personnel	375 h	10	15
Stage en entreprise	350 h	6	14
Séminaires	25 h	4	1
Autre (préciser)	00h	0	0
<b>Total Semestre 4</b>	<b>750 h</b>	<b>20</b>	<b>30</b>

**5- Récapitulatif global de la formation :** (indiquer le VH global séparé en cours, TD, pour les premiers 03 semestres d'enseignement, pour les différents types d'UE)

VH \ UE	UEF	UEM	UED	UET	Total
Cours	357	105	0	63	525
TD	294	63	0	63	420
TP	0	126	0	0	126
Travail personnel	699	381	0	99	1179
Autre (préciser)	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1350</b>	<b>675</b>	<b>0</b>	<b>225</b>	<b>2250</b>
Crédits	54	27	0	9	<b>90</b>
% en crédits pour chaque UE	<b>60%</b>	<b>30%</b>	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>100%</b>

### **III - Programme détaillé par matière** (1 fiche détaillée par matière)

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : **Physique fondamentale 1**

Intitulé de la matière : **Mécanique Quantique Approfondie**

Nombre de crédits : **5**

Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement** : Compréhension du formalisme mathématique de la mécanique Quantique et des différentes techniques d'approximation utilisées en mécanique quantique. Acquisition des outils théoriques nécessaires à la modélisation des systèmes physiques.

**Connaissances préalables recommandées** : Les enseignements de physique quantique et de mécanique quantique dispensés en licence de physique.

**Contenu de la matière :**

**1/** Rappels et extension du formalisme de la MQ ; traitement quantique de l'atome d'hydrogène, harmonique sphériques

**2/** Méthodes d'approximations : principe variationnel, perturbations stationnaires ; premières applications de la théorie des perturbations : effet Zeeman et Stark ; Perturbations dépendantes du temps ; Hamiltonien d'interaction, transitions entre niveaux ; règles de sélection, règle d'or de Fermi ; application à l'interaction entre un atome et le rayonnement.

**3/** Addition des moments cinétiques et étude de leurs couplages (produits tensoriels, interaction spin-orbite, interaction entre spins électroniques ou nucléaires) ; applications aux méthodes de résonance magnétique.

**4/** Système à N particules : dégénérescence d'échange, principe de symétrisation, opérateurs de symétrisation et d'antisymétrisation ; bosons ; fermions ; principe d'exclusion de Pauli ; déterminants de Slater ; opérateur densité, évolution de l'opérateur densité.

**5/** Atome d'hélium ; atomes à plusieurs électrons ; approximation du champ central ; concept de configuration électronique ; termes spectraux (L, S) ; couplage spin orbite ; règles de Hund ; termes de structure fine ; effets d'un champ magnétique ; transition entre niveaux.

**Mode d'évaluation** : continu et examen.

**Références :**

- Site internet : cours MIT.
- A. Messiah, Mécanique quantique Tome1 et Tome 2, Dunod.
- C. Cohen- Tanoudji, B. Diu, F. Laloë, Mécanique quantique I et II, Hermann

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : **Physique fondamentale 1**

Intitulé de la matière : **Physique du Solide 1**

Nombre de crédits : **5**

Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement :** *Etude des propriétés électroniques des solides pour mieux comprendre les phénomènes liés au transport électronique dans les cristaux.*

**Connaissances préalables recommandées :** *Mécanique quantique et introduction à la physique du solide (licence)*

**Contenu de la matière :**

**1/ Fondements de l'équation mono-électronique :** Approximation de Born-Oppenheimer ; équations mono-électroniques (Hartree, Hartree-Fock) ; application à l'atome

**2/Périodicité spatiale et théorème de Bloch :** Translations primitives ; réseaux cristallins ; théorème de Bloch ; espace et réseau réciproque.

**3/Bandes d'énergie électronique.** Modèle de Kronig-Penney ; gaz d'électrons libres ; gaz d'électrons quasi-libres ; approximation des liaisons fortes ; électrons dans un cristal ; méthode OPW ; pseudopotentiel ; méthodes cellulaires ; théorie de la fonctionnelle densité.

**4/Phénomènes de transport.** Equation de Boltzmann ; temps de relaxation ; vitesse et libre parcours moyens ; conduction isotherme ; phénomènes galvanométriques isothermes.

**Mode d'évaluation :** contrôle continu et examen.

**Références :**

- Physique de l'état solide : cours et problèmes : Charles Kittel, Julie Dion, Maud Gicquel, et Bertrand Vilquin DUNOD (2006)
- Physique du solide. Propriétés électroniques : Max Brousseau. MASSON (2003)
- Solid Stat Physics G. Grosso, GP Parravioni Academic Press
- Quantum theory of the solid State, J. Callaway Academic Press
- Principles of the theory of solids, I.M. Ziman Cambridge University Press

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : **Physique fondamentale 1**

Intitulé de la matière : **Physique Statistique Avancée**

Nombre de crédits : **4** Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement** : La physique statistique est un outil incontournable permettant de résoudre de nombreux problèmes dans différentes branches de la physique (physique du solide, la physique des rayonnements, physique théorique, ...). Après avoir suivi cet enseignement, l'étudiant est en mesure d'appliquer les méthodes et les techniques de la physique statistique dans les divers domaines de la physique.

**Connaissances préalables recommandées** : Les enseignements de thermodynamique et de physique statistique dispensés en licence de physique.

**Contenu de la matière** :

**1/ Généralités** : Micro-états quantiques ; espace de phase ; densité de probabilité ; ensembles (micro- canonique, canonique, grand canonique) ; Fonction de partition, entropie statistique

**2/Formulation de la statistique quantique**: Matrice densité; Statistique des différents ensembles Systèmes de particules indiscernables ; Matrice densité et fonction partition pour un système de particules libres ; Comportement thermodynamique d'un gaz idéal de bosons; Thermodynamique du rayonnement du corps noir ; Comportement thermodynamique d'un gaz idéal de fermions

**3/ Etude des systèmes quantiques hors équilibre et processus de transport**: Processus stochastiques : Processus de Markov, Equation de Fokker Planck, Mouvement brownien dans un potentiel.

Fonctions de corrélation et fonctions de réponse dépendantes du temps (réponse linéaire, coefficients de transport). Applications : diffusions de neutrons, diffusion de la lumière, relaxation diélectrique.

Approches microscopiques. Equation de Boltzmann.

**Mode d'évaluation** : continu et examen.

**Référence** :

Titre	Auteur	Editeur
Introduction à la physique statistique	Vassiliev	MIR
Les méthodes de la physique statistique	Akhiezer et Peletminski	MIR
Physique statistique hors équilibre	N. Poittier	CNRS Edition
Physique statistique	C. Ngo et H. Ngo	MASSON
Physique statistique	L. Landau	Ellipses
Le problème à N corps	Ph. Nozières	Dunod
The many-body problem	Parry	Clarendon
Physique statistique	B. Diu, C. Guthmann, D. Lederer, B. Roulet	Hermann Editeurs des sciences et des arts

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 1**

Intitulé de la matière : **Physique des diélectriques et des surfaces**

Nombre de crédits : **4** Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : Cette matière permet d'acquérir un savoir de base en physique des diélectriques et des surfaces.

**Connaissances préalables recommandées** : *Mécanique quantique et introduction à la physique du solide (licence).*

**Première partie :**

**I. Diélectriques linéaires et isotropes : aspect macroscopique**

- 1) Potentiel et champ électriques.
- 2) Charge de polarisation.
- 3) Permittivité et susceptibilité.
- 4) Champ dépolarisant.

**II. Diélectriques : aspect microscopique**

- 1) Champ effectif local
- 2) Polarisabilité
- 3) Mécanisme de polarisation

**III. Diélectriques non linéaires : Ferroélectricité**

**IV. Applications**

**Deuxième partie :**

- I.** Thermodynamique des surfaces: Forces capillaires. Equation de Laplace. Fonctions thermodynamiques de surface, notion de modèle. Tension de vapeur d'une surface courbe. Formule de Kelvin. Isotherme d'absorption de Gibbs. Forme d'équilibre d'un cristal. Cristallographie des surfaces.
- II.** Introduction: FIM, LEED. Réseaux de bravais, groupes ponctuels et groupes spatiaux. Relaxation et reconstruction. Relation entre la maille de la structure reconstruite et du substrat. Réseau réciproque. Propriétés électroniques des surfaces.
- III.** Emission électronique : Thermoémission. Emission Schottky. Emission par effet de champ et effet tunnel. Phénomène de contact. Densité électronique à la surface d'un métal. Le modèle de Jellium. Le modèle des liaisons fortes.
- IV.** Excitations collectives à la surface : Excitons et plasmons. Phonons de surface. Etude de quelques systèmes.
- V.** Absorption, diffusion superficielle et croissance : Phénomènes d'absorption (approche statistique). Mouillage, adhésion, angle de contact. Principaux modes de croissance. Barrières de diffusion, analyse de densités d'ilots. Epitaxie moléculaire.

**Mode d'évaluation** : continu et examen.

**Références :**

- [1]- D. William D., Jr. Callister , « Sciences et génie des matériaux », Modulo Editeur, 2002.
- [2]- J. C. Peuzin et D. Gignoux. EDP Sciences, 2009.
- [3]- Metals surfaces::*structure, energetics and kinetics*, édité par American Society of Metals, Metals Park Ohio, W. Robertson and N. Gjostein (1962).
- [4]- M. Lanoo, P. Friedel, *Atomic and electronic structure of surfaces, Theoretical foundations*, Springer Series in Surface Science, Springer-Verlag (19991).
- [5]- M. C. Dejonquères, D. Spanjaard, *Concepts in Surface Physics*, second edition, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg (1996).

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 1**

Intitulé de la matière : **Introduction à la Physique des milieux ionisés**

Nombre de crédits : **4**

Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : Acquisition et compréhension des connaissances liées à la physique des milieux ionisés.

**Connaissances préalables recommandées** : Notions de physique statistique et d'électromagnétisme.

**Contenu de la matière** :

**1/** Introduction à la physique du plasma pour les électrons et les ions : Ionisation. La section efficace, le libre parcours moyen et la fréquence de collision. Longueur de Debye. Oscillations plasma et onde plasma électronique. La fonction diélectrique.

**2/** Mouvement de particules chargées sous l'effet de champs électrique et/ou magnétique uniformes ou inhomogènes.

**3/** Les trois approches de la physique du plasma : Les équations des fluides. Équations de Boltzmann-Vlasov.

**4/** Ondes plasmas excitées par laser : L'oscillateur harmonique forcé. Amortissement Landau. Absorption résonante. Diffusion Brillouin Stimulée

**Mode d'évaluation** : contrôle continu et examen.

**Références** :

- The interaction of high power lasers with plasmas, S. Eliezer, IOP (2002).
- Plasma waves, D. G. Swanson, IOP (2003).

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 1**

Intitulé de la matière : **Électromagnétisme Avancé**

Nombre de crédits : **5**

Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement** : Acquisition des connaissances nécessaires à la compréhension de la propagation des ondes électromagnétiques dans tout type de milieu. Acquisition des outils théoriques nécessaires à la modélisation des systèmes physiques.

**Connaissances préalables recommandées** : Les enseignements d'électromagnétisme dispensés en licence de physique.

**Contenu de la matière** :

**Propagation dans le vide**: Équation de propagation et équation de Helmholtz - Propagation du champ : développement en ondes planes - Approximation de champ lointain - Le principe de Huygens Fresnel

**Dipôles électriques et magnétiques** : Moment dipolaire électrique - Développement multipolaire - Moment dipolaire magnétique

**Rayonnement** : Rayonnement d'une charge ponctuelle - Notion de fonction de Green - Potentiels retardés - Rayonnement en champ lointain

**Diffraction** : Approximation de Fraunhofer - Diffraction par une ouverture circulaire

**Diffusion** : Diffusion par un électron - Section efficace de diffusion - Diffusion Rayleigh, diffusion Thomson et diffusion résonnante - Diffusion simple par un ensemble de diffuseurs

**Équations de Maxwell dans la matière**

**Relations constitutives** : Propriétés - Origine de la dispersion - Constante diélectrique généralisée

**Propagation dans la matière** : Propagation en milieu non-dispersif - Équation de propagation en milieu dispersif - Propagation dans un milieu matériel

**Théorie de la constante diélectrique** : Polarisabilité - Modèle de Drude - Équation de Clausius-Mossotti - Fréquence de plasma - Propagation dans un conducteur

**Réflexion et réfraction** : Incidences normale et oblique - Angle de Brewster - Coefficients de réflexion et transmission - Réflexion totale

**Propagation dans un diélectrique anisotrope** : Tenseur diélectrique et systèmes cristallins - Surface des indices - Polarisation

**Guides d'ondes et cavités** : Équation de Helmholtz - Composantes longitudinales - Modes TEM - Modes TE et TM dans un guide conducteur creux - Guide d'onde rectangulaire - Guides d'ondes à section circulaire - Fibre optique - Pertes d'énergie dans les guides d'onde - Cavités électromagnétiques - Facteur de qualité

**Mode d'évaluation** : continu et examen.

**Références** :

- Classical electrodynamics, J.D. Jackson, John Wiley & Sons
- Théorie des champs, L.D. Landau & E.M. Lifshitz, Ellipses Éditions
- Électromagnétisme, R.P. Feynman, Inter Editions

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 1**

Intitulé de la matière : **Physique numérique 1**

Nombre de crédits : **2** Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : A l'issue de cet enseignement, l'étudiant sera capable d'approcher par des calculs numériques un problème simple en physique à travers trois étapes importantes : une modélisation efficace pour ne garder que les paramètres pertinents, les calculs numériques adaptés au problème (mise en équation, discrétisation, ...), et enfin la comparaison des résultats obtenus avec l'expérience et/ou obtenus par d'autres méthodes.

**Connaissances préalables recommandées** :

**Contenu de la matière** :

1/ Initiation au système UNIX

2/ Résolution d'équations par des méthodes itératives : notion d'autocohérence

3/ Calcul du spectre de phonons, de densités de modes, de chaleur spécifique à l'aide de modèles phénoménologiques simples.

4/ La technique Monte Carlo en Physique : Echantillonnage simple et par importance, Algorithme de Metropolis et de Glauber, Transition para-ferro dans un système d'Ising à 2D, Transition ordre-désordre dans un alliage binaire par le biais de deux processus (lacunaire et échange direct) : détermination de l'énergie de migration.

**Mode d'évaluation** : contrôle continu et examen.

**Références** :

- Computational Material Science, K. Ohno, K. Esfarjani, Y. Kawazoe, Springer 1999.
- Computational physics, K.H. Hoffmann, M. Schreiber Ed. Springer 1996.
- A guide to Monte Carlo simulations in statistical physics, D.P. Landau, K. Binder, Cambridge 2000.
- Numerical Recipes in Fortran, W.H. Press, S.A. Teutolsky, W.T. Weterling, B.P. Flanner, Cambridge 1999.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 1**

Intitulé de la matière : **Physique expérimentale 1**

Nombre de crédits : **2**

Coefficient de la matière : **2**

### **Objectifs de l'enseignement :**

Les travaux pratiques de la présente unité ont été conçus de manière à s'adapter à la spécialité du master tout en intégrant quelques manipulations relatives à l'électronique et les mesures en physique.

Les buts de cette formation expérimentale et pratique de la physique sont multiples, comme par exemple:

Savoir illustrer un concept théorique par une expérience. Acquérir un esprit critique vis à vis des expériences. Apprendre à concevoir et réaliser soi-même une expérience de physique. Savoir utiliser le matériel d'instrumentation d'usage courant en sciences et génie des matériaux. Savoir élaborer et caractériser des matériaux. Savoir utiliser le matériel d'instrumentation d'usage courant en physique des rayonnements.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Savoir utiliser le matériel d'instrumentation d'usage courant en électricité et en physique de base. Savoir interpréter une courbe expérimentale de ce fait posséder un esprit critique vis à vis des expériences.

### **Contenu de la matière :**

Amplificateur opérationnel : Analyseur de spectre

Multiplexeur et démultiplexeur. Compteurs asynchrones et synchrones. Capteurs

Effet Hall. Etude de semi-conducteurs : magnétorésistance. Résistivité.

Les matériaux diélectriques ; Détermination de : La rigidité transversale et superficielle. La rigidité diélectrique. La constante diélectrique. Les pertes diélectriques. Mesure de résistivité d'un semi-conducteur.

Ferromagnétisme. Hystérésis magnétique.

Action des champs électrique et magnétique sur un faisceau d'électrons

Métaux : Propriétés de conduction électrique. Propriétés de conduction thermique. Effet thermoélectrique

**Mode d'évaluation :** Moyenne des comptes rendus et examen final.

### **Références :**

D. Barchiesi, M. Bugnon, « Comprendre la physique en expérimentant », ed. Ellipse, 1997, ISBN 2-7298-6719-8

R. Journeaux, « Travaux pratiques de physique », Ed. De Boeck université, 1998, ISBN 2-8041-2555-6

J. P. Bellier, C. Bouloy, D. Guéant, « Montages de physique », Ed. Dunod, 2000, ISBN 2-1004-8477-X

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : ***Ouvertures transversales 1***

Intitulé de la matière : ***Anglais scientifique 1***

Nombre de crédits : **2** Coefficient de la matière : **1**

**Objectifs de l'enseignement :**

Avoir des notions d'anglais permettant d'expliquer un processus ou un problème technique.  
Travailler en anglais avec plus de confiance et d'aisance.

**Connaissances préalables recommandées :** Notions générales d'anglais (Anglais 1 & 2 en deuxième année Licence).

**Contenu de la matière :**

- Approfondissement des notions linguistiques vues en Licence (vocabulaire, lexique, grammaire, compréhension et expression écrite et orale).
- Étude de documents techniques authentiques en anglais et familiarisation avec les documents spécialisés.
- Savoir expliquer un document technique à l'oral dans une situation informelle de discussion avec des pairs.
- Réalisation de travaux de projets en liaison avec les enseignements de la spécialité.

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu et examen final.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **1**

Unité d'Enseignement : ***Ouvertures transversales 1***

Intitulé de la matière : ***Conduite de projet***

Nombre de crédits : **1**

Coefficient de la matière : **1**

**Objectifs de l'enseignement :**

Avoir des notions sur la conception, conduite et évaluation d'un projet.

**Connaissances préalables recommandées :** Néant

**Contenu de la matière :**

- Introduction, définitions et terminologie
- Etape de préparation et mise en œuvre.
- Cadre logique.
- Analyse des risques.
- Construction et utilisation des indicateurs de résultats
- Planification. Gestion du temps.
- Monitoring et évaluation
- Collaboration et accompagnement du changement.
- Communication opérationnelle.

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu et examen final.

**Référence :**

- M. Darbelet, L. Izard, M. Scaramuzza, « Management », ed. Berti, 2007, ISBN 9961-69-128-8
- Michel Rocca, « Conduire un projet », ed. De Boeck, 2013

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique fondamentale 2**

Intitulé de la matière : **Magnétisme du Solide et Supraconductivité**

Nombre de crédits : **4** Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement** : Acquisition de l'ensemble des fondements du magnétisme électronique permettant ultérieurement d'aborder des notions plus avancées relatives au thème du magnétisme. Acquisition des notions de la théorie de la supraconductivité.

**Connaissances préalables recommandées** : *Mécanique quantique et introduction à la physique du solide (licence)*

**Contenu de la matière** :

**I- Magnétisme** :

1- Généralités et définitions, aimantation de la matière, courants équivalents dans la matière moment magnétique orbitale, de spin et total. Les vecteurs H et B

2- Le diamagnétisme théorie classique de Langevin et théorie quantique.

3- Paramagnétisme : Théorie classique de Langevin et théorie Quantique de Brillouin. Application s : Métaux de terres rares et métaux de transition.

Paramagnétisme de Pauli.

4- Ferromagnétisme : théorie classique, champ moléculaire de Weiss. Théorie Quantique, interaction d'échange, Hamiltonien de Heisenberg-Dirac. Energie d'anisotropie, domaines de Weiss, Parois de Bloch, cycle d'hystérésis, ferromagnétisme fort et faible.

5- Antiferromagnétisme, théorie de Néel, susceptibilité parallèle et perpendiculaire.

6- Ferrimagnétisme, les ferrites, les grenats, théorie de Néel, point de compensation.

7- Helimagnétisme.

**II- Supraconductivité** :

- Mise en évidence du phénomène, étude expérimentale.

- Etude thermodynamique.

- Etude électromagnétique. Equations de London, longueur de pénétration de London. Cohérence, longueur de cohérence de Pippard.

- Problème de Cooper, paires de Cooper.

- Etude phénoménologique de l'attraction attractive entre 2 électrons. Théorie BCS.

- Quantification du flux magnétique. La fonction d'onde de Ginzburg-Landau.

- Effets Josephson continu et alternatif, Jonction Josephson, effets d'interférences quantiques.

- Eléments de supraconductivité de type II .

- Applications.

- Introduction à la supraconductivité à haute température

**Mode d'évaluation** : continu et examen.

**Références** :

- Théorie du magnétisme A. Herpin, Presses Universitaires de France.

- Magnétisme : I- Fondements II- Matériaux et applications. E du Trémolet de Lachasseirie, collection Grenoble Sciences.

- Introduction à la Physique de l'état solide C. Kittel.

- La supraconductivité des métaux, des alliages et des films minces J.P. Burger Masson (1974).

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique fondamentale 2**

Intitulé de la matière : **Physique du Solide 2**

Nombre de crédits : **5** Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement** : Etude des propriétés thermiques des solides pour mieux comprendre les phénomènes liés au réseau de la matière cristalline.

**Connaissances préalables recommandées** : Mécanique quantique et introduction à la physique du solide (licence)

**Contenu de la matière** :

**1/Vibrations réticulaires à une dimension.** Chaîne linéaire. Quantification du champ de vibrations. Cristaux réels. Approximation harmonique. Densités d'états. Cristaux ioniques. Spectre de phonons.

**2/ Propriétés thermodynamiques.** Chaleur spécifique. Limitations de l'approximation harmonique. Couplage de phonons. Expansion thermique. Conductivité thermique du réseau

**Mode d'évaluation** : continu et examen.

**Références** :

- Physique de l'état solide : cours et problèmes : Charles Kittel, Julie Dion, Maud Gicquel, et Bertrand Vilquin DUNOD (2006)
- Physique du solide. Propriétés électroniques : Max Brousseau. MASSON (2003)
- Solid Stat Physics G. Grosso, GP Parravioni Academic Press
- Quantum theory of the solid State, J. Callaway Academic Press
- Principles of the theory of solids, I.M. Ziman Cambridge University Press

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique fondamentale 2**

Intitulé de la matière : **Physique des Semi conducteurs**

Nombre de crédits : **4**

Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : Cette matière permet d'acquérir un savoir de base en physique des matériaux semi conducteurs.

**Connaissances préalables recommandées** : *Introduction à la mécanique quantique et à la physique du solide (licence)*

### **Contenu de la matière**

**1/SC intrinsèques et extrinsèques à l'équilibre** : structure de bande ; densité des porteurs libres, SC dopés.

**2/SC hors équilibre** : équations fondamentales et phénomènes de transport ; comportement de zones neutres.

**3/Phénomènes de génération et de recombinaison** : transitions bande à bande ; durée de vie des porteurs libres ; transitions assistées par pièges.

**4/Jonction pn** : structure et dopage d'une jonction pn, jonction pn à l'équilibre, capacité de jonction

**5/Diode à jonction** : structure et réalisation technologique de diode ; potentiel et quasi-niveaux de Fermi, densités de porteurs libres ; densité de courant caractéristiques I-V ; diodes schottky et tunnel.

**6/Structure MES et Capacité MOS** : structure de bande; caractéristiques C.V à hautes et basses fréquences ;

**7/Propriétés optiques des SC** : Transition ; absorption ; effet photovoltaïque, fonctions diélectriques

**8/ Introduction à l'optoélectronique** : détecteurs IR, cellules solaires, lasers.

**Mode d'évaluation** : control continu et examen.

### **Référence :**

- A. Saidane, « physique des semi-conducteurs », OPU

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 2**

Intitulé de la matière : **Interaction Rayonnement Matière**

Nombre de crédits : **3**

Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : *Traiter les notions de base du rayonnement et de son interaction avec la matière solide.*

**Connaissances préalables recommandées** :

**Contenu de la matière** :

- Rayonnements de faible longueur d'onde (rayons X, neutrons) utilisés pour sonder les matériaux en composition et structure. Instrumentation X et neutrons.
- Interaction rayonnement matière. Formalisme de Born. Diffusion Thomson par l'électron isolé et par le nuage électronique. Diffusion Compton, Fluorescence X, photos-électrons Auger et création de paires.
- Section efficace différentielle de diffusion. Calcul des indices optiques pour les rayons X et neutron. Photoabsorption.
- Propriétés des réseaux direct et réciproque.
- Théorie dynamique et diffraction sur monocristal. Généralisation à un cristal périodique 3D.
- Applications

**Mode d'évaluation** : continu et examen.

**Références** :

- Caractérisation expérimentale des matériaux, analyse par RXn électrons neutrons, Jean Luc Martin & Armand George, Traité des matériaux ISBN : 2-88074-364-8
- Les surfaces solides : concepts et méthodes, S. Andrieu et P. Muller, EDP Sciences, CNRS Edition.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 2**

Intitulé de la matière : **Physique moléculaire**

Nombre de crédits : **3**

Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : Cette matière permet d'acquérir un savoir de base en physique atomique et moléculaire et à la spectroscopie de la matière condensée.

**Connaissances préalables recommandées** : *Mécanique quantique (licence)*

### **Contenu de la matière**

**I/ Molécules** : Approximation de Born-Oppenheimer ; notion d'orbitale moléculaire ; états liants et antiliants ; l'orbitale moléculaire comme combinaison linéaire d'orbitales atomiques ; orbitale moléculaire et symétrie ; interaction moléculaires dans différents matériaux.

**II/ Modes d'excitations moléculaires**, modes normaux, énergies typiques d'excitation d'une molécule, poids statistique et spin nucléaire, règles de sélection en spectroscopie IR et Raman, constante rotationnelle, espacement des raies.

**Mode d'évaluation** : examen.

### **Références :**

- Introduction to atomic spectra, Harvey Elliott White, MC Graw Hill
- Mécanique de l'atome et de la molécule, spectroscopie atomique, P. Barchewitz, Masson
- Structure atomique de la matière, BORN M., Armand Colin
- Mécanique quantique, t. I et II , coll. COHEN-TANNOUJDI C., DIU B.& LAALOE F., Enseignement des sciences, Hermann, 1977
- Physique atomique, CAGNAC B & PEBAY-PEYROULA J.-C., Dunod, 1983

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 2**

Intitulé de la matière : **Introduction à l'optique quantique**

Nombre de crédits : **3** Coefficient de la matière : **2**

### **Objectifs de l'enseignement :**

Présenter les mécanismes de base de l'optique quantique pour comprendre le fonctionnement de systèmes dont la description quantique est nécessaire. L'étudiant sera en mesure de comprendre les processus d'interaction atomes-rayonnement en adoptant une description quantique de matière.

Une telle démarche est à la base du fonctionnement du laser, mais au retour, la lumière laser a potentiellement renouvelé la physique atomique et a conduit à de nouvelles méthodes qui ont débouché sur des applications spectaculaires. On étudiera en détail quelques unes de ces applications.

**Connaissances préalables recommandées :** Mécanique quantique, électromagnétisme, physique statistique.

### **Contenu de la matière :**

- 1)** Processus d'interaction atome-champ (absorption, émission spontanée et émission induite). Hamiltoniens d'interaction dipolaire électrique et dipolaire magnétique. Transition entre deux niveaux sous l'effet d'un champ électromagnétique oscillant. Déplacement lumineux.
- 2)** Absorption entre deux niveaux de durée finie. Populations des niveaux. Susceptibilité diélectrique. Absorption et dispersion. Émission induite et amplification laser. Gain laser et inversion des populations. Bilan énergétique entre absorption et émission induite.
- 3)** Polarisation du rayonnement. Résonance optique : transfert de population (collisions et effet Hanle). Pompage optique.
- 4)** Matrices densité et équations de Bloch optiques : fonction d'onde et matrice densité. Traitement perturbatif : résolution par itération de l'évolution de la matrice densité, réponse linéaire. Traitement non-perturbatif dans le cas de systèmes fermés et de systèmes ouverts.

### **Références:**

- [1] L. Mandel et E. Wolf: Optical Coherence and Quantum Optics (Cambridge University Press, 1995).
- [2] C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc et G. Grynberg: Processus d'interaction entre photons et atomes (EDP Sciences/Editions du CNRS, 2001).
- [3] C. Cohen-Tannoudji: Atoms in Electromagnetic Field (World Scientific, 2005).
- [4] Alain Aspect, Claude Fabre et Gilbert Grunberg : Optique quantique<sup>1</sup>, lasers (Polycopié master, École polytechnique, 2010).

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 2**

Intitulé de la matière : **Théorie de la structure atomique**

Nombre de crédits : **3**

Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : Acquisition des connaissances nécessaires à la compréhension de la structure des atomes et des ions complexes. Acquisition des outils théoriques nécessaires à la l'interprétation des effets observés.

**Connaissances préalables recommandées** : Mécanique quantique, physique statistique.

### **Contenu de la matière :**

Chapitre 1 : Atome à un électron: Atome d'hydrogène et ions hydrogénoïdes

1. Introduction
2. Étude en mécanique quantique non relativiste.
3. Potentiel central non coulombien. Cas des alcalins.

Chapitre 2 : Structure fine et structure hyperfine d'un atome à un électron

1. Atome à un électron avec spin.
2. Structure fine de l'atome d'hydrogène.
3. Structure hyperfine. Rôle du noyau.

Chapitre 3 Interaction d'un atome avec un champ électromagnétique

1. Description des champs. Potentiel vecteur et potentiel scalaire.
2. Hamiltonien d'une particule chargée dans un champ électromagnétique.
3. Cas d'un champ magnétique statique uniforme  $\mathbf{B} // Oz$ .
4. Hamiltonien d'interaction d'un atome avec une onde électromagnétique.
5. Relation avec la description d'Einstein.

Chapitre 4 Atomes  $\tilde{A}$  N électrons (N>1)

1. Introduction
2. Système de particules identiques. Rappels.
3. Energies et fonctions d'onde d'un atome  $\tilde{A}$  N électrons.
4. Classification périodique des éléments Mendeleiev.
5. Couplage LS ou Russel-Saunders.
6. Couplage jj et levée de dégénérescence.

### **Références:**

- E. Biemont. Spectroscopie atomique. (Edition De Boeck, 2008).
- R.D. Cowan, The Theory of Atomic Structure and Spectra, Berkeley, CA: University of California Press, 1981.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 2**

Intitulé de la matière : **Théorie des Groupes et Cristallographie**

Nombre de crédits : **4**

Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : L'objet de ce cours est de donner une première vue d'ensemble sur les groupes de symétries et leurs représentations

**Connaissances préalables recommandées** : Notion de cristallographie et connaissance d'algèbre

**Contenu de la matière :**

### **I. LE RESEAU PONCTUEL**

- 1) Description du réseau ponctuel...
- 2) Plans réticulaires
  - 2.1) Relation entre la maille primitive et les plans réticulaires
  - 2.2) Etude des indices de Miller : Détermination des indices de Miller, Plans en zone, Forme de plans et forme d'axes, Indices hexagonaux, Influence de la maille de référence sur les indices
- 3) Réseau réciproque : Définition, Propriété fondamentale du réseau réciproque, Expressions des distances inter réticulaires et fonction des paramètres réciproques, Relations entre les grandeurs directes et réciproques

### **II. SYMETRIE DU RESEAU CRISTALLIN**

- 1) Propriétés mathématique des opérations de symétrie
- 2) Groupes ponctuels dans les cristaux
  - 2.1) Les éléments de symétrie des groupes ponctuels
  - 2.2) Les différents groupes ponctuels et leur représentation
- 3) Groupes spatiaux
  - 3.1) Les opérations de symétrie avec translation
  - 3.2) Représentations et exemples de groupes spatiaux

**Mode d'évaluation** : continu et examen.

**Références :**

- **J.-J. Rousseau**, Cristallographie géométrique et radiocristallographie, Masson.
- **E. Flint**, Principes de Cristallographie, Editions Mir.
- **Sidney Kettle**, Symétrie et structure: théorie des groupes en chimie, Masson.
- **M. Chabanel et P. Gressier**, Liaison chimique et Spectroscopie, Ellipses.
- **R. Auriol**, Indices de Miller et de Bravais, A.F.M.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 2**

Intitulé de la matière : **Physique numérique 2**

Nombre de crédits : **2** Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : A l'issue de cet enseignement, l'étudiant sera capable d'approcher par des calculs numériques un problème simple en physique à travers trois étapes importantes : une modélisation efficace pour ne garder que les paramètres pertinents, les calculs numériques adaptés au problème (mise en équation, discrétisation, ...), et enfin la comparaison des résultats obtenus avec l'expérience et/ou obtenus par d'autres méthodes.

**Connaissances préalables recommandées** :

**Contenu de la matière** :

1/ Initiation au système UNIX

2/ Résolution d'équations par des méthodes itératives : notion d'autocohérence

3/ Calcul du spectre de phonons, de densités de modes, de chaleur spécifique à l'aide de modèles phénoménologiques simples.

4/ La technique Monte Carlo en Physique : Echantillonnage simple et par importance, Algorithme de Metropolis et de Glauber, Transition para-ferro dans un système d'Ising à 2D, Transition ordre-désordre dans un alliage binaire par le biais de deux processus (lacunaire et échange direct) : détermination de l'énergie de migration.

**Mode d'évaluation** : contrôle continu et examen.

**Références** :

- Computational Material Science, K. Ohno, K. Esfarjani, Y. Kawazoe, Springer 1999.
- Computational physics, K.H. Hoffmann, M. Schreiber Ed. Springer 1996.
- A guide to Monte Carlo simulations in statistical physics, D.P. Landau, K. Binder, Cambridge 2000.
- Numerical Recipes in Fortran, W.H. Press, S.A. Teutolsky, W.T. Weterling, B.P. Flanner, Cambridge 1999.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 2**

Intitulé de la matière : **Physique expérimentale 2**

Nombre de crédits : **2**

Coefficient de la matière : **2**

### **Objectifs de l'enseignement :**

Les travaux pratiques de la présente unité ont été conçus de manière à s'adapter à la spécialité du master tout en intégrant quelques manipulations relatives à l'électronique et les mesures en physique. Le but de cette formation expérimentale et pratique de la physique sont multiples, comme savoir illustrer un concept théorique par une expérience, acquérir un esprit critique vis à vis des expériences, apprendre à concevoir et réaliser soi-même une expérience de physique, savoir utiliser le matériel d'instrumentation d'usage courant en sciences et génie des matériaux, savoir élaborer et caractériser des matériaux...

### **Connaissances préalables recommandées :**

Savoir utiliser le matériel d'instrumentation d'usage courant en électricité et en physique de base. Savoir interpréter une courbe expérimentale de ce fait posséder un esprit critique vis à vis des expériences.

### **Contenu de la matière :**

Initiation aux techniques goniométriques et aux mesures angulaires des cristaux. Approche pratique du réseau réciproque et des ses propriétés en liaison avec la goniométrie du réseau direct. Détermination des symétries et conséquences pratiques de la réduction du degré de symétrie.

Etude préliminaires photographiques : cristal tournant et cliché de Buerger du monocristal. Initiation aux éléments de symétrie avec déplacement et utilisation des tables internationales de cristallographie. Analyse de la structure cristalline : calcul des angles et distances inter-atomiques ; représentation graphique de la structure cristalline.

Diagrammes de poudres cristallines. Méthodes simples de dépouillement. Montages classiques sur film et goniométrique. Méthode d'identification des phases cristallisées au moyen des diagrammes de diffraction X obtenus par les méthodes de poudres. Utilisation du fichier JCPDS.

Diffraction des électrons. Microscopie électronique à transmission : poudres, monocristaux, couches minces. Microscopie électronique à balayage : poudres, couche minces, EDAX.

**Mode d'évaluation :** Moyenne des comptes rendus et examen final.

### **Références :**

D. Barchiesi, M. Bugnon, « Comprendre la physique en expérimentant », ed. Ellipse, 1997, ISBN 2-7298-6719-8

R. Journeaux, « Travaux pratiques de physique », Ed. De Boeck université, 1998, ISBN 2-8041-2555-6

J. P. Bellier, C. Bouloy, D. Guéant, « Montages de physique », Ed. Dunod, 2000, ISBN 2-1004-8477-X

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : ***Ouvertures transversales 2***

Intitulé de la matière : ***Anglais scientifique 2***

Nombre de crédits : **2** Coefficient de la matière : **1**

**Objectifs de l'enseignement :**

Avoir des notions d'anglais permettant d'expliquer un processus ou un problème technique.  
Travailler en anglais avec plus de confiance et d'aisance.

**Connaissances préalables recommandées :** Notions générales d'anglais (Anglais 1 & 2 en deuxième année Licence).

**Contenu de la matière :**

- Approfondissement des notions linguistiques vues en Licence (vocabulaire, lexique, grammaire, compréhension et expression écrite et orale).
- Étude de documents techniques authentiques en anglais et familiarisation avec les documents spécialisés.
- Savoir expliquer un document technique à l'oral dans une situation informelle de discussion avec des pairs.
- Réalisation de travaux de projets en liaison avec les enseignements de la spécialité.

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu et examen final.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **2**

Unité d'Enseignement : ***Ouvertures transversales 2***

Intitulé de la matière : ***Contrôle et concepts qualité***

Nombre de crédits : **1**

Coefficient de la matière : **1**

**Objectifs de l'enseignement :**

Avoir des notions de gestion de qualité. Notion sur la normalisation. Analyse de la valeur d'un produit.

**Connaissances préalables recommandées :**

Notion d'économie et gestion d'entreprise

**Contenu de la matière :**

**Gestion de la qualité :**

Marchés, produits, entreprise, coûts. Définitions des différents concepts. Evolution de la qualité et ses méthodes. Analyse de la qualité. Contrôle des produits, des processus et des procédures. Assurance qualité. Indices qualité. Méthode des démérites. Missions et structure d'un service qualité. Niveaux et moyens d'intervention.

**Contrôle :**

Contrôle des produits : méthode de contrôle, contrôle exhaustif, contrôle statistique. Contrôle des processus. Contrôle des procédures. Aspects économiques du contrôle, certification et labels.

**Communication :**

Préparation, conduite et suivi des réunions : cercle de qualité. Information, documentation et formation.

**Analyse de la valeur :**

Concepts fondamentaux. Méthodologie. Mise en œuvre

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu et examen final.

**Référence :**

- J. F. Souterain, P. Farcet, « Organisation et gestion de l'entreprise », ed. Berti, 2007, ISBN 9961-69-124-5
- M. Darbelet, L. Izard, M. Scaramuzza, « Management », ed. Berti, 2007, ISBN 9961-69-128-8

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique fondamentale 3**

Intitulé de la matière : **Propriétés Électroniques des Nanostructures**

Nombre de crédits : **4** Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement** : Ce cours a objectif de développer la compréhension des propriétés électroniques et structurales des systèmes de basse dimensionnalité.

**Contenu de la matière** :

**I: Structure électronique des matériaux à l'état massif**

1-Au delà de l'approximation à un électron : Hartree, Hartree-Fock, application au jellium. Corrélations électroniques, trou d'échange, méthode Hartree-Fock-Slater.

2-Théorie de la fonctionnelle de la densité, théorème de Hohenberg-Kohn, équations de Kohn-Sham, approximations locales (LDA et LSDA), au-delà de la LD(S) A.

3-Phénomènes d'écran, modèle de Thomas-Fermi- Transition de Mott- Fonction diélectrique de Lindhard- Plasmons, anomalie de Kohn- Liquide de Fermi.

**II : Structure électronique des surfaces, films minces et agrégats de métaux de transition**

1-Structure atomique de surfaces : Cristallographie de surfaces, Réseaux à deux dimensions, Cristal semi-infini, notation pour les structures de surfaces, surfaces vicinales, Réseaux réciproques et zones de Brillouin, Bref aperçu sur les techniques expérimentales d'investigation des structures de surfaces

2-Structure électronique des métaux de transition (rappel sur le volume) : Approximation des liaisons fortes, systèmes périodiques, Métaux de transition, Moments de la densité d'états, énergie de cohésion.

3- Structure électronique des surfaces : description de quelques méthodes théoriques, Densité de charge et tension superficielle, Etats de surface, Application à l'étude des métaux de transition, densité d'états et potentiels de surface, transfert de charges et énergie de surface, relaxation et reconstruction.

4- Adsorption et adhésion d'atome ou de molécules sur une surface métallique: Approche microscopique, Physisorption, Chimisorption, Interaction faible et forte, Tendances expérimentales, Modèles analytiques et réalistes pour expliquer les résultats expérimentaux, Interaction entre adatoms, Structure électronique de films ultraminces adsorbés (métaux de transitions sur métaux de transitions ou nobles), super-réseaux.

5-Agrégats de métaux de transition supportés ou libres: Concepts généraux, Discussion qualitative de quelques résultats théoriques et expérimentaux.

**Mode d'évaluation** : contrôle continu et examen.

**Références** :

- Solid State Physics. N.W. Ashcroft, N. David Mermin Saunders College Publishing, 1976.

- Solid State Physics G. Grosso and P. Parravicini Academic Press, 2000

- Concepts in surface physics, M.-C. Desjonquères, D. Spanjaard, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York , 1993, 1996.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique fondamentale 3**

Intitulé de la matière : **Cristaux photoniques**

Nombre de crédits : **4**

Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement** : Acquisition des connaissances nécessaires à l'étude cristaux photoniques (structures d'indice optique périodique).

**Connaissances préalables recommandées** :

**Contenu de la matière** :

**1/ Rappels d'Electromagnétisme** : Equations de Maxwell. Equations du milieu. Conditions aux limites. Problèmes énergétiques. Ondes planes monochromatiques dans un milieu linéaire homogène isotrope. Onde plane atténuée – Onde évanescente.

**2/ Equations de propagation** : Propagation dans un milieu inhomogène anisotrope magnétique. Propagation dans un milieu homogène isotrope. Propagation dans un milieu homogène anisotrope. Effet Faraday

**3/ Théorème de Bloch** : Structures périodiques – Cristaux photoniques. Théorème de Bloch. Diffraction par les cristaux photoniques.

**4/ Réseau de Bragg – Filtre interférentiel** : Ecriture des champs dans les différents milieux. Détermination des amplitudes dans chaque milieu. Matrices de transfert. Application filtre antireflet. Filtre de Bragg. Réseau de Bragg – Cristal photonique 1D

**5/ Cristaux photoniques 2D et 3D** : Méthode PWM. Réseau 1D : Méthode des modes couplés. Réseaux 2D et 3D : Quelques résultats

**Mode d'évaluation** : contrôle continu et examen.

**Références** :

D. VAN LABEKE - Cours Master2 PICS Besançon

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 3**

Intitulé de la matière : **Magnétisme et Nanostructures Magnétiques**

Nombre de crédits : **3**

Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : Compréhension du magnétisme du massif et des structures de basse dimensionnalité. Identification des possibles applications technologiques.

**Contenu de la matière :**

**I : Magnétisme itinérant en volume**

1. Généralités, magnétisme itinérant, magnétisme localisé, description des métaux de transition (MT), structure électronique des MT, modèle de structure de bandes de Mott-Slater, évidences expérimentales en faveur du modèle itinérant, liaisons fortes, intégrales de sauts. Origine du blocage du moment orbitale, champ cristallin, théorèmes généraux : Kramer et Jahn-Teller, modèle des charges ponctuelles.
2. Modèle de Stoner, critère de Stoner, susceptibilité généralisée/susceptibilité dynamique, RPA.
3. Corrélations électroniques, intégrales d'échange interatomique et intra-atomique, Hamiltonien de Hubbard, solution en champ moyen.

**II : Magnétisme des nanostructures**

1. Origine du magnétisme de surface
2. Aperçu sur les méthodes d'investigation du magnétisme de surface
3. Dépendance en température du magnétisme de surface
4. Transition structurale de l'état magnétique en volume en fonction du paramètre de maille
5. Magnétisme des films ultraminces de métaux de transition
6. Couplage magnétique
7. Magnéto-résistance : principe de la spintronique, concept de la magnéto-résistance
8. Géante, Multicouches magnétiques à champ nul et en présence d'un champ
9. Magnétique extérieur
10. Magnétisme des agrégats libres de métaux de transition : technique expérimentale, discussion de quelques résultats expérimentaux et théoriques.

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu et examen.

**Références :**

- Magnétisme I – Fondements II- Matériaux et applications, Sous la direction d'Etienne du Trémolet de Lacheisserie, Presses Universitaires de France, 1999.
- Solid State Physics. N.W. Ashcroft, N. David Mermin, Saunders College Publishing, 1976.
- Itinerant Magnetism, F. Gautier cours de DEA, ULP, Strasbourg.
- Surfaces-interfaces and ultrathin films of transition metals, growth, electronic structure and Magnetism, F. Gautier, Cours DEA, ULP Strasbourg..
- Ultrathin Magnetic structures I and II, J.A.C. Bland and B. Heinrich (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1994.
- Magnetic ultrathin films, multilayers and surfaces, MRS, Symposium Proceedings Vol. 384, Editors E.E. Marinero, B. Heinrich, W.F. Egelhoff, Jr., A. Fert, H. Fujiromi, G. Guntherodt, R.L. White.
- Structure and properties of multilayered thin films, MRS, Symposium Proceedings Vol. 382. Editors: Tai D. Nguyen, Bruce M. Lairson, Bruce M. Clemens, Sung-Chul Shin, Katsuki Sato.
- Magnetic Multilayers, L.H. Bennet, R.E. Watson, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd..

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 3**

Intitulé de la matière : **Dynamique de vibration des systèmes de basse dimension**

Nombre de crédits : **3**

Coefficient de la matière : **2**

### **Objectifs de l'enseignement**

L'un des challenges de la technologie moderne, est de créer des systèmes atomiques ou moléculaires capables de transférer une information à l'échelle du nanomètre, dont l'objectif principal est de les intégrer dans des dispositifs physiques mésoscopiques. Dans ces nouvelles structures de basse dimensionnalité, à géométries variables et complexes, les excitations élémentaires tels que les phonons (ondes de vibrations) et les magnons (ondes de spins) pourraient être soumis à un confinement et à un comportement quantique cohérent. L'objectif est de contribuer à une meilleure compréhension des phénomènes liés au transport thermique et de localisation dans des structures désordonnées de basse dimensionnalité (molécule linéaire et hexagonale incorporées dans des systèmes mésoscopiques). Et aussi de mieux de comprendre les effets du désordre sur les propriétés dynamiques et comment les utiliser dans le contrôle non destructif.

**Connaissances préalables recommandées** (*descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cet enseignement*).

### **Contenu de la matière :**

Introduction, Dynamique des systèmes de basse dimension, ordonnés, dans l'approximation harmonique et anharmonique, cas des systèmes 1D ex : d'une chaîne monoatomique et diatomiques.

Modes de vibration des structures à 2D – réseau carré et hexagonal ex : du graphène. Relation de dispersion et densité spectrale et d'état.

L'effet des défauts sur la dynamique vibrationnelle de basse dimension : cas des multicouches

Fonction de Green et méthodes adaptés aux systèmes désordonnés

Méthode de raccordement, Slab et diagonalisation directe.

Les modes localisés au niveau de la zone de défaut, modes d'Einstein et de Reigly

Phénomènes de transport phononique, modèle de Landauer Buttiker

Coefficients de transmission et de réflexion, conductance phononique.

Conductivité thermique.

Les états localisés d'Anderson.

**Mode d'évaluation** : Continu + Examen

### **Références**

[1] J. Szeftel and A. Khater, J.Phys. C: Solid State Phys. 20, 4725 (1987)

[2] R. Landauer, Z. Phys. B. 68, 217 (1987).

[3] M. Büttiker, Phys. Rev. Lett, 57, 1761 (1986).

[4] R. Landauer, J. Phys.: Condens. Matter 1, 8099 (1989).

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 3**

Intitulé de la matière : **Chimie Moléculaire**

Nombre de crédits : **3** Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : *comprendre les interactions entre orbitales dans un système moléculaire*

**Connaissances préalables recommandées** : Mécanique quantique

**Contenu de la matière** :

1. Problème moléculaire
2. Orbitales moléculaires
3. Approximation mono-électronique (ou orbitalaire)
4. Liaison chimique
5. Construction de diagrammes d'OM
6. Stabilité thermodynamique et stabilité cinétique
7. Instabilité de Jahn-Teller
8. Relation stabilité/compte électronique
9. Règle de l'octet, hyper valence
10. Interprétation et prédiction de structures moléculaires simples (éléments principaux)
11. Structure électronique des complexes mononucléaires des éléments de transition (complexes ML6 octaédriques et complexes ML4 tétraédriques et carrés plans)
12. Propriétés électroniques des ligands
13. Relation structure/compte électronique. La règle des 18 électrons et son domaine de validité
14. Interprétation de structures.

**Références** : J. Y Saillard : cours de Master chimie théorique de l'université de Rennes

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 3**

Intitulé de la matière : **Plasmonique, nanostructures métalliques et organiques**

Nombre de crédits : **3**

Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : Donner aux étudiants la possibilité de maîtriser les bases de la plasmonique dont les développements fondamentaux et appliqués touchent aujourd'hui des domaines variés comme l'optique non-linéaire, la photonique, la fluorescence, le marquage biologique, les capteurs, les filtres de lumière.

**Connaissances préalables recommandées** : Électromagnétisme et Optique (Enseignements dispensés en licence de Physique).

**Contenu de la matière** :

**Propriétés optiques des métaux nobles à l'état massif** :

Brefs rappels d'Electromagnétisme : Indice de réfraction, polarisation et polarisabilité, fonction diélectrique. Relations de Kramers-Kronig. Propagation d'une onde électromagnétique et courbe de dispersion. Ondes évanescentes. Sections efficaces d'absorption, de diffusion et d'extinction

Réponse optique des métaux nobles : Structures de bandes d'énergie. Contribution intra bandes à la fonction diélectrique : modèle de Drude, plasmon de volume. Contribution inter bandes à la fonction diélectrique : théorie de Lindhard, modèle de Drude-Lorentz,...

**Résonance plasmonique de surface (RPS)** :

Plasmons de surface non localisés : Relation de dispersion. Onde plasmonique de surface (Plasmons Polaritons de surface PPS). Excitation électronique et photonique des PPS. Couplage Onde électromagnétique-PPS. Quelques propriétés des PPS : durée de vie, vitesse de groupe,...

Plasmons de surface localisés : Confinement diélectrique, nanoparticule métallique. Résonance des plasmon de surface. Approximation quasi-statique - Théorie de Mie. Caractéristiques de la RPS et dépendance des différents paramètres intrinsèques : nature du métal, environnement, taille, ...  
Assemblées de nanoparticules : Théorie du milieu effectif, influence de l'arrangement spatial et de la concentration. Milieux nanocomposites : Théorie du milieu effectif

**Elaboration et caractérisation de nanostructures métalliques**

Quelques notions sur les procédés d'élaboration : Méthodes chimiques : Solutions colloïdales, procédés sol-gel, couches minces, auto-organisation, ... Méthodes physiques : Ablation laser, pulvérisation radiofréquence, vaporisation laser, lithographie électronique, ...

Caractérisation expérimentale : Microscopie à champ proche. Imagerie par fluorescence. Imagerie par diffusion. Microscopie d'extinction à champ lointain. Imagerie en champ sombre.

**Applications** :

Nano-antennes : SERS. Marquage biologique. Exaltation de fluorescence

Optique non-linéaire : Effet Kerr optique. Génération de seconde harmonique.

**Mode d'évaluation** : contrôle continu et examen.

**Références** :

- Plasmonics : Fundamentals and Applications, Stefan Alexander Maier, Springer (2007).
- Absorption and Scattering of light by Small particles, Craig F. Bohren & Donald R. Huffman, Wiley-Interscience Publication (1983).

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 3**

Intitulé de la matière : **Optique non-linéaire**

Nombre de crédits : **3** Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : Introduire les processus d'optique non-linéaire dans le but de pouvoir modéliser les systèmes optoélectroniques en interaction avec des lasers relativement intenses.

**Connaissances préalables recommandées** :

**Contenu de la matière** :

- Origine physique et formalisme de l'optique non-linéaire. Potentiels harmonique et anharmonique. Équation d'onde non-linéaire.
- Interprétation quantique des processus non-linéaires.
- Effets non-linéaires du second ordre. Doublage de fréquence, OPO, ...
- Effets non-linéaires du troisième ordre. Effet Kerr optique. Diffusion stimulée (Raman, Brillouin,...).

**Références**:

- F. Sanchez, Optique non-linéaire, Edition Duod, 1999.
- R. W. Boyd, Non-linear Optics, Academic Press., 2008.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique spécifique 3**

Intitulé de la matière : **Spectroscopie Moléculaire**

Nombre de crédits : **3**

Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : *comprendre les interactions entre orbitales dans un système moléculaire*

**Connaissances préalables recommandées** : Mécanique quantique

**Contenu de la matière** :

Chapitre 1: Introduction à l'étude des molécules. Cas des molécules diatomiques

- Généralités sur les molécules diatomiques : Liaison ionique et liaison covalente. Description générale et ordres de grandeur. Approximation de Born-Oppenheimer
- Énergie de la molécule diatomique : Hamiltonien d'une molécule diatomique. Équation électronique. Équation de Schrödinger du mouvement nucléaire.

Chapitre 2: La molécule H<sub>2</sub><sup>+</sup> (ion moléculaire)

- Prototypage des molécules diatomiques.
- Résultats obtenus sur l'ion moléculaire H<sub>2</sub><sup>+</sup> dans l'état électronique fondamental
- Diagramme de corrélation des orbitales moléculaires des molécules symétriques : Limite "atome uni". Limite "atomes séparés".

Chapitre 3 : la molécule H<sub>2</sub> et les molécules complexes

- Méthode des orbitales moléculaires.
- Méthode de liaison de valence.
- Comparaison des deux méthodes.
- Molécules complexes.
- Propriétés de symétrie des fonctions d'onde électroniques d'une molécule diatomique.
- Intersection des courbes de potentiels adiabatiques.

Chapitre 4 : Étude des mouvements nucléaires

- Vibration d'une molécule diatomique : Approximation harmonique. Oscillateur anharmonique. Exemple de potentiel anharmonique : potentiel de Morse.
- Rotation d'une molécule diatomique : Approximation du rotateur rigide. Écarts à l'approximation du rotateur.
- Allure générale des niveaux d'énergie et des spectres.

Chapitre 5 : Spectres moléculaires

Structure des niveaux. Transitions radiatives. Spectres de rotation pure. Spectres de vibration-rotation. Spectres électroniques.

**Références:**

E. Biemont. Spectroscopie moléculaire. Structures moléculaires et analyse spectrale (Edition De Boeck, 2008).

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 3**

Intitulé de la matière : **Modélisation numériques des nanostructures (Nanomatériaux)**

Nombre de crédits : **5**

Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement** : A l'issue de cet enseignement, l'étudiant sera capable d'utiliser un programme de calcul ab initio pour déterminer diverses grandeurs physique comme la structure de bandes de matériaux et savoir les interpréter en vue d'expliquer des résultats expérimentaux. D'autre part, la simulation par dynamique moléculaire permettra à l'étudiant, à travers une méthode simple, basée sur les équations de la mécanique classique, d'étudier les certaines propriétés physiques de gaz, solides et liquides. Il est à noter que le principe de cette méthode est aussi utilisé dans la plupart des codes ab initio récents à travers le théorème de Hellmann-Feynman.

**Connaissances préalables recommandées** : *langage de programmation FORTRAN, Analyse numérique et connaissances fondamentales en physique des solides*

**Contenu de la matière** :

1. Stabilité structurelle de l'état magnétique en volume (transitions magnétiques en fonction du volume atomique (méthode LMTO)
2. Calcul de la structure électronique et magnétique de surfaces de métaux de transition : états de surfaces, ordres magnétique en surface (méthode LMTO).
3. Simulation par dynamique moléculaire de quelques systèmes simples.

**Mode d'évaluation** : contrôle continu et examen.

**Références** :

- Computational Material Science, K. Ohno, K. Esfarjani, Y. Kawazoe, Springer 1999.
- The art of molecular dynamics simulation, D.C. Rapaport, Cambridge 1995.
- Computational physics, K.H. Hoffmann, M. Schreiber Ed. Springer 1996.
- Numerical Recipes in Fortran, W.H. Press, S.A. Teutolsky, W.T. Weterling, B.P. Flanner, Cambridge 1999.
- Understanding molecular simulation, D. Frenkel, B. Smit, Academic Press 1996.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 3**

Intitulé de la matière : **Modélisation numériques des nanostructures (Nano-Optique)**

Nombre de crédits : **5**

Coefficient de la matière : **3**

**Objectifs de l'enseignement** : A l'issue de cet enseignement, l'étudiant sera capable d'utiliser un programme de calcul FDTD pour déterminer diverses grandeurs physique comme la structure de bandes de nanomatériaux et les grandeurs optiques et savoir les interpréter en vue d'expliquer des résultats expérimentaux.

**Connaissances préalables recommandées** : langage de programmation FORTRAN, Analyse numérique et connaissances fondamentales en électromagnétisme.

**Contenu de la matière** :

**I/ Interaction lumière-matière dans l'environnement numérique**

- 1/ Formulation du champ électromagnétique - équations de Maxwell
- 2/ Propriétés diélectriques du matériau et couplage EM
- 3/ Présentation des méthodes de différences finies
- 4/ Discrétisation spatiale et temporelle d'un champ EM
- 5/ Conditions aux limites

**II/ Exemple de modélisation : Méthodes FDTD pour la simulation EM**

- 1/ Schéma numérique FDTD à une dimension
- 2/ Schéma numérique FDTD à deux dimensions
- 3/ Conditions aux limites : a/ Conditions absorbantes  
b/ Conditions de mur/ABC  
c/ Perfectly Matched Layers (PML)

**III/ Implémentations sur machine et visualisation: Fortran/Matlab**

- 0/ Introduction à Matlab
- 1/ Illustration des algorithmes à une dimension
  - a/ propagation d'une onde EM dans l'espace libre
  - b/ interaction d'une onde EM avec un matériau diélectrique
  - c/ interaction d'une onde EM avec un matériau conducteur
- 2/ Mini-projet : Implémentation d'un code FDTD à 2 dimensions
  - a/ Description d'une impulsion laser incidente
  - b/ Maillage des propriétés diélectriques pour un milieu inhomogène
  - c/ Implémentation de différentes géométries et conditions d'irradiation
  - d/ Discussion des avantages/inconvénients des PML
- 3/ Simulation Particles-in-cell (PIC)

**Mode d'évaluation** : examen.

**Références** :

- Numerical Recipes in Fortran, W.H. Press, S.A. Teutolsky, W.T. Weterling, B.P. Flanner, Cambridge 1999.
- .Computational electrodynamics: The finite difference time domain method A. Taflov, Susan C. Hagness

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 3**

Intitulé de la matière : **Elaboration des couches minces**

Nombre de crédits : **2**

Coefficient de la matière : **1**

**Objectifs de l'enseignement** : Compréhension du principe de fonctionnement des nouvelles techniques de dépôt par voie physique et chimique à l'échelle atomique pour la réalisation de couches mince et l'intérêt de cette ingénierie de ces nouveaux matériaux artificiels. Savoir choisir la technique appropriée pour le dépôt d'une couche mince selon le cahier de charge imposée.

**Connaissances préalables recommandées** :

**Contenu de la matière** :

**I/Procédé d'élaboration par voie physique** : Intérêt des couches minces et revêtement de surface ; propriétés des couches minces ; application des couches minces.

Les techniques de dépôt des couches minces : Pulvérisation par diode DC ; pulvérisation par triode ; pulvérisation par diode RF ; pulvérisation par magnétron ; pulvérisation réactive.

Techniques de dépôts physiques modifiées et hybrides : ion plating ; évaporation réactive ; techniques assistées par faisceaux d'ions IAD et IBS.

Evaporation thermique sous vide. Technique d'ablation Laser : caractéristiques, mécanismes physiques ; technique de dépôt.

**II/Procédé d'élaboration par voie chimique** : Réactions de transport chimiques, formation et croissance de germes, CVD et dépôt de couches diamants par plasma.

**Applications** : microélectronique, nanophotonique, ...

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu et examen.

**Référence** :

[1]- Metals surfaces::*structure, energetics and kinetics*, édité par American Society of Metals, Metals Park Ohio, W. Robertson and N. Gjostein (1962).

[2]- M. Lanoo, P. Friedel, *Atomic and electronic structure of surfaces, Theoretical foundations*, Springer Series in Surface Science, Springer-Verlag (1991).

[3]- M. C. Dejonquères, D. Spanjaard, *Concepts in Surface Physics*, second edition, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg (1996).

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : **Physique méthodologique 3**

Intitulé de la matière : **Physique des lasers et des dispositifs optoélectronique**

Nombre de crédits : **3** Coefficient de la matière : **2**

**Objectifs de l'enseignement** : Ce cours a pour objectif de développer la compréhension des phénomènes optoélectroniques et de l'interaction lasers de puissance plasma

**Connaissances préalables recommandées** :

**Contenu de la matière** :

**1/**Fonctionnement d'un milieu amplificateur de lumière : Aspect macroscopique : Absorption optique. Interprétation microscopique de l'absorption

**2/**Fonctionnement du laser au seuil : L'oscillateur laser. Création d'une inversion de population. Equations fondamentales d'évolution. Paramètres de seuil. Saturation du gain.

**3/**Cavités optiques- Modes : Existence de fréquences privilégiées- Modes longitudinaux. Modes transversaux. Pertes d'une cavité. Configuration d'une cavité. Sélection de modes.

**4/** Déclenchement : Principe. Théorie du déclenchement. Cellule de Pockels et déclenchement actif. Déclenchement passif. Comparaison en déclenchement actif et passif.

**5/** Mode Locking : Effet d'une relation de phase entre modes. Mode Locking passif. Mode Locking actif.

**6/** Transmission guidée. Fibre optique Propagation d'impulsion LASER dans les fibres optiques

**7/** Détecteur optoélectroniques.

**8/** Applications : Régulation, mesure, automatisme, télécommunications.

**Mode d'évaluation** : contrôle continu et examen.

**Références** :

- The interaction of high power lasers with plasmas, S. Eliezer, IOP (2002).
- Plasma waves, D. G. Swanson, IOP (2003).

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : ***Ouvertures transversales 3***

Intitulé de la matière : ***Rédaction scientifique***

Nombre de crédits : **2** Coefficient de la matière : **1**

**Objectifs de l'enseignement** : Acquérir les outils de rédaction de documents scientifiques (thèses, articles,...)

**Connaissances préalables recommandées** : Néant.

**Contenu de la matière** :

- Articles et journaux scientifiques.
- Structuration d'un article.
- Rapports, mémoires et thèses.

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu et examen final.

Intitulé du master : **Nanophysique**

Semestre : **3**

Unité d'Enseignement : ***Ouvertures transversales 3***

Intitulé de la matière : ***Ingénierie pédagogique***

Nombre de crédits : **1** Coefficient de la matière : **1**

**Objectifs de l'enseignement** : Acquérir des notions sur l'enseignement et l'élaboration d'un plan de formation adapté.

**Connaissances préalables recommandées** : Néant.

**Contenu de la matière** :

- Identification des besoins en formation
- Modélisation pédagogique.
- Scénarisation pédagogique.
- Animation d'une formation
- Production de ressources pédagogiques.
- Suivi et évaluation d'une formation

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu et examen final.

**Référence** :

- NOYE (2013) *Guide pratique du formateur: concevoir, animer, évaluer une formation*. Edition Julhiet INSEP Consulting
- CARRE Philippe & CASPAR Pierre, (2001) *Traité des sciences et techniques de la formation*. Dunod

