

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 901 Numerical methods and applications

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Hervé Rinnert herve.rinnert@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TP	EqTD
EC 901.1 Numerical methods and applications	2800	15	15	37,5

Descriptif

English version below

Cette unité d'enseignement, commune aux masters MQN et PPEF, est consacrée aux méthodes de calcul numériques appliquées à des problèmes de physique en proximité avec les champs de recherche des matières condensées et diluées.

Ceux-ci impliquent souvent la résolution d'équations différentielles, des approches statistiques et de l'échantillonnage, nécessitant d'aborder des méthodes numériques spécifiques.

Une partie CM se concentre sur les notions théoriques, et ne nécessite pas l'utilisation d'un ordinateur. Une partie TP se déroule en grande partie sur machine, dans le langage python.

CM :

- Discrétisation, conditions aux bords
- Normalisation (adimensionnalisation)
- Procédure générale de développement d'un code de résolution numérique d'équations aux dérivées ordinaires (EDO) et partielles (EDP)
- Représentation d'un nombre en virgule flottante, et erreurs d'arrondis
- Analyse de schémas numériques (erreur numérique, convergence, stabilité numérique)

TP :

- Partie Monte-Carlo :
 - o Calcul de pi par échantillonnage simple, marche aléatoire
 - o Echantillonnage pondéré, oscillateur harmonique
 - o Chaîne de Markov, algorithme de Metropolis
 - o Applications à des modèles simples et au modèle d'Ising
 - o Convergence de la chaîne et calcul d'erreur
- Partie équations différentielles :
 - o Dérivées, intégrales
 - o Application aux EDO, méthode d'Euler

- o Interpolation
- o Application aux EDP, advection

This course, common to the MQN and PPEF masters, is devoted to numerical calculation methods applied to physics problems close to the fields of research of condensed and diluted matter. These often involve solving differential equations, statistical approaches and sampling, requiring specific numerical methods to be addressed. A part focuses on theoretical notions, and does not require the use of a computer. A practical part takes place using computers in the Python language.

CM:

- Discretization, boundary conditions - Normalization
- General procedure for developing a code for the numerical resolution of ordinary differential equations (ODE) and partial differential equations (PDE)
- Representation of a floating point number, and rounding errors
- Analysis of numerical schemes (numerical error, convergence, numerical stability)

Practicals:

- Monte Carlo:
 - o Calculation of pi by simple sampling, random walk
 - o Weighted sampling, harmonic oscillator
 - o Markov chain, Metropolis algorithm
 - o Applications to simple models and to the Ising model
 - o Chain convergence and error calculation
- Differential equations:
 - o Derivatives, integrals
 - o Application to ODEs, Euler method
 - o Interpolation
 - o Application to PDEs, advection

Pré-requis

Développement de Taylor, bases de physique statistique, notions d'algorithme, bases de programmation en langage Python.

Acquis d'apprentissage

Boîte à outils de méthodes numériques pour applications à la physique statistique et à la dynamique.

Procédures d'analyse de méthodes numériques.

Compétences visées

BC 1. Usages avancés et spécialisés des outils numériques

- Identifier les principaux outils du domaine du numérique (architecture, langages, bibliothèques...),
- Se servir de façon autonome des outils numériques avancés pour un ou plusieurs métiers ou secteurs de recherche du domaine,
- Développer un algorithme adapté à un problème spécifique du domaine,

- Écrire un programme dans au moins un langage de programmation

BC2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.2. Identifier et mener en autonomie les différentes étapes d'une démarche expérimentale ou numérique :

- Interpréter des données expérimentales ou numériques,
- Valider un modèle théorique par comparaison de ses prévisions aux résultats, expérimentaux et apprécier ses limites de validité.

BC5 : Élaboration d'une démarche scientifique en physique

5.1. Analyser un problème avancé et développer une stratégie de résolution :

- Analyser un système complexe (domaine de la matière condensée ou des plasmas),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution,

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 902 Dynamiques quantiques

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Dragi Karevski dragi.karevski@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	EqTD
EC 902.1 Dynamiques quantiques	2800	30	45

Descriptif

Le contenu du cours est le suivant :

1° Dynamique et symétries

1.1 Evolution temporelle des systèmes physiques

1.2 Points de vue de Heisenberg, de Dirac (interaction)

1.3 Probabilité de transition, perturbation dépendant du temps

1.4 Règle d'or de Fermi, diffusion

1.5 Dynamique des systèmes quantiques ouverts (systèmes + environnement)

2° Seconde quantification

2.1 Postulat de symétrisation

2.2 Opérateurs de création et d'annihilation

2.3 Expression des opérateurs à 1, 2, ... corps

2.4 Equations du mouvement pour les opérateurs de champ

3° Hamiltoniens modèles à N corps

3.1 Transformations des Bosons en Fermions et vice et versa

3.2 Modèle tight-binding, ou XX

3.3 Modèle d'Ising en champ transverse

3.4 Modèle de Hubbard, Fermionic et bosonic

Pré-requis

Connaissances de mécanique quantique et de physique statistique niveau M1.

Acquis d'apprentissage

Le cours a pour objectif de donner les rudiments de la théorie de l'interaction rayonnement matière ainsi que les outils formels de la seconde quantification. Ces outils sont ensuite utilisés pour la description de la physique de systèmes quantiques à N corps paradigmatiques, en insistant principalement sur leurs propriétés de basse température.

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant aura acquis un niveau de connaissances sur les grands principes de l'interaction rayonnement matière et sur les systèmes quantiques à N corps lui permettant d'intégrer des aspects plus fondamentaux dans des contextes variés relevant soit de la physique théorique ou encore de la physique expérimentale.

Compétences visées

Bloc(s) de compétences associé(s) (selon fichier BCC_ST_Master physique) :

BC 3 Communication spécialisée pour le transfert de connaissances

3.2. Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et dans au moins une langue étrangère.

BC 5. Élaboration d'une démarche scientifique en physique

5.1. Analyser un problème avancé et développer une stratégie de résolution :

- Analyser un système complexe (domaine de la matière condensée ou des plasmas),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution,

A l'issue de ce cours, l'étudiant(e) pourra appréhender les grands axes et les enjeux de la recherche dans le domaine de la physique quantique.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 903 Matière topologique et corrélations fortes

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Daniel Malterre daniel.malterre@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 60h, Nombre de crédits ECTS : 6

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 60h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	EqTD
EC 903.1 Matière topologique et corrélations fortes	2800	60	90

Descriptif

Le contenu du cours est le suivant :

Partie 1 : Théorie à un électron

- 1-réseaux périodiques, zones de Brillouin et théorème de Bloch
- 2- le gaz d'électrons libres sans interactions
- 3- théorie des bandes dans l'approche Hartree-Fock
- 4- effets de l'interaction spin orbite : rappel de physique atomique et couplage spin-orbite en théorie des bandes, effet Rashba
- 5- la fonction diélectrique et la réponse linéaire

Partie 2 : Les phases topologiques

- 1- introduction sur la topologie (transport parallèle, connexion, courbure, dérivée covariante)
- 2- la connexion de Berry
- 3- le graphène et les fermions de Dirac
- 4- les isolants topologiques de Chern
- 5- les isolants topologiques de Kane et Mele

Partie 3 : Les effets à N corps

- 1- le formalisme de seconde quantification
- 2- la fonction de Green à un électron
- 3- théorie de perturbation et diagrammatique de Feynman
- 4- les liquides de Fermi
- 5- Les isolants de Mott et à transfert de charge

Ouvrage de référence : Advanced quantum condensed Matter Physics, One-Body, Many-Body, and Topological Perspectives, Michael El-Batanouny, Cambridge University Press

Pré-requis

Connaissances de mécanique quantique et de physique du solide niveau M1.

Acquis d'apprentissage

A l'issue de ce cours, les étudiants auront acquis un socle de connaissances approfondi en physique du solide en allant de la physique à un électron aux effets à N corps, en passant par l'étude des isolants topologiques.

Compétences visées

Bloc(s) de compétences associé(s) (selon fichier BCC_ST_Master physique) :

BC 3. Communication spécialisée pour le transfert de connaissances

3.2. Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et dans au moins une langue étrangère.

BC 5. Élaboration d'une démarche scientifique en physique

5.1. Analyser un problème avancé et développer une stratégie de résolution :

- Analyser un système complexe (domaine de la matière condensée ou des plasmas),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution,

BC 6. Mise en œuvre de méthodes et d'outils du champ disciplinaire

6.1. Maîtriser les outils mathématiques utiles en physique et résoudre des problèmes à haut niveau d'abstraction,

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 904 Les grands instruments et leurs faisceaux quantiques

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Elodie Tailleur elodie.tailleur@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 60h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	EqTD
EC 904.1 Les grands instruments & leurs faisceaux quantiques	2800	30	45

Descriptif

Le rayonnement synchrotron, sonde de la matière

Le contenu du cours est le suivant :

- 1 : Description d'un synchrotron, anneau d'émission de rayons X à large bande spectrale
- 2 : Principe du rayonnement synchrotron
- 3 : Interaction rayonnement matière et type d'expériences réalisées : expériences basées sur l'absorption, expériences basées sur la diffusion, diffusion résonnante, choix des particules détectés et modes de détection, volume sondé, sensibilité, apport de la polarisation des photons.
- 4 : Développement formel et pratique de 3 types d'expériences : L'EXAFS, le DAFS et le dichroïsme magnétique circulaire.

Les neutrons, sonde de la matière

Le contenu du cours est le suivant :

- 1 : Découverte du Neutron et retombées en science et société. Production des neutrons. Propriétés du neutron
- 2 : Interactions neutron-matière (nucléaire et magnétique)
- 3 : Diffusion nucléaire et magnétique, cohérente/incohérente, élastique (structure de la matière) /inélastique (excitation collective de la matière)
- 5 : Description de 2 types d'expériences :
 - Diffraction monocristal/poudre avec un focus sur les structures magnétiques
 - Spectromètre 3 axes/temps de vol avec un focus sur la mesure de phonons

Pré-requis

- Connaissances de physique du solide : cristallographie, réseau réciproque, diffraction, structure électronique des solides.
- Physique quantique niveau M1, électromagnétisme
- Interaction rayonnement-matière vue dans l'UE « dynamique quantique » du M2

MQN et donc dispensé avant que ce module grands instruments ne commence

Acquis d'apprentissage

Le cours a pour premier objectif d'enseigner les notions fondamentales du fonctionnement d'un synchrotron et d'une source de neutrons, permettant de comprendre les caractéristiques des faisceaux quantiques obtenus. Le second objectif est de connaître les grandes classes d'expériences accessibles autour de ces faisceaux quantiques et des informations sur la matière que l'on peut obtenir par ces expériences. Un troisième objectif est d'acquérir quelques bases sur la compréhension de l'interaction des faisceaux avec la matière étudiée et sur la formulation et la modélisation des datas ainsi obtenues.

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant-e aura acquis un niveau de connaissance basique sur le fonctionnement global d'un synchrotron ou d'une source de neutrons, sans en être néanmoins spécialiste. Il-elle sera capable de comprendre le choix d'un type d'expérience particulier par rapport à l'information recherchée sur le matériau étudié, tout en ayant les bases de compréhension des formalismes utilisés pour traiter les données.

Compétences visées

Bloc(s) de compétences associé(s) (selon fichier BCC_ST_Master physique) :

BC 5. Élaboration d'une démarche scientifique en physique

5.1. Analyser un problème avancé et développer une stratégie de résolution :

- Analyser un système complexe (domaine de la matière condensée),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant des stratégies d'analyse appropriées à la problématique scientifique liée au matériau analysé.

L'UE permettra d'acquérir des savoirs et une méthodologie qui permettront à l'étudiant de répondre à des situations concrètes où les grands instruments peuvent apporter des informations spécifiques, difficiles, voire impossible à obtenir avec des techniques d'analyse standard. A l'issue de ce cours, l'étudiant-e pourra comprendre sur site (anneau synchrotron, source de neutrons) l'environnement dans lequel il-elle se trouve, les tenants et les aboutissants des différentes lignes présentes et des expériences réalisées sur ces lignes. Il-elle disposera des bases pour comprendre comment est menée une expérience et comment les data peuvent être traitées.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 905 Physique des semi-conducteurs & composants quantiques

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Hervé Rinnert herve.rinnert@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 0h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	EqTD
EC 905.1 Physique semi-conducteurs & composants quantiques	2800	30	45

Descriptif

Le contenu du cours est le suivant :

- 1 : Rappels sur la structure électronique (Différents types de semi-conducteurs, notions de trou, concept de masse effective et modèle de bandes paraboliques).
- 2 : Propriétés électroniques intrinsèques, extrinsèques (Concentration de porteurs à l'équilibre, Introduction d'impuretés dans le cristal, niveaux d'énergie associés, dopage)
- 3 : Transport (Courant dans le semi-conducteur hors équilibre, courant de conduction, courant de diffusion, relation d'Einstein, Processus de génération et de recombinaison, durée de vie des porteurs, Recombinaison bande à bande, recombinaison par des pièges, équations d'évolution)
- 4 : Interfaces – Jonctions : Travail de sortie, affinité électronique, émission thermoélectronique, Interface entre deux semi-conducteurs, jonction p-n à l'équilibre, Interface métal-semi-conducteur, isolant-semi-conducteur, jonctions polarisées, composants
- 5 : Propriétés optiques des semi-conducteurs (éléments dipolaires dans les SC à gap direct, absorption, émission spontanée, émission stimulée, injection de spin dans les semi-conducteurs, photoconduction)
- 6 : Confinement dans les semi-conducteurs : puits quantiques, nanocristaux, plasmonique

Pré-requis

Connaissances de physique du solide : cristallographie, structure électronique des solides.

Acquis d'apprentissage

Le cours a pour objectif d'enseigner les notions fondamentales de la physique des semi-conducteurs permettant de comprendre leurs propriétés électroniques et optiques. Il traitera des propriétés physiques liées au dopage des semi-conducteurs, au transport électronique, aux interfaces entre des semi-conducteurs et des métaux, des isolants ou d'autres semi-conducteurs et à l'interaction avec un rayonnement. Les concepts de base mis en jeu dans le fonctionnement des principaux composants électroniques et optiques seront présentés. Les avancées récentes sur les matériaux semi-conducteurs seront abordées.

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant aura acquis un niveau de connaissances sur les matériaux semi-conducteurs lui permettant d'intégrer les aspects fondamentaux dans un contexte plus global de mise en œuvre pour des applications, notamment dans les domaines des technologies de l'information et de la communication, de l'éclairage, de l'affichage, des cellules solaires, etc...

Compétences visées

Bloc(s) de compétences associé(s) (selon fichier BCC_ST_Master physique) :

BC 3.2. Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et dans au moins une langue étrangère.

BC 5.1. Analyser un problème avancé et développer une stratégie de résolution :

- Analyser un système complexe (domaine de la matière condensée ou des plasmas),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution,

L'UE permettra d'acquérir des savoirs et une méthodologie qui permettront à l'étudiant de répondre à des situations concrètes où les matériaux semi-conducteurs et leurs propriétés physiques fondamentales sont impliqués. A l'issue de ce cours, l'étudiant(e) pourra appréhender les grands axes et les enjeux de la recherche dans le domaine des semi-conducteurs.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 906 Surfaces, nano-objets et matériaux bidimensionnels

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Bertrand Kierren
bertrand.kierren@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 0h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	EqTD
EC 906.1 Surfaces, nano-objets et matériaux bidimensionnels	2800	30	45

Descriptif

Ce module aborde par les outils du physicien, les notions spécifiques des surfaces à l'échelle atomique et des interfaces ainsi que certaines propriétés physiques des objets de dimension réduites (nano objets et matériaux 2D, fils quantiques). Un chapitre spécifique est dédié aux matériaux nouveaux très prometteurs que sont les matériaux à structure lamellaire, dit matériaux 2D dans lesquels les interactions de Van der Waals jouent un rôle important. L'UE est divisée en plusieurs chapitres qui couvrent la description des propriétés structurales et électroniques des surfaces, interfaces et des nano objets, ainsi que les techniques d'analyse et de synthèse dédiées à ces systèmes. Le cours s'articule autour de cours magistraux, illustrés par des ateliers de cas pratiques construits à partir d'articles scientifiques ou de résultats scientifiques récents.

Les différents chapitres sont les suivants :

COURS 1 : Notion de surfaces et échelle nano / cristallographie des surfaces

COURS 2 : Techniques d'investigation dans l'espace réciproque
Diffraction électronique sur les surfaces (LEED/RHEED)

COURS 3 : L'analyse des surfaces par microscopie en champ proche : STM et AFM

COURS 4 : Les spectroscopies d'électrons appliquées à l'étude des surfaces et interfaces (Photoémission X et UV, spectroscopie Auger)

COURS 5 : propriétés électroniques des surfaces, films minces et nano structures. Effet de confinement quantique, interaction spin orbite et effet Rashba

COURS 6 : Les matériaux 2D lamellaires à interaction de Van der Waals : structure et propriétés optoélectroniques

COURS 7 : Les mécanismes de croissance à la surface/ aspect microscopiques /

Nano structuration

Pré-requis

- cristallographie élémentaire : arrangements cristallins et réseaux de Bravais
- physique quantique : atomistique, liaison covalente, théorie des bandes dans les solides
- physique des ondes : interférences, diffraction

Acquis d'apprentissage

Ce module a pour objectif de donner aux étudiants une culture scientifique sur les mécanismes physico chimiques spécifique qui interviennent à l'échelle atomique à la surface des cristaux et dans les objets de taille nano métrique, ainsi que sur les techniques d'investigation les plus importantes utilisée dans le domaine de la physique des surfaces. A l'issue du module, les étudiants auront les bases nécessaires pour se former sur les dispositifs expérimentaux complexes utilisés pour l'élaboration de nano matériaux et leur analyse in situ.

Par ailleurs, les ateliers de cas pratiques permettront aux étudiants d'appliquer une stratégie d'analyse de données expérimentales sur des cas réels.

Compétences visées

Bloc(s) de compétences associé(s) (selon fichier BCC_ST_Master physique) :

BC 3.2. Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et dans au moins une langue étrangère.

BC 5.1. Analyser un problème avancé et développer une stratégie de résolution :

- Analyser un système complexe (domaine de la matière condensée ou des plasmas),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution,

L'UE permettra d'acquérir des savoirs et une méthodologie qui permettront à l'étudiant de répondre à des situations concrètes et mettre en œuvre une démarche scientifique pour :

- choisir une technique d'élaboration de film minces ou de nano objets en environnement ultra vide
- conduire des expériences de caractérisation physique et analyser les résultats.
- Analyser et comprendre un article scientifique portant sur les sujets abordés dans cette UE.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 907 Nanomagnétisme et électronique de spin

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Stéphane Mangin
stephane.mangin@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 0h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	EqTD
EC 907.1 Nanomagnétisme et électronique de spin	2800	30	45

Descriptif

Le contenu du cours est le suivant :

1. Origine du magnétisme dans la matière : Aspect microscopique du magnétisme dans la matière
2. Théorie classique du diamagnétisme et du paramagnétisme
3. Le ferromagnétisme : Les interactions (Echange, Anisotropie magnéto-cristalline, dipolaire, zeeman) / concept de champ magnétique effectif
4. Configurations magnétiques : Parois et domaines magnétiques
5. Modèle de Stoner & Wohlfarth : approche "macro-spin" des systèmes magnétiques
6. Équation de Landau–Lifshitz–Gilbert : Dynamique de l'aimantation, origines des couples
7. Interaction de Dzyaloshinskii-Moria : création, déplacement et annihilation de skyrmions
8. Conductivité électrique dans les solides, le cas des métaux
9. Transport électrique dépendant du spin
10. Effet de Magnétorésistance géante : Vanne de spin, Jonction tunnel dépendant du spin
11. Manipulation de l'aimantation par un courant électrique : Couple de transfert de spin, Couple Spin-Orbite
12. Manipulation de l'aimantation par la lumière : Femto-magnétisme, retournement d'aimantation tout optique

Pré-requis

Connaissances de physique du solide (structure électronique des solides), de mécanique quantique

Acquis d'apprentissage

Le cours a pour objectif d'enseigner les notions fondamentales du magnétisme aux échelles

nanométriques et du transport électronique dépendant du spin.

Les concepts de base qui seront enseignés permettront de

Il traitera des propriétés physiques liées au dopage des semi-conducteurs, au transport électronique, aux interfaces entre des semi-conducteurs et des métaux, des isolants ou d'autres semi-conducteurs et à l'interaction avec un rayonnement. Les concepts de base mis en jeu dans le fonctionnement des principaux composants électroniques et optiques seront présentés. Les avancées récentes sur les matériaux semi-conducteurs seront abordées.

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant aura acquis un niveau de connaissances sur les nano-matériaux magnétiques et sur l'électronique de spin lui permettant de comprendre les sujets de recherche actuels dans le domaine. Il pourra lire des articles de revue concernant l'étude des effets de transfert de spin, du couple spin-orbite, de la dynamique et la topologie de vortex ou skyrmions magnétiques ...

Il lui permettra aussi d'appréhender les concepts nécessaires à la compréhension d'applications dans les domaines des mémoires magnétiques, du stockage de l'information, des aimants permanents ...

Compétences visées

Le cours a pour objectif d'enseigner les notions fondamentales du magnétisme aux échelles nanométriques et du transport électronique dépendant du spin.

Les concepts de base qui seront enseignés permettront de

Il traitera des propriétés physiques liées au dopage des semi-conducteurs, au transport électronique, aux interfaces entre des semi-conducteurs et des métaux, des isolants ou d'autres semi-conducteurs et à l'interaction avec un rayonnement. Les concepts de base mis en jeu dans le fonctionnement des principaux composants électroniques et optiques seront présentés. Les avancées récentes sur les matériaux semi-conducteurs seront abordées.

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant aura acquis un niveau de connaissances sur les nano-matériaux magnétiques et sur l'électronique de spin lui permettant de comprendre les sujets de recherche actuels dans le domaine. Il pourra lire des articles de revue concernant l'étude des effets de transfert de spin, du couple spin-orbite, de la dynamique et la topologie de vortex ou skyrmions magnétiques ...

Il lui permettra aussi d'appréhender les concepts nécessaires à la compréhension d'applications dans les domaines des mémoires magnétiques, du stockage de l'information, des aimants permanents ...

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 908 Structurat° matière : du subatomique au nanométrie

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Benoît Guillot benoit.guillot@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 0h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TP	EqTD
EC908.1 Structurat° matière : du subatomique au nanométrie	2800	4	26	32

Descriptif

Cette UE a pour but de permettre aux étudiants de Master 2 d'aborder concrètement les méthodes de détermination structurale, d'analyse structurale et de caractérisation multi-échelle de matériaux monocristallins, polycristallins et nanocristallins par diffusion et diffraction des rayons X.

De brefs rappels théoriques seront donnés en introduction aux travaux pratiques mais une place prépondérante sera réservée à l'approche expérimentale privilégiant le travail en petits groupes d'étudiants, tant au contact des équipements expérimentaux que lors des séances d'exploitation des données sur ordinateur.

Toutes les étapes constituant une expérience de diffraction X sur monocristal seront traitées : la préparation de l'échantillon, la collecte et traitement des données de diffraction, la résolution structurale et l'affinement de modèles allant jusqu'à la description de la distribution de la densité électronique moléculaire.

La méthode de diffraction des rayons X sur poudres sera également abordée : les étudiants auront la possibilité de préparer des échantillons et de réaliser des enregistrements de diagrammes de diffraction. Ceux-ci seront, pour cette partie, exploités pour l'étude de propriétés microstructurales et pour l'emploi de méthodes d'intérêt pour le monde de l'industrie telles que l'utilisation de bases de données pour l'identification de phases dans l'échantillon et leur quantification.

Dans une troisième partie, l'étude de nanomatériaux sera abordée en utilisant la fonction de distribution de paires (PDF) issues d'expériences de diffusion totale des rayons X. L'objectif de cette approche sera de caractériser des propriétés telles que cristallinité et taille de nanoparticules confinée dans des matrices amorphes.

Les expériences de diffraction et de diffusion des rayons X seront réalisées sur un même système moléculaire, permettant une continuité dans les approches expérimentales suivies et la mise en évidence de la complémentarité entre ces dernières.

Pré-requis

Cristallographie géométrique : réseaux directs et réciproques, plans réticulaires, éléments, opérations et groupes de symétrie en cristallographie.

Théorie de la diffraction, et en particulier diffraction X par une structure périodique : lois de Bragg, construction d'Ewald

Acquis d'apprentissage

Cette unité d'enseignement donnera aux étudiants une base concrète de connaissances leur permettant de faire le lien entre les enseignements théoriques de cristallographie ou de caractérisation de matériaux et nanomatériaux fonctionnels par diffraction et diffusion totale des rayons X et l'approche pratique de ces méthodes. En particulier, les étudiants auront abordé de façon concrète l'ensemble des étapes relatives (i) à la détermination et l'analyse d'une structure cristalline à partir d'une expérience de diffraction sur monocristal (ii) à la caractérisation d'un matériau polycristallin par diffractométrie X et (iii) à l'étude de nanomatériaux par diffusion totale des rayons X. Ils connaîtront également, à l'issue de cet enseignement pratique, les caractéristiques techniques des équipements de pointe mis à leur disposition et les outils logiciels nécessaires au traitement des données expérimentales. Ainsi, ils pourront appréhender les problématiques de recherche en sciences des matériaux pour des applications intéressantes.

Compétences visées

BC 3.2. Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et dans au moins une langue étrangère.

BC 5.1. Analyser un problème avancé et développer une stratégie de résolution :

- Analyser un système complexe (domaine de la matière condensée ou des plasmas),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution.

A l'issue de cet enseignement, les étudiants auront acquis les compétences essentielles à la mise en œuvre, la réalisation et l'interprétation des expériences de diffusion totale et de diffraction X sur diffractomètre monocristal et poudres. Ces compétences, qui incluront l'emploi d'équipements de diffractométrie et l'usage de logiciels modernes de collecte, de traitement et d'utilisation de données de diffraction X, pourront être mises en application dans le contexte d'un laboratoire de recherche travaillant dans des domaines connexes à la cristallographie, d'une plateforme de mesures de diffraction ou d'un laboratoire industriel utilisant la diffractométrie X.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 909 Techniques expérimentales en nanosciences

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Sébastien Petit-Watelot
sebastien.petit@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	TP	EqTD
EC 909.1 Techniques expérimentales en nanosciences	2800	30	30

Descriptif

Cette UE de Travaux Pratiques a pour but de proposer aux étudiants de réaliser un projet scientifique et technologique dans son intégralité, de l'élaboration du plan de travail à l'obtention d'un produit final caractérisé, en passant par les différentes étapes de conception et de fabrication. Ce sera pour l'étudiant l'opportunité de travailler sur des systèmes expérimentaux de laboratoire de dernière génération qui font la spécificité de l'Université de Lorraine. Ainsi, ces TP s'appuieront sur les outils de recherches spécifiques de l'UL, à l'état de l'art de la recherche fondamentale et appliquée, et permettront à l'étudiant de mettre en application des connaissances fondamentales acquises au long de la formation de master. Dans ce contexte, l'étudiant aura accès au tunnel ultravide (TUBE) ainsi qu'aux centres de compétences de magnétométrie et de micro et nano-fabrication hébergés à l'Institut Jean Lamour. Cette UE est labélisée et soutenue par le dispositif ORION de l'UL.

L'UE sera décomposée en six séances qui auront lieu sur les plateformes de recherche de l'Institut Jean Lamour :

1. Dépôts de couches minces sur Si/SiO₂ ou sur MgO par épitaxie par jet moléculaire dans un bâti de dépôt connecté à la plateforme expérimentale « TUBE »
2. Caractérisation des propriétés électroniques par différentes techniques de spectroscopies disponibles sur la plateforme expérimentale « TUBE »
3. Caractérisation structurale par microscopie électronique en transmission
4. Caractérisation des propriétés magnétiques par deux techniques de magnétométrie différentes
5. Micro-fabrication avec découpe, mise sur puce et connexion électrique
6. Caractérisations électriques des propriétés de magnéto-transport : étalonnage du capteur réalisé

Pré-requis

- Magnétisme niveau M1
- Bases de physique du solide (structure cristallographique, propriétés électroniques)

des métaux)

- Bases de diffraction des rayons X et des électrons
- Bases de spectroscopie
- Mesures électriques niveau L2

Acquis d'apprentissage

A l'issue de cette UE l'étudiant aura une vision synthétique de la manière d'aborder un plan d'expérience pour réaliser un projet scientifique et technologique et ce en immersion dans un laboratoire de recherche. Cette UE permettra à l'étudiant de découvrir différentes techniques expérimentales et de les mettre en relation pour atteindre un objectif complexe.

Cette UE permettra ainsi à l'étudiant de mettre en pratique de nombreuses connaissances théoriques acquises au cours de sa formation universitaire, qu'il devra être capable de mobiliser et de mettre en relation dans un projet interdisciplinaire.

Compétences visées

Bloc(s) de compétences associé(s) (selon fichier BCC_ST_Master physique) :

BC 2. Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.2. Identifier et mener en autonomie les différentes étapes d'une démarche expérimentale ou numérique :

- Interpréter des données expérimentales ou numériques,
- Valider un modèle théorique par comparaison de ses prévisions aux résultats, expérimentaux et apprécier ses limites de validité.

BC 6. Mise en œuvre de méthodes et d'outils du champ disciplinaire

6.2 Maîtriser des techniques expérimentales les plus courantes du domaine.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE910 Etude expérimentale & théorique matériaux moléculaires

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Elodie Tailleur elodie.tailleur@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TP	EqTD
EC910.1 Etude expérim. & théorique de matériaux moléculaires	2800	8	22	34

Descriptif

Cette UE a pour but de former les étudiants de Master 2 aux méthodes et aux démarches adoptées dans le monde de la recherche en particulier celui des matériaux moléculaires. Les étudiants étudieront un système moléculaire dont les propriétés structurales et physiques présentent une transition en fonction de la température. Pour cela, différentes expériences telles que la diffraction des rayons X, la spectroscopie infrarouge, ou encore la calorimétrie seront réalisées entre la température ambiante et 100K. Une introduction au magnétisme moléculaire sera faite à travers l'étude des propriétés magnétiques du système moléculaire ciblé. Le choix d'un système moléculaire unique permettra de mettre en évidence la complémentarité entre ces différentes caractérisations. Dans un deuxième temps, des calculs théoriques par DFT (Density Functional Theory) seront réalisés. Les résultats de ces calculs seront comparés aux résultats expérimentaux. L'analyse puis la comparaison de ces résultats permettra aux étudiants d'appréhender les similitudes ou au contraire les différences entre les approches expérimentales et théoriques. Enfin, il s'agira de relier les propriétés structurales et les propriétés physiques du système moléculaire étudié. Une introduction aux matériaux moléculaires et à la DFT ainsi que de brefs rappels théoriques sur les différentes techniques expérimentales seront donnés en préambule. Une place prépondérante sera réservée aux travaux pratiques privilégiant le travail en petits groupes d'étudiants, tant au contact des équipements expérimentaux que lors des séances d'exploitation des données sur ordinateur. Il sera demandé aux étudiants une analyse critique de leurs résultats qu'ils pourront exposer lors d'une présentation orale.

Pré-requis

Cet UE transdisciplinaire requiert des connaissances générales de niveau M1 Physique (notions de cristallographie, physique du solide, physique atomique et moléculaire, diffraction, transition de phase) et une relative aisance avec l'outil informatique.

Acquis d'apprentissage

Le cours a pour objectif de présenter aux étudiants les matériaux moléculaires et quelques-unes de leurs propriétés physiques. A l'issue de cet enseignement les étudiants auront acquis les connaissances de base permettant la mise en œuvre et l'exploitation de caractérisations expérimentales de matériaux moléculaires. Ils auront aussi abordé concrètement des notions fondamentales en physique telles que les transitions de phases, la variation d'enthalpie, des transitions électroniques ou encore le magnétisme. Enfin, au cours de cet enseignement, les étudiants auront acquis les notions essentielles permettant la mise en œuvre de calculs DFT appliqués à certaines propriétés des matériaux moléculaires. A l'issue de cet enseignement, l'étudiant aura acquis un niveau de connaissances sur les matériaux moléculaires lui permettant d'appréhender les aspects fondamentaux dans un contexte plus global de la recherche dans le domaine des matériaux moléculaires. Ces acquis d'apprentissage pourront être mis en œuvre lors de travaux de recherche portant sur des matériaux moléculaires (par exemple dans le cadre de stages ou de la poursuite d'étude en doctorat).

Compétences visées

Bloc(s) de compétences associé(s) (selon fichier BCC_ST_Master physique) :

BC 2. Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.2. Identifier et mener en autonomie les différentes étapes d'une démarche expérimentale ou numérique :

- Interpréter des données expérimentales ou numériques,
- Valider un modèle théorique par comparaison de ses prévisions aux résultats, expérimentaux et apprécier ses limites de validité.

BC 3 Communication spécialisée pour le transfert de connaissances

3.2. Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et dans au moins une langue étrangère.

A l'issue de cet enseignement, les étudiants auront acquis les compétences essentielles pour caractériser les propriétés physiques et structurales d'un matériau moléculaire, de manière théorique et expérimentale. Ces compétences incluront la mise en œuvre de calculs DFT, l'utilisation d'équipements de recherche (Diffractomètre, spectromètre) mais aussi l'usage de logiciels pour le traitement des données acquises. A l'issue de ce cours, l'étudiant(e) pourra appréhender les grands axes et les enjeux de la recherche dans le domaine des matériaux moléculaires.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 911 Théorie des champs et transitions de phases

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Bertrand Berche
bertrand.berche@univ-lorraine.fr

Semestre : 9

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	EqTD
EC 911.1 Théorie des champs et transitions de phases	2800	30	45

Descriptif

1. Théorie des champs

1.1 Champs classiques

1.2 Principe de moindre action

1.3 Le champ électromagnétique

1.4 Quantification canonique

1.5 Le cas du champ électromagnétique

2. Phénomènes critiques et transitions de phases

2.1 Transitions de phases

2.2 Théorie de Ginsburg Landau

2.3 Lois d'échelles, universalité

2.4 Groupe de renormalisation

3. Matrices de transfert

3.1 Matrice de transfert pour le modèle d'Ising 1d

3.2 Modèle d'Ising 2d

3.3 Correspondance d-d+1 (classique - quantique Kogut)

4. Transitions de phase quantiques

4.1 Transitions de phase quantiques

4.2 Modèle d'Ising en champ transverse

4.3 Diagonalisation exacte

4.4 Transitions dynamiques

Pré-requis

Notions solides de mécanique analytique, physique statistique, mécanique quantique

Acquis d'apprentissage

Description mathématique de transitions de phase.

Compétences visées

Bloc(s) de compétences associé(s) (selon fichier BCC_ST_Master physique) :

BC 5. Élaboration d'une démarche scientifique en physique

5.1. Analyser un problème avancé et développer une stratégie de résolution :

- Analyser un système complexe (domaine de la matière condensée ou des plasmas),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution

Compréhension des phénomènes physiques à l'œuvre dans les comportements collectifs de la matière

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 1001 Culture scientifique et enjeux sociétaux

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Hervé Rinnert herve.rinnert@univ-lorraine.fr

Semestre : 10

Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	EqTD
EC 1001.1 Culture scientifique et enjeux sociétaux	2800	30	45

Descriptif

Cette unité d'enseignement, commune aux masters MQN et PPEF, est consacrée à la culture scientifique et aux enjeux sociétaux, en lien avec les deux parcours Matière Quantique et Nanomatériaux (MQN) et Physique des Plasmas et Energie de Fusion (PPEF).

- Sensibilisation à l'intelligence artificielle, ses utilisations en physique,
- Développement durable en lien avec les matériaux et l'énergie,
- Visite des laboratoires supports du master,
- Participation aux séminaires des laboratoires supports,
- Organisation de la journée scientifique du master.

Pré-requis

Culture scientifique attendue au niveau M1.

Acquis d'apprentissage

Les étudiants seront sensibilisés aux enjeux sociétaux et au développement durable, en lien avec les domaines de la physique, acquerront des notions sur l'intelligence artificielle, auront accès à l'écosystème local des laboratoires et du monde socio-économique.

Compétences visées

BC3 : Communication spécialisée pour le transfert de connaissances

3.1. Identifier, sélectionner et analyser avec un esprit critique diverses ressources spécialisées pour documenter un sujet et synthétiser ces données en vue de leur exploitation,

3.2. Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et dans au moins une langue étrangère.

BC4 : Appui à la transformation en contexte professionnel

4.2. Développer une attitude professionnelle et responsable :

- Analyser ses actions en situation professionnelle, s'auto-évaluer pour améliorer sa pratique dans le cadre d'une démarche qualité,
- Respecter les principes d'éthique, de déontologie et de responsabilité environnementale.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 1002 Stage MQN

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Daniel Malterre daniel.malterre@univ-lorraine.fr

Semestre : 10

Volume horaire enseigné : 0h, Nombre de crédits ECTS : 27

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 0h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	EqTD	EC 1002.1 Stage MQN
------------------------------	-----	------	------------------------------

Descriptif

Le stage constitue une situation intégratrice majeure du master qui permettra aux étudiants de mener une activité de recherche dans une équipe de recherche, qu'elle soit d'un des laboratoires supports du master ou d'un autre laboratoire, en accord avec le responsable pédagogique du parcours-type.

Pré-requis

Socle de connaissances du master de physique, M1 et M2, S9.

Acquis d'apprentissage

Connaissance du fonctionnement d'une équipe de recherche. Implication dans une démarche scientifique.

Compétences visées

Bloc(s) de compétences associé(s) (selon fichier BCC_ST_Master physique) :

BC 1. : Usages avancés et spécialisés des outils numériques

- Identifier les principaux outils du domaine du numérique (architecture, langages, libraires...),

- Se servir de façon autonome des outils numériques avancés pour un ou plusieurs métiers ou secteurs de recherche du domaine,

- Développer un algorithme adapté à un problème spécifique du domaine,

- Écrire un programme dans au moins un langage de programmation

BC 2. : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

BC 2.2. : Identifier et mener en autonomie les différentes étapes d'une démarche expérimentale ou numérique :

- Interpréter des données expérimentales ou numériques,

- Valider un modèle théorique par comparaison de ses prévisions aux résultats, expérimentaux et apprécier ses limites de validité.

BC 3. : Communication spécialisée pour le transfert de connaissances

BC 3.1. : Identifier, sélectionner et analyser avec un esprit critique diverses ressources spécialisées pour documenter un sujet et synthétiser ces données en vue de leur exploitation

BC 3.2. : Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et dans au moins une langue étrangère. Conduire un projet (conception, pilotage, coordination d'équipe, mise en œuvre et gestion, évaluation, diffusion) pouvant mobiliser des compétences pluridisciplinaires dans un cadre collaboratif,

BC 4. : Appui à la transformation en contexte professionnel

BC 4.1. : Conduire un projet (conception, pilotage, coordination d'équipe, mise en œuvre et gestion, évaluation, diffusion) pouvant mobiliser des compétences pluridisciplinaires dans un cadre collaboratif.

BC 5. : Élaboration d'une démarche scientifique en physique

BC 5.1. : Analyser un problème avancé et développer une stratégie de résolution :

- Analyser un système complexe (domaine de la matière condensée ou des plasmas),

- Établir des liens entre des champs différents de la physique,

- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution

BC 6. : Mise en œuvre de méthodes et d'outils du champ disciplinaire

BC 6.1. : Maîtriser les outils mathématiques utiles en physique et résoudre des problèmes à haut niveau d'abstraction

BC 6.2. : Maîtriser des techniques expérimentales les plus courantes du domaine.