

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 701 Mécanique Quantique

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Christophe Chatelain
christophe.chatelain@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

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	TD	EqTD
EC 701.1 Mécanique Quantique	2800	30	30	75

Descriptif

Socles à maîtriser

- Rappels sommaires de mécanique ondulatoire (oscillateur harmonique et atome d'hydrogène) et de la formulation algébrique de la mécanique quantique (évolution temporelle d'un système à deux états).
- Symétries d'un système quantique : symétries discrètes (parité, renversement du temps), groupes de symétrie continus (translation, rotation)
- Moment cinétique, algèbre et fonctions propres, opérateurs échelle, moment cinétique de spin.
- Composition des moments cinétiques
- Perturbations stationnaires (méthodes de Rayleigh-Schrödinger, cas dégénéré, méthode variationnelle)
- Perturbations dépendantes du temps, règle d'or de Fermi.

Contenus additionnels

- Théorème de Wigner-Eckart
- indiscernabilité des particules et seconde quantification

Pré-requis

Introduction à la mécanique quantique comprenant la mécanique ondulatoire et la formulation algébrique.

Acquis d'apprentissage

Le cours a pour objectif de présenter la mécanique quantique de manière générale et à un niveau suffisant pour permettre à l'étudiant d'aborder l'étude de la physique atomique, la physique de la matière condensée ou la physique statistique des systèmes quantiques.

Compétences visées

BC 2. Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

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 702 Physique Statistique

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 : 7

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	TD	EqTD
EC 702.1 Physique Statistique	2800	30	30	75

Descriptif

Dans la première partie de ce module, la physique statistique des systèmes à l'équilibre thermodynamique est développée en suivant l'approche introduite par Gibbs. On s'attache tout d'abord à définir les concepts centraux d'états macroscopiques et microscopiques. A partir du postulat fondamental de l'équiprobabilité des états microscopiques pour un système isolé (ensemble microcanonique), on construit la distribution des états pour un système en équilibre avec un bain thermique (ensemble canonique) et avec un réservoir de particules (ensemble grand-canonique).

Dans la seconde partie, cette théorie est appliquée aux gaz de particules classiques : Gaz idéal classique, modes internes, gaz réel dilué, gaz de van der Waals, gaz plongé dans un potentiel extérieur, théorie cinétique

Dans la troisième partie sont étudiées les théories statistiques des gaz de fermions et de bosons :

Dans le cas bosonique, le rayonnement électromagnétique dans une cavité, les phonons et la condensation de Bose-Einstein sont traités.

Dans le cas fermionique, le gaz de fermions libres, le paramagnétisme de Pauli, les semi-conducteurs et la supraconductivité sont traités.

Dans la dernière partie nous étudions les transitions de phases :

Théorie de Ginsburg Landau, validité de l'approche de Landau, invariance d'échelle et renormalisation

Pré-requis

Les étudiants devront avoir des notions élémentaires de théorie des probabilités, maîtriser les bases de la mécanique newtonienne et de la mécanique quantique dans sa formulation algébrique ainsi que la thermodynamique (premier et second principes). On ne présupposera aucune connaissance préalable en physique statistique.

Acquis d'apprentissage

A l'issue du module, les étudiants auront compris comment peuvent être fondés microscopiquement les différents concepts et relations de la thermodynamique d'équilibre.

Compétences visées

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

BC2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines, - Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC6 : 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 703 Mathematical and Numerical Methods for Physics

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 : 7

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

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 60h

Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	TP	EqTD
EC 703.1 Mathematical Methods for Physics	2800	15	15		37,5
EC 703.2 Numerical Methods for Physics	2800	10		20	35

Descriptif

Mathematical Methods :

1. Tools of linear algebras for quantum mechanics
2. Elements of tensorial calculs: covariants et contravariants components, Jacobian matrix of a coordinate transformation, metrics, notion of tensor (affine tensor, symmetric and antisymmetric tensor); examples of transformations between coordinates with Euclidian and non-Euclidian metrics.
3. First and second order Partial Differential Equations (PDE): PDE classification, integration along the characteristics for I order PDE; Classification of 2nd order PDE according to the characteristic solutions.
4. Self-similar solutions of quasi-homogeneous differential equations in 2D: notion of homogeneous and quasi-homogenous differential equations; homotetic trajectory and selfsimilar solution; applications to problems of mechanics (homotetic trajectories in conservative fields) and transport equations.
5. Distributions and integration in the Complex domain: test functions, space of distributions; relationship between functions and distributions, notion of convergence of distributions; operations with distributions and Fourier transform of distributions. Poles in the complex space and residue theorem.
6. Integral transformations: Laplace transform. Applications of Fourier and Laplace transform to the integration of ODE. Indetermination principle for Fourier conjugate variables.
7. Green functions: general introduction to Green functions for the solution of inhomogeneous differential equations, time-dependent Green functions, applications to the case of independent particles, perturbation theory. Strong binding Hamiltonian and applications to solid state physics problems.

Numerical Methods :

The following topics will be addressed theoretically and programmed with Python (with a particular attention to discuss the limitations of the different operations and

the choice of the underlying algorithms):

1. Introduction to numerical analysis: domain discretization, floating point representation, truncation of differential operators, error propagation; interpretation of numerical results.
2. Advance operation and “programming” with a Python
3. Matrix calculs.
4. Resolution of PDE.
5. Data analysis.

Pré-requis

Basic notions of algebra (solution of a II degree polynomial, operations with complex numbers) and of linear algebra (matrix operation, eigenvalue and eigenvector).

Basic notions of analysis (definition of differential, of simple and partial derivative; Taylor expansion; graphic representations of functions of one and two variables; gradient of a function and orthogonal vector to a surface in R^3).

Notions of Fourier transform and of Fourier basis.

Basic notions of ODE theory (definition, existence and unicity of solutions, solution of linear ODE, homogeneous and inhomogeneous differential equations).

Basic notions of PDE theory (classification according to the characteristics of II order PDE).

Basic notions of classical mechanics (conservative fields, integrable Hamiltonian).

Basic notions of quantum mechanics (Schrodinger equation, indetermination principle).

Basic notions of programming (algorithm and flow chart).

Acquis d'apprentissage

Mathematical methods which are used in many fields of physics.

Numerical methods to address typical physical problem requiring numerical integration.

More in-depth use of the Python language to study physical problems.

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, 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,

BC 2. Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines,

- Développer un esprit critique des savoirs,

- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

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 704 Experimental Physics

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Yannick Fagot-Revurat
yannick.fagot@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

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

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	TP	EqTD
EC 704.1 Experimental Physics	2800	60	60

Descriptif

Cet enseignement se compose de 3 cycles de TP :

Cycle 1 : Méthodes de caractérisation des plasmas

- Physique de la décharge d'une diode,
- Etude de la loi de Child Langmuir,
- Spectroscopie optique d'émission.

Cycle 2 : Mesures optiques et spectroscopiques

- Etude de l'effet Zeeman,
- Laser YAG : Nd (pompé par diode) diode Laser.

Cycle 3 : Mesures magnétiques et de transport, analyse de structure et traitement du signal

- Mesure de l'effet Hall, mesure du gap semi-conducteur,
- Détermination d'une structure par diffraction X.

Pré-requis

Connaissances de niveau licence de physique en :

- mécanique du point,
- électromagnétisme,
- résolution d'équations différentielles,
- physique quantique,
- notions de physique statistique.

Acquis d'apprentissage

- Identifier les sources d'erreur de mesure et les minimiser,
- Mettre en place un protocole de mesures,
- Exploiter des données de mesures et les interpréter à l'aide de lois physiques,

- Comprendre le rôle de chaque instrument dans une chaîne de mesure interfacée,
- Savoir utiliser et/ou installer une chaîne de mesure avec traitement du signal.

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.

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

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

Acquisition d'un savoir-faire expérimental dans le domaine de la matière condensée, des sciences de la fusion et de la spectroscopie en lien avec les spécialités du Master Physique
2ème année

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 705 Classical Field Theory

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 : 7

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	TD	EqTD
EC 705.1 Classical Field Theory	2800	15	15	37,5

Descriptif

Depuis les développements de la mécanique analytique les techniques variationnelles sont omniprésentes en physique et combinées à des arguments de symétrie elles sont le point de départ de nombreuses théories en physique fondamentale, en particulier depuis le début du XX^{ème} siècle. Il est en effet souvent relativement simple d'aborder un domaine nouveau en tentant de construire une action, grandeur scalaire à laquelle on demande de respecter certaines symétries (par exemple l'invariance de Lorentz dans un cadre relativiste). Les théories des champs se prêtent remarquablement à cette approche et on peut dans ce contexte aborder aussi bien l'électromagnétisme, la mécanique des fluides ou des plasmas, ou la mécanique ondulatoire (traitée alors comme une théorie des champs (complexes) classique).

L'objectif de cet enseignement est d'une part d'approfondir les connaissances acquises par les étudiants dans leur parcours de Licence (L3) (notamment lors des enseignements de Mécanique analytique de Relativité et d'Electromagnétisme) et d'autre part de les former à l'usage de la théorie des champs pour les préparer aux enseignements ultérieurs de seconde quantification ou à l'usage des théories effectives qu'ils pourront rencontrer dans des cours de physique de la matière condensée, de cosmologie, de gravitation ou de mécanique des fluides et des plasmas.

Contenu :

La chaîne 1D d'oscillateurs harmoniques

- traitement discret, lagrangien, équations d'Euler-Lagrange, équations du mouvement
- limite continue (du lagrangien, des équations du mouvement)
- Principe de moindre action pour des champs à 1D
- Notion de fonctionnelle et de variation fonctionnelle

L'électromagnétisme comme théorie des champs

- L'exemple du condensateur "revisité" – équations de Laplace ou de Poisson
- Lagrangien de Schwarzschild
- Minimisation par rapport aux potentiels

Application aux interactions champs/milieux

- Ondes (rappels, et point de vue du formalisme de la théorie des champs : densité

Lagrangienne, tenseur énergie-impulsion)

- Couplage entre champs électromagnétique et milieu (de type fluide ou plasma), réponse d'un milieu polarisé par un champ électromagnétique
- Réponse d'un milieu anisotrope
- Propagation : rappels sur la propagation des ondes, et exemple de traitement par la théorie des champs (L'effet Doppler dans un milieu dispersif)
- Conditions de bords, parois et interfaces

Extensions

Au choix on peut traiter un ou plusieurs exemples comme le traitement relativiste du lagrangien de Schwarzschild, le rayonnement d'ondes électromagnétiques (chapitre 9 de Landau et Lifshitz, Théorie des champs), ou l'accélération de photons (Mendonça, Theory of photon acceleration)...

Ouvrage(s) sur lesquels s'appuient le cours, et ouvrages conseillés

Soper, Classical field theory, Dover publications

Landau et Lifshitz, Théorie des champs/The classical theory of fields (chapitres 6 et 7)

Goldstein, Classical mechanics (dernier chapitre)

Papas, Theory of electromagnetic wave propagation, chapitre 7

Pré-requis

Les étudiants doivent avoir suivi un L3 de Physique ou de Sciences Physiques, avec des connaissances d'électromagnétisme, de mécanique analytique et de relativité restreinte.

Acquis d'apprentissage

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant devra maîtriser l'utilisation des méthodes variationnelles, et savoir appliquer les équations d'Euler-Lagrange dans des domaines divers de la physique.

Compétences visées

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

BC2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC6 : 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 706 Communication scientifique

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Thierry Réveillé thierry.reveille@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

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	TD	EqTD
EC 706.1 Communication scientifique	1100	30	30

Descriptif

Cette UE transverse est dédiée à deux aspects de la communication scientifique, la recherche bibliographique et l'expression en langue anglaise.

L'enseignement assuré par la bibliothèque universitaire vise à développer les compétences informationnelles essentielles en recherche d'information.

L'enseignement d'anglais abordera les différents aspects de la communication scientifique (écrite, orale, interactions informelles) tout en renforçant les compétences linguistiques, grammaticales et lexicales.

Le projet tutoré des étudiants (UE 801) servira de mise en application directe des enseignements.

Pré-requis

Niveau d'anglais B2

Acquis d'apprentissage

- Maîtriser les différents outils accessibles aux étudiants pour effectuer leur recherche bibliographique.
- Acquisition des compétences informationnelles essentielles en recherche d'information afin de gagner en efficacité en automatisant certaines tâches (logiciel de gestion bibliographique, veille)
- Sensibilisation aux enjeux de l'édition scientifique
- Consolider et approfondir des compétences linguistiques, sur le plan grammatical et lexical.
- Développer les connaissances linguistiques pour rédiger un texte scientifique en anglais

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 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.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 711 Basis of Modern Physics

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Nicolas Lemoine
nicolas.lemoine@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

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	TD	EqTD
EC 711.1 Quantum Mechanics	2800	15	15	37,5
EC 711.2 Statistical Physics	2800	15	15	37,5

Descriptif

EC : Quantum Mechanics -Mécanique quantique :

- 1 Historical experiments and review of wave mechanics - expériences fondatrices et notion de fonction d'onde
- 2 The postulates of quantum mechanics (Hilbert space, product of Hilbert spaces, observables, basis and matrix calculations) - Postulats de la mécanique quantique (espace d'Hilbert, observables, bases et calcul matriciel)
- 3 Examples of 2-states systems. Ammonia molecule and MASER - Exemples de système à 2 états (NH₃ et MASER)
- 4 Angular momentum (unitary transformations, multi-component wave functions, addition, Clebsch-Gordon coefficients and tables) - Moment angulaire (transformation, fonction d'ondes à plusieurs composantes, coefficients de Clebsch-Gordon.
- 5 Conservation laws - Loi de conservation

EC: Statical Physics - Physique statistique :

Distribution functions, markovian processes –Drude's model applied to conductivity in metals and heat conduction in gas - Fonction de distribution et processus markoviens applications au modèle de Drude pour la conductivité dans les métaux et conduction de la chaleur dans les gaz.

Kinetic equations phase space – evolution equation of the phase space : Liouville's equation reduction to single particle model Vlasov's equation, and Boltzmann's equation - Equations cinétiques: espace des phases, équation d'évolution de l'espace des phases : équation de Liouville- équation réduite à une particule: équation de Vlasov et équation de Boltzmann. Boltzmann's equilibrium distribution function - back to electronic transport- Bloch-Boltzmann's theory, application to conductivity of metals – Fonction de distribution à l'équilibre associée à l'équation de Boltzmann : retour au transport électronique dans les métaux théorie de Bloch-Boltzmann (limites) conductivité des métaux.

Pré-requis

Pré-requis

Basic knowledge on Quantum Physics and Statistical thermodynamics - Notions de mécanique ondulatoire et de thermodynamique statistique.

Acquis d'apprentissage

Know the meaning of distribution function and on the how to use quantum mechanism formalism. To be able to use the tools of modern Physics to build simple models in the case of solids and gas - Maîtrise des notions de fonction de distribution et des méthodes de calculs en mécanique quantique. Capacité à construire des modèles simples aussi bien en mécanique quantique qu'en physique statistique pour décrire le comportement des solides et des gaz.

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

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

To be able to build simple models in modern Physics - Acquérir les bases de la mécanique quantique et de la physique statistique pour effectuer des calculs simples reliés à la Physique moderne.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 712 Advanced Electromagnetism

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Nicolas Lemoine
nicolas.lemoine@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

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	TD	EqTD
EC 712.1 Advanced Electromagnetism	3000	15	15	37,5

Descriptif

Champ électromagnétique dans les milieux: introduction et revue sur les propriétés des équations de Maxwell dans les milieux- lois de conservation- tenseur de Maxwell-réponse du milieu induite par une onde électromagnétique- tenseur diélectrique équivalent- relations de Kramers-Kronig et d'Onsager- réponse tensorielle de milieux idéaux isotropes et anisotropes y compris des plasmas Propagation des ondes dans les milieux: effets de dispersion, rôle de la polarisation, description des ondes dans les milieux anisotropes, notion de modes propres et des mécanismes d'amortissement

Au choix :

Propagation en milieu de taille finie – mode de guide d'onde dans le vide ou dans un milieu.

Ou

Potentiels retardés, rayonnement d'une particule chargée. Emission d'ondes électromagnétiques-propriétés des antennes. Applications aux antennes dans les instruments pour la fusion.

Electromagnetic fields in anisotropic media: Introduction - Review of basic properties of Maxwell's equations in media, conservation laws, the Maxwell stress tensor.

Electromagnetic response of a medium - the equivalent dielectric tensor - Kramers- Kronig and Onsager relations - Response tensors for some idealized media (isotropic, anisotropic) and for plasmas.

Elective:

EITHER

- Wave properties: Wave dispersion and polarization, Waves in anisotropic media (indicatrix, polarization eigenmodes, Fresnel ellipsoid, ...) Damping mechanisms in a medium.

OR

- Waves in finite media, propagation in waveguide in vacuum and filled by a medium, and wave emission (antennas characterisation). Application to fusion devices.

Pré-requis

Bases solides d'électromagnétisme - good knowledge in electromagnetism

Acquis d'apprentissage

Détermination des propriétés des ondes se propageant dans un milieu anisotrope y compris les plasmas magnétisés. Trouver les modes se propageant dans un guide d'ondes rempli d'un milieu ainsi que leurs caractéristiques. Déterminer les propriétés d'émission d'une antenne.

To determine the properties on the wave propagating in anisotropic media including magnetized plasma. To find the possible modes propagating in waveguide filled with a medium and its characteristics. Antenna technology.

Compétences visées

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

BC 2. Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines, - Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

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

Le cours doit renforcer les connaissances des étudiants en électromagnétisme et donner le bagage nécessaire pour suivre la suite du programme vers les spécialités centrées sur les plasmas, l'optique, la matière condensée et une ouverture vers les télécommunications. To provide the needed knowledge in electromagnetism to follow the specialized course on waves in plasma, in optics in condensed matter, and first view on telecommunication principles.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 703 Mathematical and Numerical Methods for Physics

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 : 7

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

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 60h

Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	TP	EqTD
EC 703.1 Mathematical Methods for Physics	2800	15	15		37,5
EC 703.2 Numerical Methods for Physics	2800	10		20	35

Descriptif

Mathematical Methods :

1. Tools of linear algebras for quantum mechanics
2. Elements of tensorial calculs: covariants et contravariants components, Jacobian matrix of a coordinate transformation, metrics, notion of tensor (affine tensor, symmetric and antisymmetric tensor); examples of transformations between coordinates with Euclidian and non-Euclidian metrics.
3. First and second order Partial Differential Equations (PDE): PDE classification, integration along the characteristics for I order PDE; Classification of 2nd order PDE according to the characteristic solutions.
4. Self-similar solutions of quasi-homogeneous differential equations in 2D: notion of homogeneous and quasi-homogenous differential equations; homotetic trajectory and selfsimilar solution; applications to problems of mechanics (homotetic trajectories in conservative fields) and transport equations.
5. Distributions and integration in the Complex domain: test functions, space of distributions; relationship between functions and distributions, notion of convergence of distributions; operations with distributions and Fourier transform of distributions. Poles in the complex space and residue theorem.
6. Integral transformations: Laplace transform. Applications of Fourier and Laplace transform to the integration of ODE. Indetermination principle for Fourier conjugate variables.
7. Green functions: general introduction to Green functions for the solution of inhomogeneous differential equations, time-dependent Green functions, applications to the case of independent particles, perturbation theory. Strong binding Hamiltonian and applications to solid state physics problems.

Numerical Methods :

The following topics will be addressed theoretically and programmed with Python (with a particular attention to discuss the limitations of the different operations and

the choice of the underlying algorithms):

1. Introduction to numerical analysis: domain discretization, floating point representation, truncation of differential operators, error propagation; interpretation of numerical results.
2. Advance operation and “programming” with a Python
3. Matrix calculs.
4. Resolution of PDE.
5. Data analysis.

Pré-requis

Basic notions of algebra (solution of a II degree polynomial, operations with complex numbers) and of linear algebra (matrix operation, eigenvalue and eigenvector).

Basic notions of analysis (definition of differential, of simple and partial derivative; Taylor expansion; graphic representations of functions of one and two variables; gradient of a function and orthogonal vector to a surface in R^3).

Notions of Fourier transform and of Fourier basis.

Basic notions of ODE theory (definition, existence and unicity of solutions, solution of linear ODE, homogeneous and inhomogeneous differential equations).

Basic notions of PDE theory (classification according to the characteristics of II order PDE).

Basic notions of classical mechanics (conservative fields, integrable Hamiltonian).

Basic notions of quantum mechanics (Schrodinger equation, indetermination principle).

Basic notions of programming (algorithm and flow chart).

Acquis d'apprentissage

Mathematical methods which are used in many fields of physics.

Numerical methods to address typical physical problem requiring numerical integration.

More in-depth use of the Python language to study physical problems.

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, 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,

BC 2. Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines,

- Développer un esprit critique des savoirs,

- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

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 704 Experimental Physics

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Yannick Fagot-Revurat
yannick.fagot@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

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

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	TP	EqTD
EC 704.1 Experimental Physics	2800	60	60

Descriptif

Cet enseignement se compose de 3 cycles de TP :

Cycle 1 : Méthodes de caractérisation des plasmas

- Physique de la décharge d'une diode,
- Etude de la loi de Child Langmuir,
- Spectroscopie optique d'émission.

Cycle 2 : Mesures optiques et spectroscopiques

- Etude de l'effet Zeeman,
- Laser YAG : Nd (pompé par diode) diode Laser.

Cycle 3 : Mesures magnétiques et de transport, analyse de structure et traitement du signal

- Mesure de l'effet Hall, mesure du gap semi-conducteur,
- Détermination d'une structure par diffraction X.

Pré-requis

Connaissances de niveau licence de physique en :

- mécanique du point,
- électromagnétisme,
- résolution d'équations différentielles,
- physique quantique,
- notions de physique statistique.

Acquis d'apprentissage

- Identifier les sources d'erreur de mesure et les minimiser,
- Mettre en place un protocole de mesures,
- Exploiter des données de mesures et les interpréter à l'aide de lois physiques,

- Comprendre le rôle de chaque instrument dans une chaîne de mesure interfacée,
- Savoir utiliser et/ou installer une chaîne de mesure avec traitement du signal.

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.

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

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

Acquisition d'un savoir-faire expérimental dans le domaine de la matière condensée, des sciences de la fusion et de la spectroscopie en lien avec les spécialités du Master Physique
2ème année

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 705 Classical Field Theory

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 : 7

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	TD	EqTD
EC 705.1 Classical Field Theory	2800	15	15	37,5

Descriptif

Depuis les développements de la mécanique analytique les techniques variationnelles sont omniprésentes en physique et combinées à des arguments de symétrie elles sont le point de départ de nombreuses théories en physique fondamentale, en particulier depuis le début du XX^{ème} siècle. Il est en effet souvent relativement simple d'aborder un domaine nouveau en tentant de construire une action, grandeur scalaire à laquelle on demande de respecter certaines symétries (par exemple l'invariance de Lorentz dans un cadre relativiste). Les théories des champs se prêtent remarquablement à cette approche et on peut dans ce contexte aborder aussi bien l'électromagnétisme, la mécanique des fluides ou des plasmas, ou la mécanique ondulatoire (traitée alors comme une théorie des champs (complexes) classique).

L'objectif de cet enseignement est d'une part d'approfondir les connaissances acquises par les étudiants dans leur parcours de Licence (L3) (notamment lors des enseignements de Mécanique analytique de Relativité et d'Electromagnétisme) et d'autre part de les former à l'usage de la théorie des champs pour les préparer aux enseignements ultérieurs de seconde quantification ou à l'usage des théories effectives qu'ils pourront rencontrer dans des cours de physique de la matière condensée, de cosmologie, de gravitation ou de mécanique des fluides et des plasmas.

Contenu :

La chaîne 1D d'oscillateurs harmoniques

- traitement discret, lagrangien, équations d'Euler-Lagrange, équations du mouvement
- limite continue (du lagrangien, des équations du mouvement)
- Principe de moindre action pour des champs à 1D
- Notion de fonctionnelle et de variation fonctionnelle

L'électromagnétisme comme théorie des champs

- L'exemple du condensateur "revisité" – équations de Laplace ou de Poisson
- Lagrangien de Schwarzschild
- Minimisation par rapport aux potentiels

Application aux interactions champs/milieux

- Ondes (rappels, et point de vue du formalisme de la théorie des champs : densité

Lagrangienne, tenseur énergie-impulsion)

- Couplage entre champs électromagnétique et milieu (de type fluide ou plasma), réponse d'un milieu polarisé par un champ électromagnétique
- Réponse d'un milieu anisotrope
- Propagation : rappels sur la propagation des ondes, et exemple de traitement par la théorie des champs (L'effet Doppler dans un milieu dispersif)
- Conditions de bords, parois et interfaces

Extensions

Au choix on peut traiter un ou plusieurs exemples comme le traitement relativiste du lagrangien de Schwarzschild, le rayonnement d'ondes électromagnétiques (chapitre 9 de Landau et Lifshitz, Théorie des champs), ou l'accélération de photons (Mendonça, Theory of photon acceleration)...

Ouvrage(s) sur lesquels s'appuient le cours, et ouvrages conseillés

Soper, Classical field theory, Dover publications

Landau et Lifshitz, Théorie des champs/The classical theory of fields (chapitres 6 et 7)

Goldstein, Classical mechanics (dernier chapitre)

Papas, Theory of electromagnetic wave propagation, chapitre 7

Pré-requis

Les étudiants doivent avoir suivi un L3 de Physique ou de Sciences Physiques, avec des connaissances d'électromagnétisme, de mécanique analytique et de relativité restreinte.

Acquis d'apprentissage

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant devra maîtriser l'utilisation des méthodes variationnelles, et savoir appliquer les équations d'Euler-Lagrange dans des domaines divers de la physique.

Compétences visées

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

BC2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC6 : 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 713 FLE

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Nicolas Lemoine
nicolas.lemoine@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

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	TD	EqTD
EC 713.1 Français Langues étrangères (UE Ingénieur)	1100	60	60

Descriptif

Cette UE est à destination des étudiants étrangers pour apprendre le français et les bases de la culture française. Bases de la langue française orientée vers l'oral pratique orale du français de façon intensive pendant 2 semaines pour un apprentissage des rudiments du français courant pour la vie de tous les jours y compris les démarches administratives (oral et écrit) suivi d'un approfondissement de la pratique orale du français tout au long de l'année

Speaking skills: there is a lot of room for conversation, as students also have self- study materials to acquire French speaking skills on a personal basis. By means of conversation and interaction new words and grammatical items are immediately put into practice. This will enable them to have short and simple conversations in everyday interaction between students.

Writing skills: the everyday language activities are also practised in writing. At the end of the course students can introduce themselves in writing, they can write a short invitation, etc. In short, they can also put into practice the acquired knowledge in writing. Culture: elements of the French history, French way of life

Pré-requis

Aucun - None

Acquis d'apprentissage

Acquérir les connaissances fondamentales de la langue française Basic proficiency in French and introduction to French culture.

Compétences visées

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

BC 3. Communication spécialisée pour le transfert de connaissances

3.1. 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.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 721 Modern physics

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Yannick Fagot-Revurat
yannick.fagot@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

Volume horaire enseigné : 93h, Nombre de crédits ECTS : 9

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 90h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	EqTD
EC 721.1 Modern physics	2800	48	45	117

Descriptif

Part-I – INTRODUCTION (10h)

0-Historical experiments, basics in wave mechanics and statistical thermodynamics

Part-II – Quantum Physics (60 h)

II-1-The postulates of quantum mechanics (Hilbert space, product of Hilbert spaces, observables, basis and matrix calculations)

II-2-Examples of 2-states systems => Ammonia molecule and MASER, tightbinding methods for chemical bonding in molecules and solids

II-3-Angular and spin momentum (unitary transformations, multi-component wave functions, addition, Clebsch-Gordon coefficients and tables)

II-4- Hydrogen atom: reduction to 2 bodies system, kinetic moment and diagonalisation of the Hamiltonian, fine and hyperfine structure.

II-5-Perturbation theory (Zeeman, Stark effect...), time-dependent perturbation theory (dipolar interaction, transition probability and selection rules for radiation/matter interaction)

II-6-Conservation laws

II-7-Quantum confinement in nanomaterials

Applications: list of typical problems in quantum physics related to the GreenNanomaterials thematics

Part-III – Statistical Physics (20 h)

III-1-Functions, markovian processes –Drude's model applied to conductivity in metals and heat conduction in gas

III-2-Kinetic equations phase space – evolution equation of the phase space : Liouville's equation reduction to single particle model - Vlasov's equation, Boltzmann's equation -

III-3-Boltzmann's equilibrium distribution function -back to electronic transport-

III-4-Bloch-Boltzmann's theory application to conductivity of metals

III-5-Bose-Einstein and Fermi-Dirac statistical distributions, phonons and fermions density of states

Applications: list of typical problems in statistical physics related to the Green Nanomaterials thematics

Seminar 1 (1h30) : Symmetry in solid state physics and topologic matter

Seminar 2 (1h30) : Entanglement, decoherence and quantum computing

Pré-requis

Basic knowledge of Quantum Physics and Statistical thermodynamics.

Acquis d'apprentissage

Basic understanding of quantum and statistical physics applied to simple as well as more complex models in the case of solids and gas.

Compétences visées

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

BC 2. Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

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 722 Solid State Physics

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Yannick Fagot-Revurat
yannick.fagot@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

Volume horaire enseigné : 66h, 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	TD	EqTD
EC 722.1 Solid State Physics	2800	36	30	84

Descriptif

Part-I : Basic theory of solid state physics (40h)

I-1 Bonding in crystals (metallic, covalent, ionic-covalent, ionic materials)

I-2 Periodic lattices : direct versus reciprocal space, Brillouin zone.

I-3 Sommerfeld theory of metals

I-4 Bloch theorem and electronic band structure:

-Nearly free electron (s metal) versus tight-binding (p, d metals and semiconductors)

I-5 Density of states and Fermi surface of metals

I-6 Introduction to physics of semiconductor: hole concept – effective mass – intrinsic vs extrinsic semiconductor – carrier concentration – effect of doping – pn junction

I-7 Vibrational properties: band structure of phonons

Applications: list of typical problems in solid state physics related to the Green Nanomaterials thematics

Part-II : Electronic properties of materials/nanomaterials (20 h)

II-1: Electric, thermal and thermoelectric properties of metals/semiconductors

II-2: Introduction to dia, para, ferro, ferri, and antiferromagnetism – itinerant versus localized electrons – Stoner criterion

II-3: Toward nanomaterials: quantum confinement, occurrence of surface/interface states

Applications: list of novel/recently discovered properties related to the Green Nanomaterials thematics

Seminar 1 (1h30) : Introduction to DFT theory

Seminar 2 (1h30) : Surface/interface states in nanostructures

Seminar 3 (1h30) : Spin-dependent transport properties

Seminar 4 (1h30) : Introduction to transistor physics

Pré-requis

Basic knowledge of quantum physics and solid-state physics.

Acquis d'apprentissage

Basic understanding of solid-state physics and electronic properties of metallic/semiconducting materials and nanomaterials.

Compétences visées

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

BC2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC6 : 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 723 Materials Science and Engineering

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Alexandre Nomine
alexandre.nomine@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

Volume horaire enseigné : 90h, Nombre de crédits ECTS : 9

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 90h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	TP	EqTD
EC 723.1 Materials Science and Engineering	3300	40	40	10	110

Descriptif

Crystallography : Symmetries, reticular systems, Bravais lattices, symetry punctual groups, space groups

Thermodynamics: Gibbs Energy curves, chemical potential, phase diagrams

Microstructure: Nucleation and growth, growth modes and growth kinetics (nanoparticles, grains, and films), notion of defects

Elaboration methods: PVD, MBE, ALD, CVD

Characterization methods: Electron microscopies, XRD, Near field etc...

Pré-requis

Thermodynamics

Acquis d'apprentissage

The students will have the necessary background to describe a material

Compétences visées

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

BC2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC6 : 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 724 Sustainable Materials by Design

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Alexandre Nomine
alexandre.nomine@univ-lorraine.fr

Semestre : 7

Volume horaire enseigné : 50h, Nombre de crédits ECTS : 6

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	TP	EqTD
EC 724.1 Sustainable Materials by Design	3300	30	10	10	65

Descriptif

Students will be assigned a challenge, for instance :

- Low Energy lighting
- Solar Energy
- Data in the cloud or at home ?
- Autonomous car

The student are expected to identify some production objectives based on policy papers, newspaper etc.... In second time they must quantify the amount of materials needed. In a third time they must assess the different impacts (Environmental,,Social, GOVERNANCE, Geopolitics, Economics etc...). For this later part, they will benefit from exchange with different professionals (from Industry and Academia)

Pré-requis

General knowledge in Materials science

Acquis d'apprentissage

The student will be able to calculate the materials required for different technical solution of the green and digital transition. They will be able to assess the different impacts of the extraction or recycling of these raw materials

Compétences visées

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

BC2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC6 : 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 801 Stages-Projet

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Thierry Réveillé thierry.reveille@univ-lorraine.fr

Semestre : 8

Volume horaire enseigné : 0h, 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	EqTD	EC 801.1 Stage
		EC 801.2 Projet	

Descriptif

Le sujet de stage retenu par l'étudiant est un sujet scientifique contemporain en lien avec les thématiques de recherche des laboratoires auxquels est adossé le master de Physique. Le sujet peut être bibliographique et numérique ou expérimental ou théorique ou bien encore concerner la diffusion scientifique. A l'issue de ce choix, l'UE s'organise en deux temps.

Le projet tutoré est situé en amont du stage et a pour objet de définir et maîtriser le contexte du sujet de stage. Pour ce faire, il s'appuie sur les connaissances et les compétences développées dans l'UE 706 Communication scientifique avec la recherche bibliographique et l'expression en langue anglaise. Le temps de travail personnel de l'étudiant est estimé à une soixantaine d'heures. Aucun livrable n'est attendu à l'exception d'un résumé en anglais évalué par la collègue du département des langues et d'une première bibliographie supervisée par la collègue de la bibliothèque universitaire. Deux rendez-vous avec le tuteur de stage sont par ailleurs prévus.

Le stage est d'une durée de 8 semaines, intercalé entre les semestres 7 et 8. Il a lieu la plupart du temps dans un des laboratoires de recherche associés au master de Physique. Le mémoire de stage est remis dès la fin du stage et évalué par un rapporteur. Les soutenances orales ont lieu dans la foulée du stage. Les connaissances scientifiques acquises sont valorisées dans les livrables attendus Elles s'ajoutent aux nombreuses compétences développées au cours de ce temps de formation de deux mois.

Un second stage optionnel peut être envisagé, à l'initiative de l'étudiant et avec l'accord de l'équipe pédagogique.

Pré-requis

Connaissances de physique de niveau licence.

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.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 802 Physique Atomique et Moléculaire

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 : 8

Volume horaire enseigné : 35h, 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	TD	EqTD
EC 802.1 Physique Atomique et Moléculaire	2800	20	15	45

Descriptif

Le contenu du cours est le suivant :

- 1 : Rappels sur l'atome d'hydrogène
- 2 : La structure fine et hyperfine de l'atome d'hydrogène
- 3 : La théorie de la diffusion, approximation de Born au 1er ordre
- 4 : Système à particules identiques, symétrie par permutation, fermions et bosons
- 5 : Les atomes à N électrons, modèle de Russel-Saunders
- 5 : L'interaction charge-champ électromagnétique, méthode des perturbations dépendant du temps, règle d'or de Fermi
- 6 : La liaison chimique

Pré-requis

Cours de mécanique quantique de M1, S7.

Acquis d'apprentissage

A l'issue de ce cours, les étudiants seront notamment capables d'expliquer les phénomènes naturels aux échelles subatomiques de façon qualitative, d'établir la structure électronique d'un atome, en particulier les termes spectraux et les configurations électroniques, de décrire les premiers états liés nucléaires en appliquant les principes de base de la physique quantique, de décrire et appliquer les principes de base de la spectroscopie atomique, y compris les règles de sélection, de traiter l'interaction d'un atome avec une onde électromagnétique.

Compétences visées

BC 2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux
2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines, -
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC 6.1. : 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 803 Systèmes quantiques : dissipation et interactions

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 : 8

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	TD	EqTD
EC 803.1 Systèmes quantiques : dissipation et interactions	2800	15	15	37,5

Descriptif

Partie I : Introduction aux systèmes quantiques ouverts

Matrice densité

Schéma d'interaction

Intrication et pureté

Equation de Lindblad

Partie II : Phases quantiques de la matière

Supraconductivité

Effet Hall quantique

Graphène et gaz électroniques bidimensionnels

Pré-requis

Cours de physique quantique et de physique statistique du M1, S7.

Acquis d'apprentissage

A l'issue de ce cours, les étudiants auront acquis un socle de connaissances dans le domaine des systèmes quantiques ouverts et des phases quantiques de la matière.

Compétences visées

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

BC2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines, -
Développer un esprit critique des savoirs,

- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC6 : 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 804 Traitement quantique des solides

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

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

Semestre : 8

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	TD	EqTD
EC 804.1 Traitement quantique des solides	2800	32	28	76

Descriptif

Le cours a pour objectif d'enseigner les notions fondamentales de la physique des solides permettant de comprendre leurs propriétés électroniques, optiques et magnétiques. Il est divisé en 3 parties :

- la première partie traite les propriétés électroniques des solides. En premier lieu des notions importantes concernant les réseaux, la diffraction et l'introduction du réseau réciproque seront abordées. On examinera également les vibrations du réseau atomique conduisant à la notion de phonon. Le comportement des électrons sera ensuite traité de façon classique (modèle de Drude), puis de façon quantique. On considérera tout d'abord les électrons comme un gaz quantique de fermions dans un potentiel constant (modèle de Sommerfeld), puis on examinera l'influence du potentiel périodique du cristal sur les états quantiques possibles, menant ainsi à la structure en bande d'énergie. Le potentiel périodique sera tout d'abord traité comme faible (en perturbation) et mènera au modèle des électrons presque libres (cas des métaux). Le cadre des cristaux à liaison iono-covalente qui ne rentre pas dans ce cadre sera ensuite traité par combinaison linéaire d'orbitale atomique, aussi appelé méthode des liaisons fortes.

La physique des matériaux magnétiques et des matériaux semi-conducteurs représente un pan important de la physique du solide d'un point de vue fondamental, mais aussi par le grand nombre et la grande variété d'applications qui en découle

- La seconde partie est une introduction à la physique des semi-conducteurs : structure électronique ; concept de masse effective ; semi-conducteur intrinsèque et extrinsèque ; concentration de porteurs à l'équilibre ; dopage en impuretés ; transport électronique, mobilités, courants de conduction et diffusion, effet Hall

- La troisième partie est une introduction au magnétisme des solides. Le cours se décompose de la manière suivante : introduction générale et l'étude de la magnétostatique en présence d'une aimantation ; magnétisme de l'atome isolé et de l'ion libre ; magnétisme de la matière à l'état solide pour expliquer l'état ferromagnétique de la matière ; propriétés statiques et dynamiques de l'aimantation.

Pré-requis

Mécanique classique, électromagnétisme dans le vide et dans la matière, cours de niveau L3 physique en physique quantique et physique statistique

Acquis d'apprentissage

Le cours a pour objectif d'enseigner les notions fondamentales de la physique des solides permettant de comprendre leurs propriétés électroniques, optiques et magnétiques. Il permettra d'expliquer la conduction dans la matière menant à une classification en métaux, isolants et semi-conducteurs. Les bases de la physique des semi-conducteurs seront abordées grâce au traitement quantique des solides prenant en compte le potentiel périodique. De même les propriétés magnétiques collectives dues au réseau seront expliquées.

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant aura acquis un niveau de connaissances sur les matériaux 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, des capteurs, etc...

Compétences visées

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

BC2 : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines, -
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC6 : 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 805 Plasma Physics

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Thierry Réveillé thierry.reveille@univ-lorraine.fr

Semestre : 8

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

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 0h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	EqTD
EC 805.1 Plasma Physics	3000	30	30	75

Descriptif

Cette UE est consacrée aux fondements de la physique des plasmas.

Concepts de base : quasi-neutralité, longueur de Debye, fréquence plasma, collisions, effets collectifs vs individuels, paramètre plasma, classification des plasmas.

Plasmas non collisionnels :

- confinement avec un champ magnétique (mouvement cyclotronique, dérives électromagnétiques, invariants adiabatiques, exemples et applications)
- modèles fluides et cinétiques (ondes électromagnétiques dans les plasmas, modes électroniques et ioniques, vitesse de phase et vitesse de groupe, relations de dispersion ; modèle de Vlasov)
- applications : introduction à la fusion thermonucléaire (critère de Lawson), fusion par confinement magnétique (ITER), fusion inertielle (LMJ)

Plasmas réactifs :

- Distribution de Maxwell : densité, énergie, vitesses, fréquence de collisions, libre parcours moyen, flux à travers une surface.
- Gaines : potentiel plasma, potentiel flottant, répartition de type Boltzmann des électrons dans les gaines, modèle de Bohm, loi Matrix, loi de Child-Langmuir.
- Décharge de type diode : ionisation en volume, avalanche électronique, émission secondaire à la cathode, amorçage et maintien du plasma, critère de Townsend, loi de Paschen, les différentes zones de la décharge.
- Transport des particules : mobilité, diffusion libre, recombinaison des particules chargées, diffusion ambipolaire.

?

Pré-requis

Niveau licence de physique, Bachelor en physique

Les pré-requis dans le domaine des plasmas sont inutiles. Par ailleurs, il est conseillé d'avoir de solides bases en :

- mécanique du point (lois de Newton, théorèmes de conservation)
- électrostatique et magnéto-statique
- ondes et vibrations (propagation des ondes, équations de Maxwell)

Acquis d'apprentissage

La mise en œuvre des hypothèses pour la construction d'un modèle du fluide devra être acquise.

Les bases théoriques de la décharge de Townsend et du transport des espèces chargées (ionisation, recombinaison, diffusion ambipolaire...) seront par ailleurs connues.

Compétences visées

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

BC 2. : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

BC 2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines
- Développer un esprit critique des savoirs
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

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

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 806 Caractérisation des Solides

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Emmanuel Aubert
emmanuel.aubert@univ-lorraine.fr

Semestre : 8

Volume horaire enseigné : 65h, 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	TD	TP	EqTD
EC 806.1 Cristallographie avancée et Diffraction	2800	15	15		37,5
EC 806.2 Spectroscopie des solides	2800	10	9	16	40

Descriptif

Le contenu du cours est le suivant :

Cristallographie avancée et Diffraction 30H

1 : Rappels sur les solides cristallins ; réseaux direct et réciproques ; symétrie d'orientation, groupes ponctuels.

2 : Symétries de position, symétrie translatoire, groupes d'espace

3 : Diffusion, diffraction des rayons X ; facteur de diffusion atomique, diffusion anormale, facteur de structure, extinctions systématiques

4 : Eléments de principe de la pratique de la diffractométrie et de l'analyse structurale

Spectroscopie des solides 35H

Partie théorique

- Rappels sur les ondes électromagnétiques
- Interaction rayonnement/matière – Approche semi-classique : approximation dipolaire électrique, probabilité de transition (méthode des perturbations dépendant du temps), règles de sélection
- Application à la spectroscopie atomique et moléculaire
- Extension aux propriétés vibrationnelles et électroniques du solide

Partie pratique

- Étude de la propagation des ondes électromagnétiques et acoustiques par spectroscopie hyperfréquence
- Etude de surfaces par Microscopie à Force Atomique (AFM)
- Etude de surface à l'échelle atomique par Microscopie à Effet Tunnel (STM)
- Spectroscopie optique (Mesures de photoluminescence de nanocristaux semi-conducteurs)

Pré-requis

Connaissances de physique du solide : éléments de cristallographie, réseaux direct et

réci-proque, physique des ondes, bases de mécanique quantique et de physique atomique
Connaissances en mathématiques : Transformées de Fourier, algèbre linéaire

Acquis d'apprentissage

L'EC de cristallographie et de diffraction a pour objectif d'enseigner les notions fondamentales de la cristallographie et de la diffraction des rayons X permettant de décrire et étudier les matériaux cristallins. L'EC de spectroscopie a pour objectif de présenter théoriquement et expérimentalement un panel de techniques d'investigation des propriétés des solides.

Compétences visées

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

BC 2.1. Développement et intégration de savoirs fondamentaux

Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines, -
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

BC 5.1. 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

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 : UE 807 Physique des plasmas et énergie de fusion

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Nicolas Lemoine
nicolas.lemoine@univ-lorraine.fr

Semestre : 8

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

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 60h

Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	TP	EqTD
EC 807.1 MagnetoHydroDynamics	3000	15	15		37,5
EC 807.2 Plasma Experiments	3000	6		24	33

Descriptif

MagnétoHydroDynamique (MHD) :

Modèles à 1 et 2 fluides - Approximation MHD - Loi d'Ohm généralisée - Paramètre β – Nombre de Reynolds magnétique – Advection versus diffusion-MHD idéale- Équilibres MHD en géométrie cylindrique et plane – Équilibre sans force – Équilibre 2D - Équilibre Pinch – Équations de Shafranov - Équilibre MHD du plasma de tokamak (équilibre toroïdal) – Principe de l'énergie en MHD.

Instabilités MHD (interchange, kink, sausage, Rayleigh-Taylor).

MagnetoHydroDynamics (MHD):

Models with 1 and 2 fluids - MHD approximation - Generalized Ohm's law - β parameter – Magnetic Reynolds number – Advection versus diffusion - Ideal MHD - MHD equilibria in cylindrical and planar geometries – Free-force equilibrium – 2D equilibrium- Pinch equilibria (q , z , and Bennett) – Shafranov's equations - MHD balance of the tokamak plasma (toroidal equilibrium).

Energy principle in MHD – MHD instabilities (interchange, kink, sausage, Rayleigh-Taylor).

PLASMAS EXPERIMENTAUX

1. Cours (6h)

Description des réacteurs de recherche du laboratoire (réacteur RF à configuration hélicon, réacteur ECR, réacteur PVD de pulvérisation cathodique magnétron) et bases théoriques de la décharge radio-fréquence (auto-polarisation, gaines RF, les différents modes de couplage de la puissance RF : capacitif, inductif, Trivel-Piece Gould, hélicon).

2. TP sur le réacteur PVD magnétron (8h)

Caractérisation de la fonction de distribution en vitesse des atomes pulvérisés d'une cible de titane, aluminium ou tungstène par fluorescence induite par diode laser et/ou absorption laser.

3. TP sur le réacteur ECR (8h)

Mesures des radicaux actifs, par exemple pour le dépôt de couches minces SiCN, créés dans un plasma micro-onde ECR, par spectroscopie optique d'émission et absorption FTIR en phase gazeuse.

4. TP sur le réacteur à configuration hélicon (8h)

Caractérisation d'un réacteur à configuration hélicon, dédié à l'étude de la gravure physique et chimique du carbone, en mélange Ar/H₂, par sondes de Langmuir.

PLASMA EXPERIMENTS:

1. Course (6h)

Description of the laboratory's research reactors (RF reactor with helicon configuration, ECR reactor, PVD magnetron sputtering reactor) and theoretical bases of the radio-frequency discharge (self-polarization, RF sheaths, different modes of RF power coupling : capacitive, inductive, Trivel-Piece Gould, helicon).

2. Practical work on the PVD magnetron reactor (8h)

Characterization of the velocity distribution function of sputtered atoms of a titanium, aluminum or tungsten target by fluorescence induced by laser diode and/or laser absorption.

3. Practical work on the ECR reactor (8h)

Measurements of active radicals, for example for the deposition of SiCN thin films, created in an ECR microwave plasma, by optical emission spectroscopy and FTIR absorption in the gas phase.

4. Practical work on the helicon configuration reactor (8h)

Characterization of a helicon configuration reactor, dedicated to the study of the physical and chemical etching of carbon, in an Ar/H₂ mixture, by Langmuir probes.

Pré-requis

UE Plasma Physics, M1, S8.

Acquis d'apprentissage

Introduction to the MHD description of conductive fluids. After the introduction of the equations and basic properties, simple equilibrium solutions are discussed, as well as waves and generic instabilities.

Plasma experiments.

Compétences visées

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

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 des plasmas),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution.

BC6 : 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.

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 : UE 801 Stages-Projet

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Thierry Réveillé thierry.reveille@univ-lorraine.fr

Semestre : 8

Volume horaire enseigné : 0h, 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	EqTD	EC 801.1 Stage
		EC 801.2 Projet	

Descriptif

Le sujet de stage retenu par l'étudiant est un sujet scientifique contemporain en lien avec les thématiques de recherche des laboratoires auxquels est adossé le master de Physique. Le sujet peut être bibliographique et numérique ou expérimental ou théorique ou bien encore concerner la diffusion scientifique. A l'issue de ce choix, l'UE s'organise en deux temps.

Le projet tutoré est situé en amont du stage et a pour objet de définir et maîtriser le contexte du sujet de stage. Pour ce faire, il s'appuie sur les connaissances et les compétences développées dans l'UE 706 Communication scientifique avec la recherche bibliographique et l'expression en langue anglaise. Le temps de travail personnel de l'étudiant est estimé à une soixantaine d'heures. Aucun livrable n'est attendu à l'exception d'un résumé en anglais évalué par la collègue du département des langues et d'une première bibliographie supervisée par la collègue de la bibliothèque universitaire. Deux rendez-vous avec le tuteur de stage sont par ailleurs prévus.

Le stage est d'une durée de 8 semaines, intercalé entre les semestres 7 et 8. Il a lieu la plupart du temps dans un des laboratoires de recherche associés au master de Physique. Le mémoire de stage est remis dès la fin du stage et évalué par un rapporteur. Les soutenances orales ont lieu dans la foulée du stage. Les connaissances scientifiques acquises sont valorisées dans les livrables attendus Elles s'ajoutent aux nombreuses compétences développées au cours de ce temps de formation de deux mois.

Un second stage optionnel peut être envisagé, à l'initiative de l'étudiant et avec l'accord de l'équipe pédagogique.

Pré-requis

Connaissances de physique de niveau licence.

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.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 812 Atomic Physics

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Nicolas Lemoine
nicolas.lemoine@univ-lorraine.fr

Semestre : 8

Volume horaire enseigné : 40h, Nombre de crédits ECTS : 6

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 0h

Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	EqTD
EC 812.1 Atomic Physics	3000	20	20	50

Descriptif

- les expériences historiques (rayonnement du corps noirs, effet photoélectrique, expérience de Frank et Hertz, et pour l'histoire récente, condensation de Bose des atomes ultra-froids, etc.)
- Structure fine et hyperfine de l'atome d'hydrogène (rappel sur l'atome d'hydrogène)
- spectroscopie atomique
- atomes à plusieurs électrons (atomes à 2 électrons, méthode d'Hartree-Fock et déterminants de Slater)
- spectroscopie moléculaire, orbitales moléculaires, liaison chimique
- introduction à la physique des collisions (diffusion de Born et méthode des déphasages).

Pré-requis

Bases de la mécanique quantique – Fundamentals in quantum mechanics

Acquis d'apprentissage

Connaître des conditions applications des règles de physique atomique, nécessaires pour interpréter des mesures spectroscopiques et pour comprendre les processus physiques mise en jeu lors de ces mesures. Savoir extraire les caractéristiques du milieu (plasma ou autre) à partir de mesures spectroscopiques. A l'issue de cet enseignement, l'étudiant aura acquis de l'expérience et de la pratique dans le domaine des méthodes de caractérisations d'un milieu et la mise en place et l'utilisation d'un modèle interprétatif.

Learning the how to apply the atomic and molecular Physics needed to interpret spectroscopic measurements. Know the procedure to extract the medium characteristics from spectroscopic measurements.

The aim of this work is to give to the student some knowledge and practice on the how to build an interpretative model and to use it to characterize a medium

Compétences visées

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

BC 2. Développement et intégration de savoirs fondamentaux

2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines, -
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Développer un esprit critique des savoirs,
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

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 805 Plasma Physics

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Thierry Réveillé thierry.reveille@univ-lorraine.fr

Semestre : 8

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

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 0h

Langue d'enseignement de l'UE : Français

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	EqTD
EC 805.1 Plasma Physics	3000	30	30	75

Descriptif

Cette UE est consacrée aux fondements de la physique des plasmas.

Concepts de base : quasi-neutralité, longueur de Debye, fréquence plasma, collisions, effets collectifs vs individuels, paramètre plasma, classification des plasmas.

Plasmas non collisionnels :

- confinement avec un champ magnétique (mouvement cyclotronique, dérives électromagnétiques, invariants adiabatiques, exemples et applications)
- modèles fluides et cinétiques (ondes électromagnétiques dans les plasmas, modes électroniques et ioniques, vitesse de phase et vitesse de groupe, relations de dispersion ; modèle de Vlasov)
- applications : introduction à la fusion thermonucléaire (criteère de Lawson), fusion par confinement magnétique (ITER), fusion inertielle (LMJ)

Plasmas réactifs :

- Distribution de Maxwell : densité, énergie, vitesses, fréquence de collisions, libre parcours moyen, flux à travers une surface.
- Gaines : potentiel plasma, potentiel flottant, répartition de type Boltzmann des électrons dans les gaines, modèle de Bohm, loi Matrix, loi de Child-Langmuir.
- Décharge de type diode : ionisation en volume, avalanche électronique, émission secondaire à la cathode, amorçage et maintien du plasma, criteère de Townsend, loi de Paschen, les différentes zones de la décharge.
- Transport des particules : mobilité, diffusion libre, recombinaison des particules chargées, diffusion ambipolaire.

?

Pré-requis

Niveau licence de physique, Bachelor en physique

Les pré-requis dans le domaine des plasmas sont inutiles. Par ailleurs, il est conseillé d'avoir de solides bases en :

- mécanique du point (lois de Newton, théorèmes de conservation)
- électrostatique et magnéto-statique
- ondes et vibrations (propagation des ondes, équations de Maxwell)

Acquis d'apprentissage

La mise en œuvre des hypothèses pour la construction d'un modèle du fluide devra être acquise.

Les bases théoriques de la décharge de Townsend et du transport des espèces chargées (ionisation, recombinaison, diffusion ambipolaire...) seront par ailleurs connues.

Compétences visées

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

BC 2. : Développement et intégration de savoirs fondamentaux

BC 2.1. Exploiter les savoirs pour résoudre des problèmes nouveaux :

- Mobiliser les savoirs fondamentaux du domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines
- Développer un esprit critique des savoirs
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines.

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

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : ST_M_Physique

Code Apogee de l'UE :

Nom complet de l'UE : UE 807 Physique des plasmas et énergie de fusion

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Nicolas Lemoine
nicolas.lemoine@univ-lorraine.fr

Semestre : 8

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

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 60h

Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	TP	EqTD
EC 807.1 MagnetoHydroDynamics	3000	15	15		37,5
EC 807.2 Plasma Experiments	3000	6		24	33

Descriptif

MagnétoHydroDynamique (MHD) :

Modèles à 1 et 2 fluides - Approximation MHD - Loi d'Ohm généralisée - Paramètre β – Nombre de Reynolds magnétique – Advection versus diffusion-MHD idéale- Équilibres MHD en géométrie cylindrique et plane – Équilibre sans force – Équilibre 2D - Équilibre Pinch – Équations de Shafranov - Équilibre MHD du plasma de tokamak (équilibre toroïdal) – Principe de l'énergie en MHD.

Instabilités MHD (interchange, kink, sausage, Rayleigh-Taylor).

MagnetoHydroDynamics (MHD):

Models with 1 and 2 fluids - MHD approximation - Generalized Ohm's law - β parameter – Magnetic Reynolds number – Advection versus diffusion - Ideal MHD - MHD equilibria in cylindrical and planar geometries – Free-force equilibrium – 2D equilibrium- Pinch equilibria (q, z, and Bennett) – Shafranov's equations - MHD balance of the tokamak plasma (toroidal equilibrium).

Energy principle in MHD – MHD instabilities (interchange, kink, sausage, Rayleigh-Taylor).

PLASMAS EXPERIMENTAUX

1. Cours (6h)

Description des réacteurs de recherche du laboratoire (réacteur RF à configuration hélicon, réacteur ECR, réacteur PVD de pulvérisation cathodique magnétron) et bases théoriques de la décharge radio-fréquence (auto-polarisation, gaines RF, les différents modes de couplage de la puissance RF : capacitif, inductif, Trivel-Piece Gould, hélicon).

2. TP sur le réacteur PVD magnétron (8h)

Caractérisation de la fonction de distribution en vitesse des atomes pulvérisés d'une cible de titane, aluminium ou tungstène par fluorescence induite par diode laser et/ou absorption laser.

3. TP sur le réacteur ECR (8h)

Mesures des radicaux actifs, par exemple pour le dépôt de couches minces SiCN, créés dans un plasma micro-onde ECR, par spectroscopie optique d'émission et absorption FTIR en phase gazeuse.

4. TP sur le réacteur à configuration hélicon (8h)

Caractérisation d'un réacteur à configuration hélicon, dédié à l'étude de la gravure physique et chimique du carbone, en mélange Ar/H₂, par sondes de Langmuir.

PLASMA EXPERIMENTS:

1. Course (6h)

Description of the laboratory's research reactors (RF reactor with helicon configuration, ECR reactor, PVD magnetron sputtering reactor) and theoretical bases of the radio-frequency discharge (self-polarization, RF sheaths, different modes of RF power coupling : capacitive, inductive, Trivel-Piece Gould, helicon).

2. Practical work on the PVD magnetron reactor (8h)

Characterization of the velocity distribution function of sputtered atoms of a titanium, aluminum or tungsten target by fluorescence induced by laser diode and/or laser absorption.

3. Practical work on the ECR reactor (8h)

Measurements of active radicals, for example for the deposition of SiCN thin films, created in an ECR microwave plasma, by optical emission spectroscopy and FTIR absorption in the gas phase.

4. Practical work on the helicon configuration reactor (8h)

Characterization of a helicon configuration reactor, dedicated to the study of the physical and chemical etching of carbon, in an Ar/H₂ mixture, by Langmuir probes.

Pré-requis

UE Plasma Physics, M1, S8.

Acquis d'apprentissage

Introduction to the MHD description of conductive fluids. After the introduction of the equations and basic properties, simple equilibrium solutions are discussed, as well as waves and generic instabilities.

Plasma experiments.

Compétences visées

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

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 des plasmas),
- Établir des liens entre des champs différents de la physique,
- Faire preuve de créativité en développant une nouvelle stratégie de résolution.

BC6 : 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.

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 : UE 813 Continuum mechanics

Composante de rattachement : FA0 - FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Nicolas Lemoine
nicolas.lemoine@univ-lorraine.fr

Semestre : 8

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

Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 60h

Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composant l'UE	CNU	CM	TD	EqTD
EC 813.1 Continuum mechanics	2800	30	30	75

Descriptif

1. General Properties of Fluids and Solids: From microscopic to macroscopic - Compressibility and the notion of constitutive laws - Transport phenomena (mass, linear momentum, energy) and diffusion coefficients. 2. Mathematical descriptions of Deformation and Motion: Lagrangian vs. Eulerian descriptions. -Control volumes -Deformation and strain - Motion and flow - General Formulation of Balance Equations. 3. Balance of Mass: Integral and local forms 4. Balance of Linear momentum: Integral and local forms - The Cauchy stress tensor (Stress tensor symmetry, principal stresses, stress invariants, Mohr's circles for stress) - The kinetic energy theorem (Bernoulli relation). 5. Energy and Entropy balance equations: The first law of thermodynamics - The balance of internal energy –Energy of deformation - The second law of thermodynamics and the balance of entropy 6. Linear Elasticity: Generalized Hooke's law - Navier-Cauchy equations and applications in 2D elasticity. 7. Fluids: Newtonian fluids and Navier-Stokes equations - Nearly Ideal Flow - Steady, Incompressible, Viscous Flows. 8. Waves in fluids: acoustic waves, surface waves. 9. Stability of fluid flows: local vs. global instabilities – linear analysis and eigenmodes – Stability of rotating fluids (Rayleigh criterion) – sheared flows – Kelvin-Helmholtz instability – Rayleigh-Taylor instability. Thermal convection and Rayleigh-Bénard instability.

Pré-requis

L3 en Physique ou mécanique - Bachelor in Physics or Mechanics

Acquis d'apprentissage

Fournir une culture de base pour décrire un solide déformable ou un fluide vu comme un milieu continu satisfaisant aux lois de conservations et aux équations de transport de la matière. Savoir décrire à l'aide de ce formalisme le comportement d'un tel milieu. Give a basic knowledge on solids or fluids viewed as a continuous medium and related topic: description of continuous media, conservation laws and transport equations, and how to apply this formalism to a deformable medium behaviour.

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

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