Catalogue des cours sélectionnés

1 :
2 : Approches théoriques aux propriétés quantiques des matériaux
3 : Astroparticules, astrophysique et cosmologie
4 : Atomes - Lasers
5 : Au-delà du modèle standard, supersymétrie et supergravité
6 : Bases physiques des comportements mécaniques des solides
7 : Biophysique
8 : Champs relativistes
9 : Champs, particules et matière
10 : Chimie Atmosphérique
11 : Conception expérimentale Microélectronique VLSI
12 : Conduction quantique et physique mésoscopique
13 : Cosmologie
14 : Cosmologie
15 : Cristallographie
16 : Du matériau au nano : un aperçu de la physique d'aujourd'hui
17 : Dynamique de la Terre : magnétisme, séismes, volcans, tsunamis
18 : Echelles intermédiaires Gravitation classique et systèmes d'étoiles
19 : Ecoulements compressibles[V1E]
20 : Energies
21 : Equation de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux supersolides
22 : Fusion thermonucléaire
23 : Généralités sur l'énergie nucléaire
24 : Généralités sur l'énergie nucléaire (partie 2)
25 : Génie atomique
26 : Génie nucléaire
27 : Grandes échelles Univers et Gravitation relativiste
28 : Groupes de symétrie en physique
29 : Hydrodynamique et Elasticité
30 : Interaction rayonnement-matière
31 : Introduction à la mécanique quantique
32 : Introduction à la mécanique quantique
33 : Introduction à la télédétection pour l'étude de l'environnement [V2B]
34 : Introduction aux nanomatériaux
35 : L'équation des ondes et sa résolution numérique
36 : Le modèle standard - interactions électrofaibles et fortes
37 : Les écoulements à l'échelle du micromètre et leurs applications en biophysique.
38 : Les équations de Maxwell et leur approximation
39 : Magnétisme et supraconductivité
40 : Matériaux Composites

41 : Mécanique 1 - Milieux continus
42 : Mécanique des milieux continus
43 : Mécanique quantique
44 : Métaux
45 : Méthodes asymptotiques hautes fréquences pour les équations d'ondes
46 : Méthodes d'analyse statistique et de simulation, expériences et physique des détecteurs
47 : Méthodes de Monte-Carlo
48 : Méthodes mathématiques de la physique
49 : Minéralogie descriptive et appliquée
50 : Modal d'Electronique
51 : Modal de Physique
52 : Nanomatériaux
53 : Nanotechnologies
54 : Optique de Fourier et holographie
55 : Optique Non linéaire des semi-conducteurs
56 : Optique quantique 2 : photons
57 : Optique ultra-rapide et physique non-linéaire
58 : Petites échelles : Le soleil et son environement
59 : Photovoltaïque expérimentale
60 : Physico-mécanique des milieux poreux
61 : Physique
62 : Physique 3 - Noyaux et radioactivité
63 : Physique de la matière condensée
64 : Physique des lasers
65 : Physique des objets biologiques : du nanomètre au micron
66 : Physique des particules
67 : Physique des particules avancée
68 : Physique des particules avancée
69 : Physique des particules élémentaires
70 : Physique des performances du pneu
71 : Physique des polymères et membranes biologiques
72 : Physique du Solide
73 : Physique du Solide - Introduction
74 : Physique et astrophysique nucléaires
75 : Physique et exploitation des réacteurs REP
76 : Physique nucléaire
77 : physique nucléaire, Neutronique, radioprotection et réacteurs du futur
78 : Physique quantique
79 : Physique Quantique
80 : Physique quantique des électrons dans les solides (introduction à la physique de la matière condensée)
81 : Physique quantique et statistique
82 : Physique Statistique
83 : Physique statistique des processus irréversibles
84 : Planètes extrasolaires : détection et formation
85 : Projet de Physique
86 : Propagation dans les guides d'ondes.
87 : Rayonnement et Climat
88 : Rayonnement et matière
89 : Relativité et Electromagnétisme

90 : Relativité et principes variationnels
91 : Relativité générale
92 : Résonance magnétique nucléaire des protéines : entre physique et biologie
93 : Rhéophysique et matière molle
94 : Simulation multiéchelle et homogénéisation
95 : Surfaces molles
96 : Théorie des champs relativistes avancée
97 : Théorie des Groupes
98 : Théorie du champ classique
99 : Théorie quantique des champs avancée et introduction à la théorie des cordes
100 : Thermodynamique
101 : Thermodynamique Statistique
102 : Travaux expérimentaux en physique de l'environnement
103 : Turbulence [V3C]
104 : Un monde chaotique

Approches théoriques aux propriétés quantiques des matériaux

Ce cours comprend une introduction à la théorie de la fonctionnelle de densité et un travail personnel utilisant des logiciels complexes dans le but de calculer les propriétés électroniques de nouveaux matériaux et nanostructures.

Il se décompose en 3 parties :

La première partie consiste en un cours théorique lors duquel les étudiants pourront se familiariser avec les problèmes à plusieurs corps en physique de la matière condensée et avec la théorie de la fonctionnelle de densité.

Dans un deuxième temps, les étudiants apprendront à utiliser un logiciel scientifique basé sur la théorie de la fonctionnelle de densité dans le but d'étudier les propriétés électroniques des matériaux.

Enfin, ils réaliseront un projet de recherche individuel. Ces projets sont véritablement originaux et ont déjà fait l'objet d'une publication dans un journal international co-signée par certains des étudiants [Phys. Rev. B 72, 125203 (2005)]. Les sujets de ces projets présentés par les élèves ont jusqu'à présent couvert des domaines très variés tels que les nanotechnologies (nanoagrégats, nanotubes, nanofils), la biophysique, les atomes froids ou une étude bibliographique sur les fondements mathématiques de la théorie de la fonctionnelle de densité.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 12 avril 2010

Astroparticules, astrophysique et cosmologie

Partie A

1. Outils principaux de relativité générale
2. Cosmologie homogène (équations de Friedmann, histoire thermique de l'univers)
3. Perturbations cosmologiques linéaires
4. Cosmologie inflationnaire
5. Fond diffus cosmologique
6. Perturbations cosmologiques non-linéaires
7. Ondes gravitationnelles en cosmologie et en astrophysique

Bibliographie:

- “Inﬂation, quantum ﬂuctuations and cosmological perturbations”, D. Langlois, arXiv:hep-th/0405053
Lectures given at Cargese School of Particle Physics and Cosmology: the Interface,
Cargese, Cosica, France, 4-16 Aug 2003
- “Lectures on inﬂation and cosmological perturbations”, D. Langlois, arXiv:1001.5259 [astro-ph.CO],
Second TRR33 Winter School on cosmology, “Theory for observers & Observations for theorists”,
Passo del Tonale (Italy) 7 - 12 December 2008

Partie B

1. Introduction à l'astrophysique de haute énergie
2. Processus radiatifs en astrophysique de haute énergie
3. Processus d'accéleration et propagation de rayons cosmiques
4. Accrétion et éjection - effets relativistes - binaires X, micro quasars et noyaux galactiques actifs
5. Astronomie gamma - des satellites à l'imagerie atmosphérique Cherenkov
6. Rayons cosmiques chargés - des mesures directes aux gerbes atmosphériques étendues
7. Observatoires de neutrinos dans la glace profonde et dans l'eau

Bibliographie:

- High energy astrophysics, Malcom S. Longair, Cambridge University Press.
- Radiative processes in astrophysics, Ribicki & Lightman,John Wiley & Sons.
- Cosmic-rays and particle physics, Gaisser.
- High-energy astrophysics, Fulvio Melia, Princeton University Press.
- Black holes, white dwarfs and neutron stars - The physics of compact objects, Stuart L. Shapiro and Saul A. Teukolsky, John Wiley & Sons.

Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : vendredi 04 février 2011

Atomes - Lasers

Objectifs: Le but essentiel de ce cours est tout d'abord de donner une compréhension précise de la structure de l'atome et de la molécule. Ces bases permettent d'étudier ensuite de façon détaillée le fonctionnement et les principales applications du laser. Les phénomènes étudiés sont également à la base de nombreuses techniques expérimentales utilisées dans les méthodes de recherche , de contrôle industriel, de biologie et de médecine : spectroscopies infrarouge et ultraviolette, effet Raman, résonance magnétique, métrologie, imagerie. Prolongements Ce cours est orienté vers l'option physique-matériaux. Il devrait intéresser les élèves qui souhaitent avoir un solide aperçu des atomes et des lasers couramment utilisés dans des laboratoires de recherche ou dans l'industrie. Il facilite également la compréhension des cours de physique du solide (4e semestre), de physique nucléaire (5e semestre). Méthodes pédagogiques Les tendances de cet enseignement sont partagées entre le souci de tenir un niveau pédagogique relativement élevé et le souci d'aller jusqu'aux applications. L'horaire se divise en cours, séances d'exercices et exposés choisis par les élèves parmi de nombreux sujets proposés. Le contrôle fait intervenir un examen oral et une évaluation des exposés.

Programme: Physique atomique 1) Mécanique quantique : spectroscopie, moment cinétique, harmoniques sphériques. 2) Atome d'hydrogène non relativiste : équation de Schrödinger, dégénérescence des niveaux. 3) Atome d'hydrogène relativiste : perturbations stationnaires, interaction spin-orbite. 4) Addition de moments cinétiques : effet Zeeman, effet Lamb, structure hyperfine. 5) Atome à deux électrons : particules identiques, atome d'hélium. 6) Atome à plusieurs électrons : configurations électroniques, atomes alcalins. 7) Résonance magnétique : RMN, applications biomédicales, imagerie. 8) Horloges atomiques : pompage optique, horloges à hydrogène, à rubidium, à césium, atomes ultrafroids. Lasers 1) Concepts généraux : principes de fonctionnement, éléments d'un laser. 2) Interaction photon-atome : perturbations dépendantes du temps, coefficients d'Einstein, quantification du champ électromagnétique. 3) Milieu amplificateur de rayonnement : largeur de raie, équations d'évolution. 4) Résonateurs optiques : cavité Fabry-Pérot, propriétés des faisceaux gaussiens. 5) Fonctionnement des lasers : pompages optique, électronique, chimique; lasers continus et pulsés. 6) Types de lasers : lasers à gaz, à solides, à colorants, à semi-conducteurs, à électrons libres, lasers X. 7) Applications : holographie, communications optiques, stockage de données, lasers de puissance, fusion contrôlée, ophtalmologie.

Niveau requis
Une bonne connaissance du cours de Mécanique quantique du tronc commun suffit pour suivre le cours "Atomes-Lasers".

Période : Automne
Nombre d'heures : 37
Crédits ECTS : 3
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : vendredi 25 mai 2012

Au-delà du modèle standard, supersymétrie et supergravité

Le cours "au-delà du modèle standard" à l'École Polytechnique consistera en une série de 14 blocs d'enseignement sur la supersymétrie, les théories de grande unification, la physique des dimensions supplémentaires et les modèles de brisure de la symétrie électrofaible. Ces blocs se répartiront en 7 cours dédiés à une introduction théorique aux concepts de la physique au-delà du modèle standard et 7 cours dédiés à leurs aspects phénoménologiques et expérimentaux.

Les cours théoriques couvriront la supersymétrie et son formalisme, jusqu'au lagrangien du modèle standard supersymétrique minimal (MSSM) avec des termes de brisure douce de la symétrie, les théories de grande unification, incluant une revue critique sur la supersymétrie, une introduction à la physique des cordes et des "branes", en particulier les aspects sous-jacents à la physique des dimensions supplémentaires et la phénoménologie des cordes incluant la physique des trous noirs.

Les cours sur les aspects phénoménologiques et expérimentaux traiteront de la phénoménologie de la supersymétrie, en mettant l'accent sur la physique du MSSM auprès des collisionneurs (on mentionnera la phénoménologie du modèle "next-to-minimal supersymmetric standard model", NMSSM, et la supersymétrie avec violation de R-parité), la "split supersymmetry" ainsi que la phénoménologie de différents modèles de dimensions supplémentaires aux collisionneurs et la phénoménologie des modèles "Little Higgs".

Chaque bloc de cours sera divisé en 1h30 de cours magistral et 2h de développements plus détaillés de certains aspects plus spécialisés. L'enseignement se fera en anglais.

Bibliographie:

- P. Binetruy, "Supersymmetry: theory, experiment and cosmology", Oxford University Press
- I. Aitchinson, "Supersymmetry in article physics: An elementary introduction", Cambridge
- D. Bailin, A. Love, "Supersymmetric gauge field theory and string theory", IOP publishing, Bristol
- S. Weinberg, "The quantum theory of fields. Vol. 3: Supersymmetry.", Cambridge

Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : jeudi 03 février 2011

Bases physiques des comportements mécaniques des solides

Ce cours vise à clarifier les bases physiques microscopiques du comportement plastique des solides cristallins en montrant que ce comportement résulte de l'existence et du déplacement de défauts spécifiques que l'on décrirra et dont on étudiera les propriétés aux échelles microscopique et macroscopique.
Configuration atomique des cristaux et des solides non-cristallins.
Défauts ponctuels ; diffusion ;
Dislocations : descriptions continue et microscopique. Effet des forces extérieures ; interactions;

mouvement des dislocations ; sources de dislocations.
Friction sur le réseau ; Bases physiques de la plasticité.

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 28 novembre 2011

Biophysique

Ce cours traitera les bases physiques et les méthodes d'investigation physiques de la vie à l'échelle de la cellule biologique. Une sélection de techniques expérimentales et de concepts théoriques est considérée, pour illustrer l'apport de la physique aux études des objets, des assemblages et des processus biologiques et aux applications correspondantes, qui vont de la technologie au diagnostic médical.
Le cours de biophysique est aussi une introduction à un domaine de recherche importante en pleine expansion. L'enseignement se servira des différents préacquis de l'élève, notamment en biologie moléculaire, physique expérimentale et physique statistique.

Contenu
Constituants et principes physiques de la cellule biologique.
Techniques de mesure sur molécule unique.
Biopuces, biocapteurs et nanotechnologie à base d'ADN.
Moteurs moléculaires.
Réseaux de régulation.
Préceptorat
Dénaturation de l'ADN.
Mouvement d'une bactérie.
Evolution des génomes et grands réseaux biologiques.

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 16
Crédits ECTS : 1
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : mercredi 17 avril 2013

Champs relativistes

Ce cours donne une introduction à la description à la fois quantique et relativiste des particules élémentaires et de leurs interactions :

Champ électromagnétique en relativité.
Groupe de Lorentz et spineurs.
Mécanique quantique relativiste : équations de Klein-Gordon et de Dirac. Invariance de jauge.
Symétries de l'équation de Dirac. Parité, renversement du sens du temps et conjugaison de charge. Les antiparticules.
Lagrangien et hamiltonien d'un champ. Quantification du champ de Klein-Gordon et du champ de Dirac.
Les interactions faibles, electromagnetiques et fortes en theorie quantique des champs.

Niveau requis
PHY431 - Relativité et principes variationnels
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 09 janvier 2012

Champs, particules et matière

Responsables :
Pierre FAYET (fayet@lpt.ens.fr ; Tél. 01 44 32 37 76 ou 01 47 07 71 46 ; Fax : 01 43 36 76 66)
Denis BERNARD (denis.bernard@ens.fr ; Tél. 01 44 32 37 75 ; Fax : 01 43 36 76 66)
Arnd SPECKA (specka@in2p3.fr, Ecole polytechnique, Tél.01 69 33 55 67 ; Fax : 01 69 33 55 08)

Le but de ce stage de recherche est de mettre les élèves en contact avec la recherche fondamentale telle qu'elle se pratique dans les laboratoires de physique théorique ou de physique des particules expérimentale. Le stage s'adresse évidemment aux élèves motivés pour ce type de recherche, mais aussi à ceux qui, ayant décidé de faire tout autre chose, désirent connaître durant trois mois ce qu'est la recherche fondamentale. Il leur permettra de découvrir en quoi consiste le travail du chercheur dans ces disciplines. Selon l'orientation de la thématique du stage, théorique ou expérimentale, il est nécessaire d'avoir suivi certains enseignements suivants : PHY431, PHY432, PHY554, PHY561, PHY568, PHY575, PHY584.

LES SUJETS D'ÉTUDES

Les sujets de stage proposés se classent en trois catégories :

1/ Théorie des champs et de la matière à l'échelle macroscopique (contact Denis Bernard)
En Physique, le très grand nombre de degrés de liberté à l'échelle microscopique donne lieu, aux échelles méso- ou macroscopique, à des phénomènes quantiques ou statistiques variés qu'il s'agit de comprendre.

Des progrès spectaculaires sont accomplis grâce à l'utilisation des concepts de théorie des champs et de probabilités en mécanique quantique ou statistique (cf. les récentes médailles Fields en relation avec la physique statistique bi-dimensionnelle), et certains sujets de l'option s'y rattachent. D'autres illustrent l'application des concepts de la physique statistique à des domaines à priori extérieurs à celle-ci, par exemple les systèmes dits complexes. Enfin, les thèmes inspirés par la biologie fournissent des sujets très intéressants pour la physique statistique.

2/ Physique théorique des particules (contact Pierre Fayet)
Il s'agit de connaître la structure et les interactions des particules fondamentales. Une percée spectaculaire a été accomplie lorsque l'on a découvert que toutes les interactions connues (fortes, électromagnétiques, faibles et gravitationnelles) peuvent être décrites avec un même langage, celui des « théories de jauge ». Ce résultat, brillamment confirmé par l'expérience, permet d'espérer qu'une unification plus profonde n'est plus en dehors de notre portée. On s'intéresse ainsi à une grande unification entre interactions faibles, electromagnétiques et fortes, à une éventuelle supersymétrie entre bosons et fermions, à l'existence possible de dimensions supplémentaires, tandis que les problèmes posés par la construction d'une théorie quantique de la gravitation ont conduit aux théories des cordes et autres objects étendus. Le LHC, au CERN, devrait nous permettre de savoir ce qu'il en est du fameux boson de Higgs, que l'on s'attend à pouvoir découvrir d'ici la fin 2012, et de continuer à rechercher les particules supersymétriques, ... ; tandis que de nombreuses autres expériences cherchent à mettre en évidence la matière sombre de l'Univers et à percer sa nature...

3/ Physique expérimentale des particules (contact Arnd Specka)
De quoi est faite la matière noire dans l'univers ? Les particules supersymétriques existent-elles ? Quelle est l'origine des masses si différentes des particules élémentaires ? Voici trois, parmi les plus brûlantes, des nombreuses questions que se posent les physiciens des particules, théoriciens comme expérimentateurs, aujourd'hui. L'information expérimentale, qu'elle passe par la découverte de nouveaux phénomènes ou par des mesures de précision, est indispensable pour inspirer et tester la théorie. De grands programmes expérimentaux sont en cours de conception, de réalisation ou d'exploitation, par des collaborations internationales. Tous utilisent des techniques de pointe dans divers domaines, électronique rapide, informatique en temps réel, traitement des données, lasers de puissance ou physique délicate des détecteurs de particules. Un élève motivé par les grandes questions de physique aura l'opportunité de se confronter à l'expérimentation. Parmi les stages proposés, certains concerneront des questions d'une grande actualité : oscillations de neutrinos, recherches du boson de Higgs au LHC, symétries fondamentales, astrophysique des particules. D'autres stages pourront porter sur les développements des détecteurs ou l'étude des techniques d'accélération du futur.

La gamme des sujets proposés est fort étendue, même à l'intérieur de chaque catégorie. Certains sujets théoriques sont directement liés à l'expérience, d'autres consistent en l'étude d'un modèle permettant de comprendre l'essentiel d'un phénomène ; parfois, il faudra trouver la solution d'un problème de mathématiques pures ou appliquées ou encore faire appel à l'ordinateur. En physique expérimentale, le travail peut aller de la mise au point d'un dispositif plus ou moins nouveau à la prise de données et à l'analyse des résultats. Quelques uns des sujets proposés, aussi bien théoriques qu'expérimentaux, comportent une part d'informatique plus ou moins importante (analyse numérique ou simulation sur ordinateur, traitement de l'information, programmation).

DÉROULEMENT DU STAGE DE RECHERCHE

Les élèves sont invités à se regrouper en binômes pour effectuer ces stages, de manière à pouvoir en tirer le meilleur profit. Les monômes ne peuvent être acceptés que dans les cas où la constitution d'un binôme

se serait révélée impossible.

Les sujets de stage peuvent, dans les meilleurs cas, aboutir à un travail de recherche original et à une publication ; ils nécessitent de toute manière une initiation préliminaire durant un temps plus ou moins long selon les sujets. Cette acquisition de compléments à l'enseignement de l'École se fera durant le stage, mais pourra aussi selon les besoins être guidée par les responsables du stage de recherche.
Les stages auront lieu dans les laboratoires de la région parisienne, de province ou à l'étranger. Certains stages expérimentaux comportant des prises de données permettent des séjours auprès des grands accélérateurs européens (CERN, DESY) ou des laboratoires étrangers associés (MIT).
Les responsables et enseignants sont à votre disposition pour vous donner toutes précisions sur chacun des sujets proposés (style de travail, proportion entre initiation et recherche originale, etc...) et les infléchir éventuellement selon vos goûts. Ils sont également prêts à étudier la possibilité d'organiser des stages sur d'autres sujets que des élèves particulièrement motivés souhaiteraient étudier, ou des stages expérimentaux en particulier au CERN (pratique de l'anglais nécessaire).

Compte tenu du temps de maturation nécessaire pour "entrer" dans les sujets de stages proposés, il est impératif de choisir votre sujet et d'en discuter avec votre futur directeur de stage et avec le responsable d'option, suffisamment à l'avance.

A titre indicatif, voici quelques sujets de stages proposés au cours des années précédentes :

- Effet Hall quantique.
- Statistiques fractionnaires et théories conformes.
- Condensation de Bose-Einstein d'atomes.
- Chaos quantique.
- Fluctuations de courants mésoscopiques.
- Physique statistique et théorie des jeux.
- Solutions exactes en physique statistique hors d'équilibre.
- Algorithmique quantique et physique statistique
- Dynamique de systèmes désordonnés.
- Théorie des supraconducteurs à haute température critique.
- Théorie des champs et magnétisme quantique.
- Hydrodynamique des flagelles dans E. Coli.
- Micro-manipulation de molécule d'ADN.
- Evolution coopérative de populations de bactéries.
- La physique des saveurs lourdes en chromodynamique quantique.
- La recherche des bosons de Higgs au LHC.
- Matière sombre et supersymétrie.
- La supersymétrie et les masses des bosons de Higgs.
- Monopôles magnétiques et dualité.
- Théorie des cordes.
- Exploitation des données du collisionneur LHC du CERN.
- Recherche de dimensions spatiales supplémentaires au LHC.
- Observation d'un phénomène quantique sur 300 km : l'oscillation des neutrinos au Japon.
- Astronomie et polarimétrie gamma avec haute précision angulaire.
- Objets compacts astrophysiques et accélérateurs cosmiques.
- Photons cosmiques de très haute énergie et violation de l'invariance de Lorentz.
- Test en faisceau au CERN de calorimètres super-granulaires pour un futur collisionneur linéaire e+e-
- Développer aujourd'hui les accélérateurs de particules de demain : accélération laser-plasma.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : jeudi 17 novembre 2011

Chimie Atmosphérique

Déterminée principalement par les échanges de matière avec les océans, la biosphère et les surfaces continentales et l'influence du rayonnement solaire, la composition chimique de l'atmosphère a continûment changé depuis la formation de la planète Terre passant d'une atmosphère originelle réductrice à l'atmosphère oxydante liée à l'apparition puis au maintien de la vie animale et végétale. Si, jusqu'au début du 20ème siècle, l'évolution de la composition chimique de l'atmosphère trouve son origine dans des phénomènes naturels, l'explosion démographique, le développement des activités industrielles et agricoles, la multiplication des moyens de transport ont entraîné au cours des deux cents dernières années un changement profond de cette composition.Ce cours constitue une introduction aux mécanismes physico-chimiques qui déterminent la composition chimique de l'atmosphère et jouent un rôle déterminant dans les principaux problèmes d'environnement atmosphérique de l'échelle locale à l'échelle globale : destruction de la couche d'ozone stratosphérique, pollution photoxydante dans la troposphère, changements climatiques. Une première partie est consacrée à la compréhension des mécanismes qui régissent l'équilibre vertical des constituants de l'atmosphère et au rôle du rayonnement solaire dans l'initiation des processus photochimiques. Une seconde partie, fondée sur l'étude de l'ozone atmosphérique, met en évidence le rôle des constituants minoritaires dans les équilibres naturels de la troposphère et de la stratosphère.

Chimie Atmosphérique

Modalités d'évaluation
examen écrit avec notes de cours

Période : Automne
Nombre d'heures : 22
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Conception expérimentale Microélectronique VLSI

Cet enseignement de projets expérimentaux se propose d'aborder, avec une approche proche du métier d'ingénieur en projet de R&D, les technologies actuelles et futures mise en œuvre en micro et nanoélectronique. Les projets seront réalisés en binôme et offre une grande liberté dans les problématiques abordées. 4 thématiques seront potentiellement proposées au choix des élèves :

Circuits logiques programmables FPGA
Ce cours est consacré à la conception et à la mise en œuvre effective d'un circuit logique synchrone, sous la forme d'un projet de programmation mené en binôme, utilisant une plateforme à base de circuits reconfigurables (FPGA : Field-Programmable Gate Arrays).
Exemples de projets déjà réalisés : montre numérique, microprocesseur, oscilloscope numérique, synthétiseur audio, coprocesseur MD5, contrôleur vidéo.

Conception de circuits microélectroniques VLSI
L'objectif de ce module à caractère expérimental est de vous familiariser avec les techniques de conception de circuits intégrés VLSI CMOS, en menant à bien la conception et la réalisation d'un petit circuit électronique (environs 10 000 transistors), de la spécification au silicium. Les outils utilisés durant ce module sont issus de la chaîne de CAO Alliance, développés au Laboratoire d'Informatique de Paris 6. Ce ne sont pas des outils industriels, mais ce sont des outils nés de la recherche et bien adaptés à une démarche de conception.
Les années précédentes, un circuit accordeur de piano a été réalisé. Toutes les idées sont les bienvenues, et seront étudiées pour voir s'il est possible de les réaliser au moins partiellement.

Conception virtuelle hard/soft de système sur puce
La diminution continuelle de la taille des transistors (42nm) a permis une croissance exponentielle du nombre de ces composants intégrés sur une puce (plus de 1 milliard). Ainsi les circuits VLSI actuels ne comportent plus un seul processeur. On parle de System on Chips (système sur puce), multiprocesseur en clusters parallèles, multi-niveaux de caches mémoires, réseaux d'interconnexion, Codec d'entrée sortie,….
Le but de ce projet expérimental sera, grâce à l'approche de prototypage virtuel avec SoCLib (structure logiciel développée par le LIP6), de concevoir et de valider en simulation la conception d'un processeur massivement parallèle.

Electronique d'instrumentation : conception d'un spectromètre RMN
L'objectif de ce travail expérimental est de partir du principe physique de la Résonance Magnétique Nucléaire pour construire, par approche schéma blocs, un petit spectromètre RMN élémentaire mais fonctionnel. Les élèves aborderont ainsi les multiples concepts de l'électronique d'instrumentation (adaptions, réflexion, mesures à très faible bruit, électronique Radio Fréquence,...) autour d'un banc de caractérisation de chimie/biologie par Résonance Magnétique Nucléaire. L'étudiant personnalisera ensuite son projet en développant un des nombreux thèmes autour de l'instrumentation RMN : Les mesures physiques (déplacement chimique, temps de relaxation, diffusion…), la simulation numérique, le traitement du signal, la conception d'électronique analogique RF ou BF, la conception de circuits numériques à base de microcontrôleurs et/ou de FPGA, l'évolution vers l'imagerie IRM (1D)…

Numerus clausus : 25

Modalités d'évaluation
Présentation orale et rapport écrit

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4

École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

Conduction quantique et physique mésoscopique

Ce cours vise à introduire des développements récents en physique de la matière condensée liés à la miniaturisation des circuits électroniques, et les questions fondamentales qu'ils suscitent. On explorera le monde de la physique mésoscopique, intermédiaire entre l'atome et l'objet macroscopique, dont les nombreux développements sont stimulés par l'évolution très rapide de l'industrie des circuits intégrés, des méthodes de lithographie et de la synthèse de nouveaux matériaux. On présentera les mécanismes de base du transport électronique à l'échelle méso ou nanoscopique, où les lois macroscopiques ne s'appliquent plus et où de nouveaux concepts liés à la mécanique quantique sont nécessaires. On décrira en particulier les phénomènes suivants : effet des interférences quantiques sur le transport électronique, quantification de la conductance, fluctuations universelles de conductance, effet Aharonov-Bohm, effet Hall quantique, ou la physique toute récente du graphène, cristal parfaitement bidimensionnel où la dynamique des électrons est celle de particules sans masse (prix Nobel 2010). Ce cours sera aussi l'occasion d'ouvertures sur d'autres domaines de la physique comme les effets de speckle en optique cohérente, ou la théorie des matrices aléatoires utilisée aussi bien en physique mésoscopique qu'en physique nucléaire ou dans la description du chaos quantique.

Plan du cours

Les matériaux, le confinement électronique
Les limitations de la physique classique
Le domaine de la physique mésoscopique, du macro au nanomonde.
Comment décrire la conduction à l'échelle méso ou nanoscopique ?
Du transport balistique au transport diffusif
Le formalisme de Landauer. Analogies électronique-optique
L'effet Hall quantique
Interférences quantiques dans les systèmes désordonnés
 Localisation faible et rétrodiffusion cohérente
 Fluctuations universelles de conductance et de speckle
Le graphène : une physique nouvelle et un matériau d'avenir
La théorie des matrices aléatoires

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 05 mars 2012

Cosmologie

La cosmologie est un champ d'application de l'astrophysique qui porte sur l'Univers dans son ensemble, son contenu matériel ou énergétique, son histoire passée et son évolution dynamique. Cette science relativement jeune a connu des progrès extraordinaires au cours des dernières décennies grâce à la mise en œuvre d'outils observationnels toujours plus sensibles et performants (observatoires au sol ou spatiaux). Les diverses prédictions du modèle théorique du « big-bang chaud », qui fut avancé vers le milieu du vingtième siècle, ont été vérifiées depuis avec un degré de précision sans cesse croissant.

Ainsi on peut aujourd'hui retracer dans ses grandes lignes l'histoire de l'Univers depuis sa première seconde (par référence à un temps zéro correspondant au big-bang dans le cadre du modèle ci-dessus) jusqu'à maintenant, quelques quatorze milliards d'années plus tard. L'extrapolation de l'histoire passée de l'Univers en deçà de cette première seconde reste le sujet de nombreuses recherches actuelles. On comprend également que les grandes structures de l'Univers, galaxies, amas de galaxies ou superamas de galaxies, résultent de l'instabilité gravitationnelle opérant dans un milieu initialement composé de perturbations de densité de très faible ampleur. Mais l'origine de ces perturbations de densité, ou même le mécanisme détaillé de la formation d'une galaxie comme la nôtre, restent à élucider. Pour donner un dernier exemple des avancées dans ce domaine, citons enfin l'observation selon laquelle la majeure partie du contenu énergétique de l'Univers est composé de « matière noire » (invisible) et d' « énergie noire », dont la nature et l'origine restent incomprises. Les réponses à ces questions nous fourniront de précieuses informations sur nos origines et sur le passé de notre Univers, bien sûr, mais aussi sur la physique fondamentale des lois de la gravitation et des autres interactions.

Cet enseignement d'approfondissement propose donc une introduction à la cosmologie moderne par le biais d'une série de six cours d'environ deux heures chacun, complétée par des travaux de recherches personnels sur un sujet d'approfondissement au choix de l'élève. Ces travaux seront de nature bibliographique mais pourront comporter une partie de modélisation numérique si l'élève le souhaite et si le sujet le permet.

Référence bibliographique :
Principes de la Cosmologie par James Rich (2002)
Fiche détaillée
Table des matières
Ouvrage disponible auprès des Editions de l'Ecole Polytechnique.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 03 janvier 2012

Cosmologie

Objectifs: Depuis près de 30 ans, la cosmologie a profondément renouvelé notre vision de l'Univers grâce à de nouveaux moyens d'observation : missions spatiales comme le satellite COBE du début des années 1990 ou « Planck Surveyor » prévu pour 2007 ; grands télescopes au sol comme le « Keck Telescope » ou les 4 instruments du « Very Large Telescope » de l'Observatoire Européen Austral au Chili. Le cours constitue une ouverture culturelle sur cette recherche fondamentale de pointe. Il démontre également le lien qu'elle entretient avec les sciences de l'ingénieur : découverte du rayonnement fossile par Penzias et Wilson lors d'une expérience de télécommunication, utilisation de la relativité dans les satellites GPS, défis techniques variés posés par la conception des instruments de mesure.

Programme: Généralités : introduction historique - instruments et rayonnements - mesures de distances - planètes, étoiles et galaxies.L'Univers à grande échelle : paradoxe d'Olbers - effet Doppler-Fizeau - loi de Hubble - rayonnement thermique cosmologique - distribution de la matière - quasars et noyaux actifs de galaxies.Les étoiles : magnitudes - diagramme HR - énergie thermonucléaire - neutrinos stellaires - critère de Jeans - étapes ultimes, supernovae, naines blanches, étoiles à neutrons, pulsars et trous noirs.L'expansion de l'Univers : principe cosmologique - densité critique ? modèles de Friedmann - univers de matière et de rayonnement.Vers la relativité générale : principe d'équivalence - espace temps non euclidien - équation d'Einstein - métrique de Robertson et Walker - vérifications expérimentales - ondes gravitationnelles..Le modèle standard du Big Bang et ses problèmes : mécanique des galaxies et masse cachée - lentilles gravitationnelles - nucléosynthèse primordiale - accélération de l'expansion - constante cosmologique - courbure d'espace.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 12
Crédits ECTS : 1
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : mercredi 05 décembre 2012

Cristallographie

Objectifs: Les programmes des Classes Préparatoires aux Grandes Écoles Scientifiques comportent une introduction à la Cristallographie qui se limite à la description géométrique de quelques structures de référence. Les compétences que cet enseignement délivre, se réduisent alors aux calculs de coordinence, de compacité, de rayons d'interstitiels et de masse volumique. Il s'agit là d'un échantillon assez peu représentatif des sujets couverts par la cristallographie.En réalité, en fonction de leurs objectifs scientifiques, les chercheurs et les ingénieurs étudient, pratiquent ou utilisent la cristallographie de différentes manières et, dans la majorité des cas, sans lien direct avec la chimie.L'objectif de l'enseignement spécialisé proposé ici n'est certainement pas de former des "spécialistes en cristallographie" ni de se limiter à la présentation exclusive d'une "petite partie" de la cristallographie à l'usage, par exemple, des ingénieurs d'étude en Science des Matériaux. Il s'agit plutôt d'ouvrir les horizons les plus larges possibles en termes d'applications des divers concepts que couvre la cristallographie, sans chercher à développer l'intégralité de la théorie de la cristallographie géométrique et de la

radiocristallographie.Cet enseignement offre également l'opportunité de s'intéresser à l'aspect expérimental d'une science et de la recherche qui s'y rattache. D'une part, la reconstruction de quelques structures cristallines simples permettra d'aborder les spécificités de la manipulation de données expérimentales. D'autre part, la présentation et l'utilisation des diffractomètres à rayon X et des microscopes électroniques dont dispose l'École donnera l'occasion de pénétrer dans l'univers "grands instruments" de haute technologie comme le synchrotron "SOLEIL" de 3ème génération et de comprendre pourquoi de tels investissements sont essentiels dans l'avancement des recherches relevant de thématiques allant des Géosciences à la Biologie.Méthodes pédagogiquesLa méthode choisie pour atteindre l'objectif énoncé précédemment de la manière la plus "vivante" est d'introduire expérimentalement les différents concepts qui seront développés. On pourra ainsi présenter, avant de "dérouler" la théorie attachée à leur interprétation, divers phénomènes physiques tels que, pour prendre deux extrêmes, les formes géométriques naturelles de croissances des cristaux macroscopiques, ou la formation de l'image de l'empilement des atomes par microscopie électronique en transmission. Cet enseignement fera largement appel à des travaux dirigés et pratiques.L'importance donnée à l'expérimentation nous amènera à utiliser les ressources en équipement dont dispose l'École, en particulier au Musée de Minéralogie et au Centre des Matériaux. Nous nous aventurerons cependant au-delà des domaines d'études privilégiés de l'EMP à l'occasion de la présentation d'activités et d'équipements - éventuellement de "gros équipements" - dans d'autres laboratoires de recherche de la région parisienne.

Programme: On peut diviser le cours de cristallographie en deux parties :d'une part la cristallographie géométrique qui traite essentiellement des concepts de symétries et de réseau,d'autre part la radiocristallographie qui s'intéresse à la diffraction des rayons X, des électrons et des neutrons par les cristaux.Programme :Introduction générale : l'état cristallin, ordre, périodicité, anisotropie.Les symétries d'orientation des cristaux : observations des formes géométriques des cristaux naturels présentés au Musée de Minéralogie. Application, à l'aide d'un logiciel informatique, des groupes de symétrie ponctuelle et de la projection stéréographique à la construction de formes simples du système cubique.Les réseaux : périodicité, mailles, motifs. Systèmes de réseau, indices de Miller. Illustrations : orientation et indexation de plans dans un cristal d'aluminium, reconstruction à l'aide d'un logiciel informatique de formes de croissance de cristaux dans divers systèmes.La diffraction : démonstrations sur les microscopes électroniques en transmission du Centre des Matériaux. Théorie de la diffraction, réseau réciproque, loi de Bragg, construction d'Ewald, facteur de structure. Illustrations : imagerie en microscopie électronique, la diffraction des RX, techniques, travaux pratiques en diffraction sur poudres, identification de phases, transformations de phases.Structures cristallines : symétries des propriétés physiques des cristaux, principe de Curie-Neumann, exemples d'applications.Exemple d'application de la Cristallographie : visite dans un laboratoire dont l'activité sort des domaines de prédilection de l'École des Mines de Paris, présentation d'un "grand" équipement...

Niveau requis
Les connaissances en algèbre linéaire, en physique et en chimie acquises au cours du cursus antérieur à la deuxième année du Cycle Ingénieur Civil sont suffisantes.

Modalités d'évaluation
L'évaluation des connaissances acquises sera contrôlée en continu à l'occasion des travaux dirigés et sera complétée par un examen écrit combinant questions à choix multiples et problèmes à questions indépendantes.

Période : Automne
Nombre d'heures : 37
Crédits ECTS : 3
École : MINES ParisTech

Dernière mise à jour : vendredi 28 septembre 2012

Du matériau au nano : un aperçu de la physique d'aujourd'hui

Objectifs: Les matériaux occupent dans notre société une place beaucoup plus importante que nous pourrions le croire à première vue. Que ce soit en matière de transport, de vêtement, de communications ou encore d'électronique, presque toutes nos activités quotidiennes sont liées d'une façon ou d'une autre à la présence des matériaux. Ainsi, une meilleure compréhension de la nature d'un matériau ouvre souvent la voie à des progrès techniques. L’objectif de ce cours est de traiter de plusieurs principes essentiels de la physique actuelle appliquée aux matériaux d'intérêt technologique et ce sous diverses formes : solides, surfaces, nano-objets et molécules. Durant cet enseignement, nous attacherons une grande importance à la définition des concepts de base et aux ordres de grandeur en jeu qui caractérisent les propriétés macroscopiques de ces objets. Nous discuterons plus particulièrement de l’origine des propriétés importantes des matériaux et aborderons plusieurs aspects contemporains de la nanophysique dont les applications se font sentir dans tous les domaines de la science et des technologies d'aujourd'hui (électronique, optique, magnétisme, chimiques et nanomatériaux). L’enseignement sera dispensé sous la forme d’une alternance de cours magistraux, de sessions d'exercices et de travaux dirigés numériques. A cette occasion, plusieurs outils didactiques de mécanique quantique appliquée aux matériaux et nano-objets ont été développés par l'équipe pédagogique. Ils permettront aux étudiants d'appliquer tous ces nouveaux concepts sur des modèles réalistes et actuels (graphene, nanotubes de carbone, spintronique, etc) directement pendant la session d'enseignement.

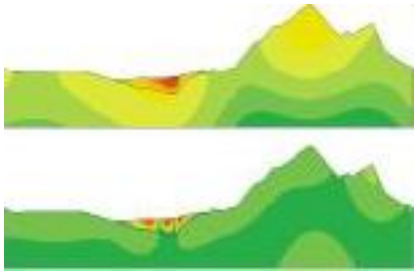
Programme: 1- Introduction : Les différents états de la matière • Liaison chimique ; rappels de physique atomique et moléculaire ; le gaz d’électrons libres 2- Structure du cristal parfait • Rappels de cristallographie ; espace et réseau réciproques ; présentation des supercellules et cristallographie des surfaces3- La structure électronique • Etats quantiques dans un solide ; états quantiques dans des nanostructures ; modèle des électrons presque libres ; du modèle des liaisons fortes aux techniques ab initio les plus actuelles 4- Vibration des atomes • Vibrations des noyaux atomiques ; phonons ; propriétés thermiques des solides 5- Propriétés physiques des matériaux : du solide au nano • présentation des différentes classes de matériaux : métaux et alliages, semi-conducteurs, isolants ; détermination des propriétés physiques par les structrures électroniques et vibrationnelles microscopiques ; effets de taille (confinement quantique) et de morphologie 6- Deux applications majeures : les propriétés de transport et le magnétisme • Etablissement du courant électronique dans les matériaux ; prépondérance des contacts ; quantification de la conductance • Magnétisme des solides versus des nano-objets ; phénomènes d'électronique de spin 7- Interactions rayonnement-matière • Propriétés optiques ; de l'infrarouge au domaine X ; spectroscopies d'électrons et de neutrons

Niveau requis
Destiné à un auditoire d'ingénieurs, ce cours suppose des connaissances de base en électromagnétisme, mécanique quantique et physique statistique.

Modalités d'évaluation
Examen oral.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 37
Crédits ECTS : 3
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : lundi 18 février 2013

Dynamique de la Terre : magnétisme, séismes, volcans, tsunamis



Objectifs du cours.
Ce cours introduit les mécanismes fondamentaux nécessaires à la compréhension de la structure et la dynamique de la Terre.
La démarche s'appuie fortement sur les outils déjà acquis en mécanique des milieux continus, mais introduit également de nouveaux concepts pour appréhender le magnétisme terrestre, la rhéologie du manteau, le comportement des failles et interfaces dans la croûte, et la propagation des ondes sismiques à grande et petite échelle.

Contenu du cours.
L'étude des ondes sismiques nous renseigne sur la structure interne de notre planète. Les phénomènes de convection thermique dans le manteau et le noyau terrestre sont ensuite présentés. Les conséquences de la convection vont de la génération de champ magnétique dans le noyau fluide de la planète à la tectonique des plaques en surface. A l'échelle de la croûte, la dynamique des failles permet d'analyser les mécanismes à l'origine des séismes. On aborde alors la propagation des ondes sismiques dans les milieux stratifiés (y compris les phénomènes d'atténuation dans les sols et les roches), puis l'amplification des ondes sismiques dans les formations géologiques de subsurface. Outre la caractérisation des aléas (sollicitations), ces développements permettent finalement d'évoquer les risques (en termes de conséquences) pour les séismes, les tsunamis et les volcans.

Niveau requis
MEC 431 : Mécanique des Milieux Continus

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique

Dernière mise à jour : mardi 09 mars 2010

Echelles intermédiaires Gravitation classique et systèmes d'étoiles

Ce cours est une introduction à l'étude des propriétés d'un système classique (ni quantique, ni relativiste) constitué de corps en interaction gravitationnelle. Deux cassont envisagés : Les systèmes composés d'un faible nombre de corps, le cadre est alors celui de la mécanique céleste. Les systèmes composés d'un grand nombre decorps, le problème est alors celui de la dynamique des galaxies.

Echelles intermédiaires Gravitation classique et systèmes d'étoiles

Modalités d'évaluation
Examen écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 33
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Ecoulements compressibles[V1E]

Le cours est consacré aux écoulements où les phénomènes de compressibilité ne sont plus négligeables. L'étude sera menée pour les fluides non visqueux et repose sur l'exploitation soignée des équations de bilan (masse, quantité de mouvement, énergie et entropie)Le passage d'un bilan sous forme globale à une écriture locale permet en cas de présence dans le domaine de surfaces de discontinuités, de dégager clairement les relations de sauts qui relient les grandeurs thermomécaniques de part et d'autre des lieux de discontinuités.L'approximation acoustique, les écoulements unidimensionnels, continus ou non, les chocs (droit, oblique) seront abordés.

Ecoulements compressibles[V1E]

Modalités d'évaluation
Contrôle de connaissances et projet

Période : Automne
Nombre d'heures : 21
Crédits ECTS : 2

École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Energies

Responsables :
Département de Physique
Frank Carré - CEA Saclay - Mél : franck.carre@cea.fr - Tél : 01 69 08 63 41
Arnd Specka - Ecole Polytechnique - LLR - Mél : specka@llr.in2p3.fr - Tél. : 01 69 33 55 67

Département de Mécanique
Patrick Le Tallec - Ecole Polytechnique - LMS - Mél. : patrick.letallec@polytechnique.fr -
Tél : 01 69 33 57 85

Stages du PA Energies du 21eme siècle :

L'objectif du stage est de mettre les élèves en contact avec la recherche dans le domaine de l'énergie telle qu'elle se pratique dans les laboratoires de physique, d'énergétique, de mécanique ou au sein des entreprises nationales ou internationales.

De manière à pouvoir en tirer le meilleur profit, les élèves peuvent se regrouper en binômes pour effectuer ces stages. Les monômes seront également acceptés. Les responsables sont à votre disposition pour vous donner toute les précisions sur chacun des sujets envisagés et les infléchir éventuellement selon vos goûts.

Compte tenu du temps de maturation nécessaire, il est souhaitable de choisir votre sujet et d'en discuter avec votre futur directeur de stage longtemps à l'avance. Il faut réfléchir au thème choisi bien avant le démarrage du stage.

A titre indicatif, voici des domaines d'activité dans lesquels des stages ont été effectués les années précédentes :

- les réacteurs à fission
- la fusion thermonucléaire
- les déchets
- le nucléaire de génération 4
- le photovoltaïque
- l'énergie hydraulique
- les énergies renouvelables
- émission et mesures de CO2
- l'économie de l'énergie
- le solaire thermique
- le stockage de l'énergie
- recherche et développement sur l'hydrogène

- perspectives des voitures électriques
- les écoulements dans les systèmes énergétiques
- les matériaux résistants aux hautes températures
- les vibrations des systèmes d'exploitation offshore.

La gamme des sujets proposés est fort étendue, même à l'intérieur de chaque domaine. Les sujets sont théoriques ou expérimentaux. Ils s'effectuent le plus souvent dans le cadre de laboratoires de recherche universitaires en France ou à l'étranger. Un nombre significatif de stages se déroule néanmoins dans des entreprises de taille variable, mais ayant toutes un secteur important de recherche et développement dans le domaine de l'énergie.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 06 février 2012

on de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux supers

Le but de ce cours est de montrer comment l'étude d'un même modèle mathématique peut apporter des informations pertinentes pour des phénomènes aussi variés que la physique de la matière condensée, l'optique non linéaire, la mécanique ou les phénomènes d'invasion biologiques.

Nous introduirons certains outils d'analyse mathématique non linéaire: calcul des variations, analyse spectrale, théorie des perturbations, étude d'ondes progressives, principe du maximum, théorie des fonctions holomorphes. Nous nous intéresserons tout particulièrement au cas des fluides quantiques (condensats de Bose Einstein) pour lesquels nous décrirons quelques expériences récentes portant sur l'observation de tourbillons quantiques.

Le niveau de ce cours est introductif et ne nécessite aucun prérequis particulier. Il est destiné aussi bien à des étudiants venant d'autres disciplines et souhaitant apprendre un peu de mathématiques, qu'à des gens souhaitant compléter leur connaissance des équations aux dérivées partielles, grâce aux nombreuses pistes d'approfondissement qu'ouvre ce cours. Le polycopié a été rédigé en collaboration avec Jean Dalibard (Physique) et Christophe Josserand (Mécanique). Jean Dalibard interviendra dans ce cours.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : vendredi 18 novembre 2011

Fusion thermonucléaire

Cet enseignement offre une introduction aux principes de base de la physique des plasmas thermonucléaires, une présentation de la problématique de la combustion thermonucléaire contrôlée, qu'il s'agisse de la voie du confinement magnétique (le projet ITER) ou du confinement inertiel (le projet Mégajoule), et enfin un aperçu des réalisations et performances des systèmes expérimentaux actuels.

Sujets traités :

1- Fusion thermonucléaire. Réactions de fusion. Taux de réaction. Critère de Lawson. Critère d'allumage. Nécessité du confinement. Confinement magnétique et confinement inertiel. Le projet ITER et le projet LMJ.

2- Physique des plasmas thermonucléaires. Processus collectifs : fréquence de Langmuir, longueur de Debye. Ondes dans les plasmas non magnétisés.

3- Orbites et confinement des particules chargées. Adiabaticité et centre guide. Dérives de gradient et de courbure, force diamagnétique. Invariants adiabatiques et configurations Tokamaks. Orbites circulantes et piégées

4- Phénomènes dissipatifs et transport. Collisions coulombiennes. Equation de Landau. Relaxations électroniques et ioniques. Transport classique et néoclassique. Introduction au transport turbulent. Diffusion et convection du champ.

5- Ondes et instabilité dans les tokamaks. Dispersion des modes ioniques et électroniques. Résonance et coupures. Absorptions Landau et cyclotron. Modes d'interchange et de dérive.

6- Contrôle des plasmas thermonucléaires. Injection et extraction de particules neutres. Génération non inductive de courant. Ralentissement des neutrons et couverture tritigéne. Extraction de puissance et Divertor.

7- Confinement inertiel. Compression et allumage. Allumage par point chaud. Régime isobare et régime isochore.

8- Hydrodynamique des plasmas créés par laser. Ablation et « effet fusée ». Ecoulement auto-semblable. Transport thermique. Instabilités hydrodynamiques.

9- Interaction laser-plasma. Absorption du rayonnement. Interaction nonlinéaire laser-plasma. Force nonlinéaire (force pondéromotrice). Instabilités paramétriques.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 12 avril 2010

Généralités sur l'énergie nucléaire

L'objectif de ce cours est de doter les élèves des connaissances de bases sur l'industrie du nucléaire civil. Ce cours se divise en deux parties : 1 - Un cycle de conférences abordant les thèmes suivants : Les filières d'aujourd'hui : Présentation comparative des filières eau pressurisée (PWR), eau bouillante (BWR), graphite-gaz (UGG), eau lourde. La filière REP (Réacteurs Eau Pressurisée) : Exploitation, optimisation de la maintenance et sûreté. Les réacteurs du futur : réacteurs neutrons rapides (RNR), haute température (HTR), REP du futur (EPR) et réacteurs de fusion (ITER). En s'appuyant sur l'expérience des conférenciers et en traitant des aspects techniques, industriels et socio-économiques, ces conférences ont pour objectif de donner une information aussi large que possible sur les problèmes rencontrés dans le secteur du nucléaire civil.

Généralités sur l'énergie nucléaire

Modalités d'évaluation
Interrogation écrite sur dossier (de presse ou d'un cas fictif).

Période : Automne
Nombre d'heures : 22
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Généralités sur l'énergie nucléaire (partie 2)

L'objectif de ce cours est de doter les élèves des connaissances de bases sur l'industrie du nucléaire civil. La deuxième partie de ce cours traite des sujets suivants : 2eme partie - Suite du cycle de conférences : La filière REP (Réacteurs Eau Pressurisée) : Otimisation de la maintenance et sûreté. Le cycle du combustible (extraction, enrichissement, retraitements, stockage). - Sont prévues également des visites de sites industriels dans le cadre de la semaine de milieu : La visite de sites correspondant aux différentes étapes du cycle du combustible permet d'illustrer le cours au contact des réalités industrielles et de rencontrer des spécialistes des domaines concernés. Les sites visités sont notamment les suivants : Usine d'enrichissement du minerai, Centrale nucléaire, dont salle de conduite, salle des machines et Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires (BAN)ou Bâtiment Combustible (BK), Centre de recherche sur le combustible, le retraitement des déchets (vie longue et vie courte), Usine de fabrication des composants nucléaires lourds, Centre de formation aux techniques d'intervention en Centrale Nucléaire. Centrale nucléaire à Neutrons Rapides (Phénix)

Généralités sur l'énergie nucléaire (partie 2)

Niveau requis
Cours D5-1 (Première partie...)

Période : Automne
Nombre d'heures : 22
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Génie atomique

Objectifs: Le cours vise à donner les connaissances de base nécessaires pour tous ceux qui s'intéressent aux applications industrielles de l'énergie nucléaire. Il doit permettre, notamment, à un ingénieur de s'intégrer rapidement dans une équipe de recherche, d'ingénierie ou de production de ce secteur industriel qui couvre :Les centrales électronucléaires,Les usines de fabrication et de retraitement des combustibles nucléaires,Les installations de conditionnement et de stockage des déchets radioactifs.Dans chacun de ces domaines, l'enseignement a pour but d'apporter :La maîtrise des principaux phénomènes régissant chaque système et de leur importance relative ;Les ordres de grandeur des paramètres physiques et techniques spécifiques à chacun d'eux.

Programme: Énergie nucléaireL'industrie nucléaire dans le monde, Aspects économiques, Problèmes d'environnement.Centrales nucléaires Principes de fonctionnement, sous ensembles, Combustibles, critères de choix, tenue sous irradiation, Réacteurs à eau sous pression, Réacteurs à neutrons rapides, Autres types de réacteurs.Neutronique (J.-P. Deffain) Réactions nucléaires et sections efficaces, Diffusion et transport, Cinétique et pilotage.Cycle du combustible (A. Gouchet) Uranium naturel, mines, extraction, Enrichissement de l'uranium, Fabrication des combustibles, Retrait des combustibles usés, Conditionnement et stockage des déchets.Sûreté nucléaire Principes généraux, Radioprotection,Scénarios d'accidents.

Niveau requis
Ce sont les connaissances normalement acquises dans le tronc commun, notamment en matière de : Physique générale,Thermique,Métallurgie.En outre, il est souhaitable de posséder les connaissances du cours de physique nucléaire.

Modalités d'évaluation
Le contrôle des connaissances est réalisé par un examen oral au cours duquel les responsables s'attachent particulièrement à vérifier, sur une ou plusieurs questions traitées dans les séances d'enseignement : •La compréhension des phénomènes de base, •Les principales lois physiques, en particulier en neutronique, •La connaissance des schémas généraux simplifiés de fonctionnement, •Les principales caractéristiques des installations, •Les ordres de grandeur des données techniques. En pratique, cet examen se déroule par petits groupes de façon à ce que chaque élève puisse s'exprimer sur plusieurs sujets.

Période : Automne
Nombre d'heures : 37
Crédits ECTS : 3
École : MINES ParisTech

Dernière mise à jour : dimanche 12 décembre 2010

Génie nucléaire

Contenu

Physique nucléaire Structure de l'atome & Eléments chimiquesStructure du noyau & IsotopesRadioactivité & Types de rayonnement, Cinétique de la radioactivitéDéfaut de masse & Energie nucléaireRéactions nucléaires Caractéristiques des neutrons & Domaines d'énergieInteractions des neutronsSections efficacesPrincipe des réacteursFusion et Fission & Energie dégagéeProduits de fissionRéaction en chaînes & Facteur de multiplicationChoix du combustibleChoix du modérateurRapport de modération & Réacteur sous modérésChoix du caloporteurFilières des réacteursCinétique des réacteurs RéactivitéNeutrons retardés & PrécurseursTemps de vie des neutronsEquations de la cinétiqueCinétique en neutrons prompts (hypothétique)Cinétique à 1 groupe de neutrons retardésRelation et courbe de NordheimEvolution de la population neutronique en fonction de la réactivitéTemps de doublement Principes de pilotage des réacteurs Poisons neutroniques & Xénon et SamariumEffet en réactivité induit par les variations de températureApproche sous-critique avant démarrage du réacteurLa filière des réacteurs à eau sous pressionPrincipe de fonctionnement et description : bâtiments, circuits primaire, secondaire et tertiaire, piscines, salle de commande. Présentation de certains circuits auxiliaires et de sauvegarde.L'EPREuropean Pressurized water Reactor : Présentation des particularités de l'EPR par rapport aux réacteurs actuels.Les acteurs du nucléaire en FranceLes acteurs du nucléaire en France : Gouvernement, DGEMP, ASN, IRSN, ANDRA, CEA, AREVA, ALSTOM et EdFCycle du Combustible Nucléaire et Gestion des DéchetsCombustible nucléaire pour filière REP Uranium ; aspects de chimie et de physique nucléaire U, élément chimique ; famille actinides, configuration électronique, multiplicité des degrés d'oxydation,… U radio-élément ; ses isotopes et leurs périodes, descendants, fissile/fertile, uranium nature/enrichi/appauvri, filière réacteurs/isotopie. Uranium ; dans le cœur des REPQuelle forme chimique ? Pourquoi ?Quel conditionnement ? L'assemblage, le crayon, la pastille, la poudre UO2.Besoins du parc électronucléaire français.L'industrie de la fabrication du combustible ; quelques aspects.Du combustible neuf au combustible usé ; réactions nucléaires, production de nouveaux éléments chimiques, aspects de corrosion,…De la mine à la fabrication du combustible ; l'amont du cycle du combustible nucléaire De la mine à la fabrication du combustible ; une simple logique d'enchaînement d'étapesObjectifs des 3 étapes ; extraction- concentration, conversion, enrichissement.L'uranium sous plusieurs formes chimiques et dans plusieurs états.Ressources minières mondiales, usines de conversion et enrichissement. L'enrichissement de l'uranium ; un procédé de séparation physiquePrincipes de séparation par procédé diffusion gazeuse ;

opération unitaire, cascade, l'UTS.Composition d'un module de DG.Comparaison procédé DG / procédé ultracentrifugation gazeuse. L'usine Georges Besse 1 et le projet Georges Besse 2.Devenir du combustible usé et gestion des déchets ultimes; l'aval du cycle du combustible nucléaire Des étapes qui dépendent d'une stratégie de fin de cycleCycle ouvert / cycle fermé ; éclairage sur le choix de quelques pays.Stratégie retraitement & recyclage : les implications industrielles. Industrie du retraitement et du recyclage ; combustibles MOX, l'URT, l'URE).Stratégie retraitement & recyclage : les implications en matière de gestion des déchets de fin de cycle. La situation aujourd'hui. Procédé de traitement des combustibles usés : les grandes lignes du procédé PUREX Gestion des déchets radioactifs : la situation aujourd'hui en FranceOrigine, classification, production annuelle.Stockage en surface des déchets très faible et faible activité à vie courte (TFA, FA/MA vie courte).R&D associée à la gestion des déchets de haute activité et moyenne activité à vie longue (HMA-VL). Gestion des déchets radioactifs HMA-VL : les perspectives en France, les stratégies développées par nos voisins

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 21
Crédits ECTS : 3
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : jeudi 27 mai 2010

Grandes échelles Univers et Gravitation relativiste

Ce cours est une introduction à la théorie de la relativité générale et à ses applications en astrophysique. Après avoir déduit les équations d'Einstein, on s'attachera àles résoudre dans quelques cas simples.

Grandes échelles Univers et Gravitation relativiste

Modalités d'évaluation
Examen écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 32
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Groupes de symétrie en physique

MAT/PHY575 : Des séances animées par les enseignants mathématiciens et physiciens exposent les principes théoriques de base. Les élèves effectuent parallèlement un travail personnel donnant lieu à la rédaction d'un mémoire et à une soutenance orale.

Programme :
Bases de la théorie des représentations des groupes de Lie, des algèbres de Lie ainsi que des groupes finis, illustrées par de nombreux exemples.

Applications en physique : symétries en mécanique quantique ; permutations, principe de Pauli ; groupe de Lorentz, spin et équation de Dirac ; groupes et algèbres de Lie en physique des particules : modèle des quarks et théories de jauge.

Niveau requis
PHY431 - Relativité et principes variationnels
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 29 mars 2011

Hydrodynamique et Elasticité

La forme d'une goutte d'eau est décrite par une équation de pendule. Il en est de même pour la forme d'un cheveu.
Cette analogie, démontrée par Maxwell, souligne la proximité entre deux domaines : l'hydrodynamique et l'élasticité. Ces deux domaines sont souvent présentés séparément. Ce cours propose de nager à contre courant et de les présenter ensemble, de façon à souligner leurs liens et de comprendre leurs différences.

L'objectif est ainsi de proposer aux élèves un cours de synthèse et d'ouverture : synthèse sur les milieux déformables et ouverture vers les applications récentes de ce domaine.

Le développement actuel de la mécanique se fait autour de 5 grands axes :

- Mécanique du vivant.
- Mécanique et environnement.
- Mécanique et énergie / transport.
- Mécanique micro - nano.
- Mécanique complexe (fluides et solides complexes).

Dans chacun de ces axes, fluides et solides se côtoient et sont susceptibles d'interagir :
je pense par exemple au transport des cellules par le sang (mécanique du vivant), à l'apparition de bulles de cavitation dans les cellules du xylème et qui bloquent, en période chaude, l'ascension de la sève dans les arbres (environnement). Je pense encore au mouillage de surfaces texturées (micro - nano) où les plots de la texture sont si fins que le liquide est susceptible de les tordre et de les assembler.

Ces systèmes sont complexes dans le sens qu'ils mettent en jeu un grand nombre de paramètres. Toutes les études récentes montrent qu'il est illusoire de vouloir les résoudre dans leur pleine complexité. Pour les résoudre, ces études nous apprennent qu'il faut commencer par les simplifier, c'est à dire identifier les principaux paramètres responsables de l'effet étudié. C'est au prix de cette simplification que les lois qui régissent l'évolution de ces systèmes peuvent être approchées.
Cette phase de simplification, à laquelle seront inévitablement confrontés les jeunes Polytechniciens, est une phase d'analyse qui demande du recul et une vision synthétique sur les milieux déformables.

Ce cours est construit pour les aider dans cette démarche.

1- A l'échelle moléculaire, qu'elles différences entre fluides et solides ?
Quel lien entre les interactions moléculaires et les paramètres
macroscopiques: viscosité, tension de surface, module d'Young.

2- Vers une description continue des milieux déformables.
Les grandes étapes de l'approche statistique: alliance entre lois conservatives...
...et lois phénoménologiques.

3- Statique des liquides et des solides élastiques.
Analogie entre la forme des gouttes et des plaques.
Analogie entre la torsion d'une barre et la forme d'un film de savon.

4- Ondes et instabilités.
Vitesse du son et équations de Maxwell.
Analogie entre l'instabilité d'Euler et le flambage des fluides visqueux.

5- Dynamiques loin des seuils :
Bulles et fractures.

6- Couplages à grand Reynolds :
La nage et les drapeaux.

7- Couplages à petit Reynolds :
Flagelles et bactéries.

8- Singularités :
Un problème géométrique en élasticité, un problème dynamique en hydrodynamique.

9- Entre fluides et solides :
Fluides "complexes", solides "complexes".

Numerus clausus:14

Période : Hiver & Printemps

Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 12 janvier 2009

Interaction rayonnement-matière

Objectifs :

Les processus d'interaction entre la matière et un rayonnement électromagnétique sont à la base des techniques spectroscopiques ainsi que d'applications technologiques majeures (imagerie, photovoltaïque, optoélectronique,...). L'objectif du cours est d'une part de faire une présentation générale de ces processus et d'autre part d'expliquer les propriétés spectroscopiques en relation avec les descriptions quantiques des atomes, des molécules, et de la matière en général.

Contenu du cours :

A) Principes fondamentaux de la spectroscopie

A1) Evolution d'un système quantique isolé (rappel)
A2) Evolution d'un système quantique perturbé : perturbations dépendantes du temps
A3) Transitions du 1er ordre
A4) Cas particulier du rayonnement électromagnétique : absorption et émission stimulée
A5) Transitions du 2ème ordre : absorption et émission à deux photon, diffusions Rayleigh et Raman
A6) Transitions d'ordre élevé
A7) Rappels sur le rayonnement électromagnétique
A8) Transitions dipolaires électriques et dipolaires magnétiques
A9) Coefficients d'Einstein, émission spontanée
A10) Origine de l'émission spontanée, quantification du champ
A11) Temps de vie radiatif et largeur de raie naturelle

B) Eléments de spectroscopie atomique

B1) L'opérateur R
B2) Notion de règle de sélection : exemple du spin
B3) Transitions dans l'atome d'hydrogène
B4) Transitions dans les atomes à plusieurs électrons : effets de l'interaction electron-électron et du couplage spin-orbite

C) Eléments de spectroscopie moléculaire

C1) Séparation des mouvements électroniques et nucléaires
Ordres de grandeurs, séparations des mouvements électroniques et nucléaires, séparation des mouvements nucléaires

C2) Spectroscopie rotationnelle
- Rotations moléculaires
- Molécules linéaires
- Toupies symétriques
C3) Spectroscopie vibrationnezle
- Molécules diatomiques : vibrations-rotations, règles de sélection
- Molécules polyatomiques
C4) Spectroscopie électronique
- Principe de Frank Condon
- Règles de sélection
- Evolution de l'état excité : fluorescence, phosphorescence, photodissociation

Niveau requis
Concepts et outils mathématiques de la physique quantique, notions d'électromagnétisme

Modalités d'évaluation
Examen écris

Période : Printemps
Nombre d'heures : 28
École : Chimie ParisTech
Dernière mise à jour : vendredi 14 janvier 2011

Introduction à la mécanique quantique

L'objectif de ce cours est l'introduction des principes fondamentaux de la mécanique quantique.

1. Introduction
2. Mécanique ondulatoire
3. Notations de Dirac
4. Grandeurs physiques et mesures
5. Principes de la Mécanique Quantique
6. Commutation des observables
7. L'oscillateur harmonique.

Modalités d'évaluation
Examen écrit, 3 heures, tout documents autorisés

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 3
École : Institut d'Optique Graduate School
Dernière mise à jour : mardi 28 avril 2009

Introduction à la mécanique quantique

Familiariser avec les idées essentielles, le formalisme élémentaire et les grandes applications de la Mécanique Quantique.
La limitation du pouvoir prédictif de la science est une découverte majeure de la modernité. Le déterminisme laisse une place à la maîtrise du hasard, que ce dernier soit attribué à la connaissance incomplète du système étudié, à la structure du modèle descriptif ou enfin, et c'est le cas de la Mécanique Quantique, à la Nature elle-même. Le contenu conceptuel de la Mécanique Quantique ne saurait alors être absent du bagage de l' "honnête ingénieur".
Pratiquement, de nombreux progrès dans le domaine des matériaux du génie civil ou de l'environnement dépendent largement de la physique et de la physicochimie, ces disciplines s'introduisent, à travers ce cours, dans le cursus de première année. On ne voit pas de limite aujourd'hui aux pouvoirs descriptif et prédictif de la Mécanique Quantique.
Ce cours, faiblement mathématisé, a en ligne de mire d'une part l'interaction lumière matière, d'autre part la structure électronique des matériaux. Le photovoltaïque est une illustration simultanée de ces deux buts.
L'ancrage à des préoccupations lancinantes de la science et de la société, autour du Développement Durable, est évident.

Introduction à l'histoire et aux idées de la Mécanique Quantique ; perte de pertinence des représentations en termes de particules ou d'ondes ; quantons.
Probabilités ; intrications
Formalisme ; du quantique au classique (et de l'onde au rayon).
Puits et barrières. Effet tunnel.
Oscillateur harmonique quantique. Quantification du champ électromagnétique. Photons. États cohérents.
Moment cinétique. Spin. Champ central.
Perturbations.
Interaction champ matière Phénomènes spontanés ou stimulés.
Structure électronique de la matière : isolants, métaux et semi-conducteurs. Jonction.
Introduction aux nanotechnologies.
Le photovoltaïque.

Modalités d'évaluation
Module optionnel, mais assiduité obligatoire, à partir de la troisième séance.

Période : Automne
Crédits ECTS : 2
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : mardi 26 juillet 2011

Introduction à la télédétection pour l'étude de l'environnement [V2B]

L'environnement est très étudié par l'observation spatiale et terrestre. Le but de ce cours est d'introduire les bases en télédétection afin de connaître les systèmes d'observation de la Terre et leur fonctionnement.

Plus précisément, on s'intéressera aux variables observées et aux méthodes de transformation (par des modèles par ex) des signaux retransmis par les outils d'observations afin d'être géophysiquement interprétables. La démarche associera connaissances théoriques et exemples d'applications de la télédétection.

Introduction à la télédétection pour l'étude de l'environnement [V2B]

Modalités d'évaluation
Projets numériques avec rendu de rapports.Exposés oraux basés sur l'analyse d'articles scientifiques.

Période : Automne
Nombre d'heures : 22
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Introduction aux nanomatériaux

Objectifs: Ce cours n’est pas un cours de physique du solide –même s’il y fait évidemment référence-, et n’est pas organisé de façon académique ; il favorise résolument les aspects applicatifs et présente largement les avancées spectaculaires dont les nanomatériaux sont et seront à l’origine dans la sphère industrielle, et donc dans notre vie de tous les jours. On abordera successivement dans ce cours la synthèse des nanomatériaux, leur caractérisation, la modélisation de leur comportement et l’on présentera certaines applications parmi celles qui sont les plus en pointe. Les raisons pour lesquelles les nanomatériaux présentent des propriétés particulières et étonnantes sont aussi celles pour lesquelles ils peuvent éventuellement être nocifs; l’absence actuelle de normalisation ne contribue pas à éclaircir le débat à ce sujet. Les aspects toxicité seront abordés au niveau de la fabrication, de la mise en œuvre et de l’utilisation ; on en analysera les risques, et on introduira les enjeux industriels et sociétaux dont ils font l’objet.

Programme: Introduction générale Synthèse, élaboration Caractérisation Modélisation à l’échelle moléculaire Modélisation morphologique et passage nano macro Applications Couleur Applications en Sc. Matériaux Applications Dépollution, Nanoporeux et Catalyse Applications en Energie Applications Electro-magnétiques Applications Electro-magnétiques (permittivité, nanotubes, metamatériaux…) Prospective, enjeux industriels et sociétaux, Analyse de risques, Toxicité.

Niveau requis
Notions de base en physique et sciences des matériaux

Modalités d'évaluation
Les étudiants remettront un mini projet écrit sur un des thèmes traités dans l’Enseignement Spécialisé.

Période : Printemps

Nombre d'heures : 38
Crédits ECTS : 2
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : mercredi 17 août 2011

L'équation des ondes et sa résolution numérique

L'objectif de ce cours est l'analyse mathematique et numerique des equations d'ondes en regime transitoire. Le cours est divise en trois parties. Une partie sur l'analyse mathematique dans laquelle sont etudiees les principales caracteristiques, proprietes des ondes (propagation a vitesse finie, cone de dependance, identite d'energie etc...), le caractere bien pose des equations d'ondes (theoreme de Hille-Yosida, notions de solutions fortes, de solutions faibles et...). La deuxieme partie concerne l'approximation numerique de l'equation des ondes. Les outils de l'analyse numerique de ces equations sont l'analyse de Fourier et les identites d'energie. Ces outils seront definis et utilises pour analyser les schemas aux differences finies et aux elements finis les plus classiques. Les resultats principaux concernent les questions de convergence, de stabilite, et les analyses de dispersion des schemas. Enfin, la derniere partie presentera des methodes de traitement numerique des problemes poses en milieux non bornes: les conditions aux limites absorbantes et les couchesabsorbantes.

L'équation des ondes et sa résolution numérique

Niveau requis
MA201

Modalités d'évaluation
Examen écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 21
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Le modèle standard - interactions électrofaibles et fortes

Le cours sera divisé en trois parties. L'un des enseignants exposera les aspects phénoménologiques du modèle standard, mettant l'accent sur la confrontation théorie/expérience. Les deux autres enseignants se concentreront sur la théorie du secteur électrofaible et fort du modèle standard.

1) Aspects phénoménologiques et expérimentaux du modèle standard (la théorie à l'épreuve de l'expérience):

- des hadrons aux quarks: processus à courte distance, invariance d'échelle, partons, spectroscopie hadronique, quarks, annihilation e+e- et quarkonium, Drell-Yan et collisions hadroniques
- le secteur fort: phénoménologie et tests expérimentaux de QCD, violations de l'invariance d'échelle, mesures de la constante de couplage forte, tests de la liberté asymptotique
- le secteur électrofaible: courants faibles chargés, modèle électrofaible de la violation de P et C, tests de précision des masses des bosons de jauge et des couplages aux fermions, phénoménologie du Higgs, CKM et violation de CP, masses des neutrinos et mélange.

2) Théorie électrofaible

- Théories de Yang et Mills
- Brisure spontanée de symétrie et théorème de Goldstone
- Mécanisme de Higgs
- Secteur électrofaible du modèle standard: angle de mélange, masses des bosons de jauge, courants neutres et chargés, matrice CKM
- Mécanisme GIM
- Symétrie custodiale
- Évolution des constants de couplage par le groupe de renormalisation, équation de Callan-Symanzik
- Stabilité et bornes de trivialité à la masse du boson de Higgs (*)
- Anomalies quantiques
- Masses des neutrinos et mélanges (*)

(*) Sujets optionnels, en fonction du temps disponible.

Bibliographie:

- M.Peskin and D. Schroeder, An Introduction to quantum field theory, 1995, Reading, USA: Addison-Wesley (1995) 842 p
- S. Weinberg, The quantum theory of fields. Vol. 2: Modern applications, 1996, Cambridge, UK: Univ. Pr. (1996) 489 p
- Itzykson et Zuber, Quantum Field Theory, 1980, New York, USA, Mcgraw-Hill.

3) Chromodynamique quantique:

- Rappel des bases de la QCD: quarks et gluons, action et quantification, renormalisation, liberté asymptotique
- Développement de produits d'opérateurs, théorèmes de factorisation. Méthodes perturbatives, resommations des séries perturbatives à tous les ordres.
- QCD à haute énergie/haute densité. Fonctions d'onde des hadrons et des noyaux, sections efficaces totales en diffusion profondément inélastique, observables semi-inclusives dans les collisions d'électrons, de protons et de noyaux. Effets non-linéaires et saturation des densités de partons.
- Méthodes non-perturbatives

Bibliographie:

- T. Muta, "Foundations of quantum chromodynamics", World scientific, 1998

- R K Ellis, W J Stirling and B R Webber, "QCD and Collider Physics", Cambridge University Press

Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : jeudi 03 février 2011

Les écoulements à l'échelle du micromètre et leurs applications en biophysique

Grâce au développement des techniques de miniaturisation, la microfluidique – c'est-à-dire l'étude et la maîtrise d'écoulements de fluide à des échelles micrométriques – a connu un formidable développement ces dernières années.Cette échelle de taille est pertinente pour plusieurs raisons: tout d'abord les propriétés rhéologiques des fluides - c'est-à-dire leurs capacités à s'écouler - sont modifiés si ceux-ci sont structurés à l'échelle typique du micron. Ainsi, si on incorpore à une huile des gouttes d'eau (comme on le fait lorsqu'on réalise une vinaigrette), on observe que la viscosité du fluide résultant peut varier d'un facteur 10. Ce type d'effet est largement exacerbé si la taille des gouttes utilisées est contrôlée précisément.Ensuite, du point de vue biologique, le micromètre correspond à la taille d'une cellule, qui est la brique élémentaire de tout organisme vivant. Or, certaines fonctionnalités des cellules restent encore mystérieuses -comme leurs capacités à se déplacer dans les vaisseaux sanguins ou à adhérer sur des surfaces - il est donc tout a fait pertinent de les sonder et de les solliciter à cette échelle. Dans ce cours, nous aborderons les spécificités de l'hydrodynamique à cette échelle en insistant sur l'importance des phénomènes de surface ou capillarité, nous discuterons de la possibilité de mélanger différents fluides, de former des gouttes et de les déplacer. Toutes ces notions seront illustrées par différents exemples issus de la recherche académique ou appliquée en physique ou en biophysique.

Les écoulements à l'échelle du micromètre et leurs applications en biophysique.

Niveau requis
Aucun prérequis specifique

Modalités d'évaluation
A définir

Période : Automne
Nombre d'heures : 24
Crédits ECTS : 1
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Les équations de Maxwell et leur approximation

Dans ce cours, nous considérons les ondes de nature électromagnétique, solutions des équations de Maxwell. Ce cours visera deux objectifs principaux : - introduction à l'étude mathématique et physique de ces équations. - étude de techniques de discrétisation et mise en oeuvre numérique.Les outils nécessaires à la réalisation du premier objectif seront abordés lors de séances de cours.La réalisation du second objectif fera l'objet d'un projet informatique.Dans le cadre du projet, nous mettrons notamment l'accent sur la résolution mathématique et l'approximation de problèmes dépendant du temps, en domaine borné.

Les équations de Maxwell et leur approximation

Niveau requis
Bonnes connaissances sur les Méthodes d'Eléments Finis (cours ENSTA MA201) et les Méthodes de Différences Finies (cours ENSTA MA103 ou MA261).

Modalités d'évaluation
Contrôle continu, dépôt d'un rapport de projet et soutenance orale.

Période : Automne
Nombre d'heures : 20
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Magnétisme et supraconductivité

Le Magnétisme et la Supraconductivité sont non seulement deux terrains de recherche qui, de par la phénoménologie du comportement des matériaux impliqués (lévitation magnétique, transitions de phase, résistance nulle dans les supraconducteurs), suscitent beaucoup l'intérêt, ce sont aussi les deux terrains de recherche en physique du solide où la mécanique quantique se manifeste à l'échelle macroscopique.

Ce module propose une étude approfondie de l'un ou l'autre phénomène, et cela en lien étroit avec le cours magistral PHY552A « Physique quantique des électrons dans les solides » dont le suivi est obligatoire. Depuis cinq ans, la supraconductivité et le magnétisme ont été traités en alternance, le magnétisme les années paires, et la supraconductivité les années impaires.

Le mode opératoire est de proposer aux élèves, dans l'un des deux thèmes, un sujet d'actualité scientifique. Les étudiants, regroupés en binôme, font ensuite un travail expérimental en laboratoire, avec des instruments de point, ainsi qu'une recherche théorique sur le sujet. Jusqu'à quatre binômes peuvent ainsi être encadrés.

Parmi les sujets récemment abordés, on trouve :

En Magnétisme :
2010 : Magnéto-résistance tunnel dans des tricouches Permalloy – Al2O3 – Co
2008 : Transition Onde de densité de spin dans des nanofils de Cr
2004 : Anisotropie de forme dans des fils de Ni de diamètre nanométrique

En Supraconductivité :
2009 : Lien entre structure et supraconductivité dans un pnicture de fer
2009 : Effet Meissner paramagnétique
2007 : Supraconductivité à haute température critique

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : jeudi 17 mars 2011

Matériaux Composites

L'étude des matériaux composites à fibres longues et matrices organiques est une bonne ouverture sur les problèmes liés à l'utilisation des matériaux nouveaux dans l'industrie. Il s'agit donc dans ce cours de montrer qu'il est possible de passer de la modélisation mésoscopique (couche du matériau élémentaire) au dimensionnement de structures stratifiées. Une présentation générale à travers les matériaux de base (fibre et résine) couramment employés et des procédés de fabrication est tout d'abord réalisée. Les bases de l'élasticité anisotrope sont alors exposées, puis une théorie de matériaux multicouches est présentée. Bâtie à partir de la mécanique des milieux continus 3D, elle permet de calculer le comportement élastique de structures minces composites d'une manière particulièrement rigoureuse. Des structures simples (plaques, poutres ...) sont étudiées durant des TD. Un accent particulier est mis sur l'étude des structures sandwichs très employées dans l'industrie. Enfin, les phénomènes d'endommagement et de rupture spécifiques à ces matériaux stratifiés sont abordés.

Matériaux Composites

Modalités d'évaluation
Interrogation écrite.

Période : Automne
Nombre d'heures : 24
Crédits ECTS : 1
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Mécanique 1 - Milieux continus

Objectifs: Mise en place des outils de modélisation en thermomécanique des milieux continus. Formulation générale des lois de comportement des matériaux. Résolution de problèmes aux limites d’élasticité linéarisés.

Programme: Présentation du milieu continu. Lois de conservation. Schématisation des efforts intérieurs (contraintes). Histoires lagrangienne et eulérienne de la déformation.Notions générales sur les lois de comportement (principe d'indifférence matérielle ; groupes de parité). Description du solide élastique et des fluides.Formulation complète et résolution des problèmes de l'équilibre d'un corps élastique dans l'hypothèse des petites perturbations.

Niveau requis
Algèbre linéaire, analyse fonctionnelle, mécanique du point et du solide rigide

Modalités d'évaluation
Examen écrit.

Période : Automne
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 2
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : vendredi 13 juillet 2012

Mécanique des milieux continus

Permettre d'aborder des problèmes simples d'écoulement et de transferts. Les transferts de matière, de quantité de mouvement et d'énergie sont en effet omniprésents dans la nature (cycle de l'eau, circulation sanguine, bioclimatologie...) et les équipements (drainage, culture sous serres, procédés agro-alimentaires).

On présentera un formalisme unique pour écrire les bilans de matière, de quantité de mouvement et d'énergie, que ce soit sur des systèmes macroscopiques (équations différentielles ordinaires) ou des volumes élémentaires (équations aux dérivées partielles).

Pour formaliser de tels problèmes puis pour résoudre les équations (dans des cas simples) il est nécessaire de maîtriser un certain nombre d'outils mathématiques. Il est demandé aux étudiants de réviser les notions élémentaires de géométrie et d'analyse du niveau du baccalauréat scientifique : géométrie euclidienne, vecteur, matrice, analyse de fonction, dérivée, intégrale. Un test de niveau sera effectué en début de séquence.

Partant de ces bases on introduira des notions sur les fonctions de plusieurs variables, les champs scalaires et vectoriels et la résolution des équations différentielles ordinaires. On se limitera aux

coordonnées cartésiennes et on s'appuiera le plus possible sur des images géométriques.

Puis alterneront cours et travaux dirigés sur les transferts de matière, de quantité de mouvement et d'énergie. Ces 3 points seront traités selon le même plan :
- équation de conservation sur un système macroscopique ouvert
- équation de conservation sur un volume élémentaire
- loi d'état / loi de transfert / conditions aux limites
- combinaison et adimensionnalisation des équations

On abordera de façon un peu plus détaillée le cas particulier des écoulements en charge des fluides incompressibles, domaine très utile pour l'ingénieur.

Modalités d'évaluation
Travail écrit à rendre.

Période : Automne
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 2
École : AgroParisTech
Dernière mise à jour : mercredi 24 septembre 2008

Mécanique quantique

La mécanique quantique est probablement une des aventures intellectuelles les plus fertiles de l'humanité. Elle a permis de déterminer la structure des noyaux, des atomes, des molécules, d'élucider la nature de la lumière, et elle constitue un outil indispensable pour comprendre la physique moderne, des particules élémentaires jusqu'aux étoiles et au Big Bang. Son impact économique est tout aussi important : la plupart des produits de haute technologie (électronique, lasers et optronique, nanotechnologies, télécommunications) sont directement issus de concepts quantiques.

Le but du cours PHY311 est de proposer à l'ensemble des élèves une initiation à la mécanique quantique et à quelques unes de ses applications. Il traitera d'abord de la mécanique ondulatoire. Après avoir présenté les bases de la théorie, on étudiera quelques problèmes à une dimension, comme le mouvement d'une particule dans un puits carré et l'oscillateur harmonique. Cela permettra de dégager la notion d'état quantique et d'introduire les principes généraux de la mécanique quantique en utilisant le formalisme de Dirac. Le fonctionnement des masers et la cryptographie quantique serviront d'illustration à ces principes. Ce cours aura des liens étroits tant avec le cours de mathématiques qu'avec celui de probabilités.

Référence bibliographique :
Mécanique quantique par Jean-Louis Basdevant et Jean Dalibard (2002).
Fiche détaillée
Table des matières
Ouvrage disponible auprès des Editions de l'Ecole Polytechnique.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 28
Crédits ECTS : 5
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 27 juin 2011

Métaux

Le module de connaissance des métaux est l'occasion de présenter cette vaste famille de matériaux. Ce module est un module à très forte composante expérimentale et les séances se déroulent le plus souvent en laboratoire (Navier, LMS).
Ce cours aborde la normalisation des métaux ferreux et non ferreux et comprend une introduction à la métallurgie permettant de classer ces matériaux et de relier le comportement à la composition et au process d'élaboration. Les techniques d'observation des microstructures et d'identification sont présentées.
Le cours traite aussi les principales caractéristiques mécaniques des métaux et les techniques expérimentales permettant d'identifier ces caractéristiques.
En application du cours Mécanique et physique des matériaux les comportements élastoplastiques, la fatigue et la rupture de ces matériaux sont présentés en détail.
Les mécanismes physico-chimiques de corrosion et les techniques de protection sont abordés et le cours fait une large place aux techniques d'assemblage et plus particulièrement au soudage.
Enfin, dans la dernière partie du module, les élèves réalisent un projet qui peut porter sur des sujets tels que la fonderie, la corrosion, l'étude de poutres mixtes intégrant de l'acier, ?

Période : Printemps
Crédits ECTS : 4
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : mardi 26 juillet 2011

Méthodes asymptotiques hautes fréquences pour les équations d'ondes

Les équations dondes ont de nombreuses applications physiques et industrielles: acoustique, ultrasons, ondes sismiques, électromagnétisme. La simulation par des techniques déléments ou de différences finies donne dexcellents résultats à basse et moyenne fréquence, mais ces méthodes deviennent très coûteuses à haute fréquence. Les méthodes asymptotiques haute fréquence fournissent en même temps des résultats dautant plus précis que la fréquence est élevée, et une compréhension des phénomènes physiques . Nous présentons les fondements mathématiques et quelques applications de ces méthodes. Nous présentons dabord loptique géométrique , bien adaptée aux très hautes fréquences. Nous montrons

ensuite comment traiter les zones où loptique géométrique échoue, notamment les caustiques, et comment introduire les phénomènes de diffraction, comme la diffraction par les arêtes ou la pénétration des ondes dans la zone dombre de loptique géométrique. Nous détaillons plus particulièrement les méthodes mathématiques utilisées : développements asymptotiques, représentation intégrale des solutions, estimations asymptotiques dintégrales, et illustrons le cours par des applications.

Méthodes asymptotiques hautes fréquences pour les équations d'ondes

Niveau requis
MA 102

Modalités d'évaluation
Examen écrit+ contrôle continu

Période : Automne
Nombre d'heures : 21
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

odes d'analyse statistique et de simulation, expériences et physique des détec

Les deux parties ci-dessous sont relativement indépendantes, et les cours correspondants seront répartis, en alternance, sur toute la période d'enseignement.

Partie A

Ce cours fournira une introduction aux techniques d'analyse de données. Le but est d'exposer les bases des probabilités et statistiques nécessaires pour exploiter les données expérimentales.
Les expériences de physique des hautes énergies peuvent consister soit en des mesures de précision basées sur des grands échantillons de données, soit en la recherche de nouveaux signaux dans des petits échantillons de données. Dans les deux cas, une bonne compréhension des méthodes statistiques est indispensable. Après un bref rappel des notions de probabilités, le cours aura comme principal sujet d'étude la méthode du chi2 dans un problème unidimensionnel, puis dans une situation multidimensionnelle. Le second sujet sera la méthode du maximum de vraisemblance, et des méthodes similaires. Le troisième sujet principal consistera en quelques techniques statistiques utilisées pour les recherches de nouveaux phénomènes. Enfin, une introduction aux analyses multivariées sera donnée.
Les mathématiques requises sont très élémentaires, sauf pour la démonstration des propriétés de la vraisemblance. Des exemples d'applications des techniques seront empruntés aux expériences actuelles et passées.

Bibliographie:
- "Statistical Methods in Experimental Physics”, Second Edition, Frederick James (CERN) World Scientific (2006).

- "Statistical Data Analysis”, Glen Cowan (London) Clarendon Press, Oxford (1998).

Partie B

Les domaines couverts par ce cours sont la conception d'une expérience et de son détecteur, et leur fonctionnement. Le but du cours est de fournir un bagage de haut niveau en vue d'un doctorat en physique expérimental, ainsi qu'un panorama complet pour un doctorat théorique.
La manière dont la science progresse est par des aller-retours entre les résultats théoriques et expérimentaux. La compréhension de ce processus et la manière dont les expériences peuvent fournir des réponses à des questions théoriques est le sujet de ce cours. Le cours présentera d'abord une introduction à la physique des détecteurs utilisés en physique des particules et des astroparticules. Une partie significative du cours sera dédiée à la compréhension de comment les questions théoriques influent directement la conception des expériences et le choix des détecteurs. On s'appuiera sur plusieurs exemples dans différents domaines de cette physique. Cette partie du cours comprendra une revue de la question centrale des erreurs systématiques dans les mesures.
Le cours fournira également une introduction aux logiciels et à l'environnement informatique, aux contraintes industrielles sur les grands détecteurs, à l'organisation mondiale des domaines et au management et à l'organisation de grands projets expérimentaux. Une revue des projets expérimentaux futurs sera donnée.

Bibliographie:
- "Radiation Detection and Measurement", Fourth Edition, Glenn F. Knoll (Univ. of Michigan, Ann Arbor) , September 2010 (2nd ed 1989)
- "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments", A How-to approach , W.R. Leo , Springer-Verlag (2nd edition)

Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : jeudi 03 février 2011

Méthodes de Monte-Carlo

Il s'agit de présenter la méthode de Monte-Carlo et ses applications aux équations aux dérivées partielles telles l'équation de transport (en physique nucléaire) ou l'équation de Boltzmann (en physique statistique). Les séances seront composées de cours magistraux et de travaux pratiques de mise en oeuvre de la méthode sous Matlab.

Méthodes de Monte-Carlo

Niveau requis
Notions de base de calcul des probabilités, de calcul d'intégrales et de discrétisation des EDP

Modalités d'évaluation
Contrôle écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 21
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Méthodes mathématiques de la physique

Ce cours expose plusieurs outils mathématiques permettant d'aborder des problèmes d'ingénierie et de physique courants. Il est également destiné à faciliter l'assimilation d'autres cours de l'école et à donner des bases solides à d'éventuels approfondissements ultérieurs.

Il n'est pas question ici de développer une vision purement mathématique de ces outils mais de retenir leurs propriétés essentielles et de les appliquer à des situations physiques.

Contenus :

Algèbre appliquée à la mécanique quantique

Transformation de Fourier

Equations aux dérivées partielles

Probabilités et statistiques

Niveau requis
L2

Modalités d'évaluation
Examen écrit, documents autorisés, durée : 1h30

Période : Automne
Nombre d'heures : 28
École : Chimie ParisTech
Dernière mise à jour : vendredi 14 janvier 2011

Minéralogie descriptive et appliquée

Objectifs: Les objectifs de cet enseignement sont essentiellement de: connaître et identifier un certain nombre des minéraux parmi les plus courants dans la nature appréhender comment et où se forment les minéraux comprendre comment les propriétés de certains minéraux les rendent potentiellement gênants dans l'activité de l'ingénieur (argiles gonflantes, minéraux solubles ou altérables) ou, au contraire, recherchés pour leur utilité (minéraux industriels, minerais-). comprendre par l'exemple de la minéralogie extraterrestre comment cette science reste moderne et participe à une meilleur compréhension de l'Univers.

Programme: Généralités sur la Minéralogie: place de la Minéralogie dans les sciences de la Terre, relation avec les sciences physiques.Définition du minéral; structure et composition; classificationObservation des minéraux, description des caractères directement visibles ou facilement révélés par des essais physiques ou chimiques simples.Principaux minéraux constitutifs des roches et des minerais.Principaux types de gisements.Minéraux à propriétés physiques remarquables, néfastes ou utiles tels que minéraux argileux, gypse, diamant...Notions de minéralogie extraterrestre.

Modalités d'évaluation
Habituellement, examen oral

Période : Automne
Nombre d'heures : 26
Crédits ECTS : 2
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : dimanche 12 décembre 2010

Modal d'Electronique

Les "Modal" ou MODULES Appliqués en Laboratoire ont pour objectif premier de renverser le sens traditionnel de la pédagogie, en partant des phénomènes expérimentaux pour aboutir à la théorie.

Pour permettre au plus grand nombre possible d'élèves de s'exposer à ce type d'enseignement, deux séries de modal sont proposées respectivement dans les périodes de janvier à avril (P3) et d'avril à juin (P4).

Le centre de Travaux Expérimentaux d'Electronique du Département de Physique organise un modal sur : L'ELECTRONIQUE DES SIGNAUX ET SYSTEMES.

Cet enseignement a pour objectif de faire découvrir aux élèves un domaine scientifique sous-jacent à un objet de haute technologie en privilégiant une orientation projet et une approche d'ingénieur basées sur un travail en laboratoire offrant un large espace de créativité. Il sera ainsi possible d'aborder expérimentalement la physique et les mathématiques cachées derrière des objets de haute technologie tel qu'un DVD, une caméra CCD, un téléphone GSM, un récepteur GPS ou un robot autonome.

Il s'agira plus précisément :
de partir d'un problème d'ingénierie à résoudre (transmission de données, reproduction du son, traitement de la parole ou d'images, localisation par satellite, ou encore comportement d'un robot) en se fixant un objectif et un cahier des charges,
de dégager les concepts scientifiques et les outils opérationnels dans ce domaine, et de se les approprier en les appliquant dans le cadre du projet,
de réfléchir au problème posé et de lui chercher des solutions argumentées (par vous-même, dans la littérature ou avec l'aide des enseignants),
de déterminer la faisabilité de ces solutions, de les modéliser et de réaliser effectivement en laboratoire un système de télécommunications, d'électronique, de traitement du signal ou de robotique et d'évaluer le résultat obtenu.
Tout au long de ce parcours, vous découvrirez ainsi les questions les plus fondamentales du traitement du signal, de l'automatique et de la robotique pour lesquelles un support vous sera fourni sous la forme d'un cours adapté à cette approche. Le cursus proposé, sera organisé en fonction du déroulement du projet en laboratoire qui en constituera le fil conducteur.

Les projets proposés couvrent plusieurs domaines du traitement du signal, de l'électronique et de la robotique :
Télécommunications numériques : transmission simultanée de voix et de données, codage numérique, modulation et transmission radio, correction des erreurs et sécurité des liaisons, intégration au sein d'un réseau de communications.
Traitement numérique du son et de la parole : chaîne d'acquisition, de traitement et de restitution. Effets de l'échantillonnage, de la quantification et de la compression des données, reconnaissance vocale, compression et traitements en temps réel avec un microcontrôleur.
Traitement numérique des images : caméra CCD, filtrage et restauration d'images dégradées, reconnaissance de formes et vision stéréoscopique, compression d'images fixes ou animées (JPEG et MPEG).
Système de positionnement par satellite GPS : Mise en œuvre, traitements avancés et amélioration de la précision, étude des sources d'erreur.
Robot mobile autonome effectuant une tâche définie en se déplaçant dans le laboratoire, ou bras manipulateur associé à un système de vision pour reconnaître et trier des objets. Perception de l'environnement avec des capteurs variés (Infra-rouge, Ultra-sons, Magnétiques, Optiques) et élaboration d'une stratégie comportementale.
Drone : comprendre et mettre en oeuvre les outils d'asservissement en temps réel, de positionnement et de visualisation permettant le contrôle automatique du vol d'un Drone (AR Parot)
Circuits logiques programmables (FPGA) : A travers une chaîne complète de CAO de circuits logiques complexes prédiffusés programmables FPGA (Field Programmable Gate Array), conception d'une application, temps réel, liée au traitement du signal : analyseur de spectre, équaliseur audio.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : jeudi 22 mars 2012

Modal de Physique

Les "Modal" ou MODULES Appliqués en Laboratoire ont pour objectif premier de renverser le sens traditionnel de la pédagogie en partant des phénomènes expérimentaux pour aboutir à la théorie. En suivant une démarche de type projet, l'étudiant apprendra à observer, à mesurer, à faire varier les conditions expérimentales pour s'approprier le phénomène, et ensuite à en étudier la théorie.

Pour permettre au plus grand nombre possible d'élèves de s'exposer à ce type d'enseignement, deux séries de modex sont proposées respectivement dans les périodes de janvier à avril (P3) et d'avril à juin (P4). Pensez à prendre en compte la période de chaque thème (spécifiée ci-dessous) dans votre choix de période de MODAL.

Les sujets proposés (liste non exhaustive) peuvent être répartis en catégories de thèmes :

Science des matériaux :
La science des matériaux est une science plusridisciplinaire, au carrefour de la physique et de la chimie. Les élèves effectueront des allers et retours entre synthèse , caractérisation, et interprétation, dans le but d'améliorer les propriétés physiques des matériaux élaborés.
Synthèse et caractérisation de matériaux supraconducteurs (P4).
Synthèse et caractérisation de matériaux LASER (P3 ou P4).

Sujets plus proches des applications :
Modes vibratoires d'un instrument de musique, étudiés par holographie et à l'aide de capteurs de vibrations (P3).
Résonance magnétique nucléaire (P3) : montage d'un spectromètre et application à un problème de physique (transition de phase) ou de chimie (structure d'une molécule organique).
Emission de lumière et effet laser dans les semi-conducteurs (P4).
Construction et mise en oeuvre d'un gyroscope à fibres optiques (P3).
Instabilités et chaos en hydrodynamique (P3 ou P4).
Dynamique de la "Matière molle" (gouttes, films minces, mousses...) (P4).
Optique des semiconducteurs et applications (photovoltaïques, écrans plats, LEDs)(P4).
Sujets plus fondamentaux :
Etude des interactions fondamentales entre particules. Mise en évidence de la relativité restreinte, de l'annihilation matière-antimatière, ou de la durée de vie d'une particule instable...Imagerie radioactive (P4).
Fabrication de lasers et initiation à l'optique non linéaire (doublage de fréquence : génération de lumière verte à partir de l'infra-rouge) (P4).
Caractérisation et mise en forme d'impulsions femtosecondes (P4).
Génération et détection de rayonnement THz. Application à la biologie (P3).
Pompage optique et spectroscopie par absorption saturée (P4).
Plasmas créés par l'impact de lasers de puissance sur une cible solide ou gazeuse (P3 ou P4).
Effets quantiques dans la conductivité de systèmes quasi-unidimensionnels (jonctions à cassure) (P4).

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 17 mai 2011

Nanomatériaux

Dans le domaine des nanomatériaux, la question qui préoccupe les ingénieurs et les industries est souvent: comment peut-on améliorer la résistance d'un matériau en contrôlant son procédé de fabrication et sa structure à l'échelle du nanomètre? Mais on ne peut envisager de répondre à cette question sans au préalable comprendre comment l'échelle nanométrique détermine les propriétés macroscopiques de matériaux. Dans un souci de cohérence, c'est donc d'abord cette seconde question qui est au coeur de ce cours.
Le cours s'orientera donc autour des deux types essentiels de réponse mécanique, que sont la ductilité et la fragilité.

1.Introduction:
qu'y a-t-il de particulier à l'échelle du nanomètre?
2.Matériaux ductiles et superplastiques:
rappel sur les cristaux: dislocations, énergie d'interaction et propagation de dislocations
défaut dans les nanomatériaux: grains, joints de grains, relation de hall-petch
ductilité, fluage des métaux, superplasticité des céramiques
3.Matériaux fragiles:
bilan énergétique en rupture dynamique: coût énergétique de création de surface, forces de Van Der Walls, vitesse de rupture.
modes de rupture; traitement élastique linéaire des discontinuité, facteur de concentration de contrainte statique et dynamique.
écoulement plastique en point de fissure. Détermination de la ténacité et structure nanométrique.
conception de nouveaux matériaux à haute résistance.
4.Procédés de fabrication:
introduction: procédés physiques (évaporation/condensation), procédé mécaniques, auto-organisation, recuit,...
rappel de thermodynamique d'un mélange : décomposition spinodale.
deux exemples d'applications:
fabrication d'un alliage métallique par contrôle de la croissance de grains
fabrication du verre : courbe de superposition temps-température

Niveau requis
Mécanique physique des matériaux

Modalités d'évaluation
6 séances de 3 heures.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 21

Crédits ECTS : 2
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : mercredi 02 novembre 2011

Nanotechnologies

Ce cours se focalise sur les phénomènes spécifiques des nano-objets, dans le domaine de la dynamique des mouvements atomiques (phonons), du magnétisme microscopique, de la fabrication des nano-objets, et des propriétés électroniques des assemblages moléculaires et nanotubes. Il s'autorise des incursions vers la photonique des microstructures et vers la réalisation de nano-robots.

Nanotechnologies

Modalités d'évaluation
Analyse, synthèse et présentation d'une étude bibliographique

Période : Automne
Nombre d'heures : 48
Crédits ECTS : 3
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Optique de Fourier et holographie

Dans une première approximation loptique peut être convenablement décrite dans le cadre de loptique géométrique : la lumière serait constituée de rayons qui se propagent dune façon rectiligne et peuvent être réfléchis, atténués et réfractés. La formation dune image peut donc être représentée par la projection du plan objet dans le plan image par des simples opérations géométriques. Or, ce formalisme ignore la nature ondulatoire de la lumière : la taille finie des lentilles et ouvertures dans un système optique donne lieu à des phénomènes de diffraction dont il faut tenir compte pour analyser ou concevoir un système optique complexe.Il se trouve que le formalisme de Fourier permet une description particulièrement puissante et élégante de ces phénomènes : le rapport optique entre les plans focaux dune lentille est celui dune transformation de Fourier et lélargissement dun point image en une figure de diffraction détendu finie correspond à une fréquence de coupure dune fonction de transmission.La dernière partie du cours portera sur lapplication de loptique de Fourier dans trois domaines : traitement du signal optique et notamment lholographie.Le cours nous permettra de développer une théorie que sapplique à la propagation de toute onde de nature scalaire et nous retrouverons toutes les notions du traitement du signal analogique. Le cours sadresse donc non seulement aux élèves intéressé(e)s en optique, mais aussi à tous ceux qui

souhaitent tout simplement approfondir leurs connaissances en traitement du signal et en lapplication de méthodes de transformation intégrales en physique et sciences dingénieur.Pour lédition de cette année nous nous sommes arrangés avec lInstitut dOptique – Graduate School où trois séances de travaux pratiques auront lieu au cours desquelles les élèves peuvent se familiariser avec les aspects pratiques de loptique de Fourier, le filtrage spatial et lholographie. Vous pourrez écrire vos propres hologrammes !Le cours EPE13 occupe le créneau ME1.

Optique de Fourier et holographie

Niveau requis
tronc commun

Modalités d'évaluation
contrôle écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 48
Crédits ECTS : 3
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Optique Non linéaire des semi-conducteurs

A faire

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 3
École : Institut d'Optique Graduate School
Dernière mise à jour : jeudi 21 janvier 2010

Optique quantique 2 : photons

Le cours d'Optique Quantique 2 (PHY 562) traite de la quantification du champ électromagnétique, de la notion de photons, et de l'interaction entre la matière et le rayonnement quantifié. Il permet d'aborder les sujets au cœur de l'optique quantique moderne, des états comprimés de la lumière aux sources à un seul photon et aux paires de photons intriqués, qui jouent un rôle essentiel dans le domaine nouveau de l'information quantique.

Sujets traités :

Quantification du champ électromagnétique : formalisme hamiltonien, quantification canonique.
Le rayonnement libre quantifié : états quasi classiques, états comprimés, états à un photon.
Equations de Heisenberg, interférométrie avec des champs quantiques.
Interaction atome-rayonnement quantifié ; émission spontanée
Optique non-linéaire : traitement classique, traitement quantique, paires de photons jumeaux.
Matrice densité et équations de Bloch optiques.
Notion d'intrication, application en information quantique.
Effets quantiques dans l'interaction atome-laser : fluorescence de résonance, dégroupement de photons.
Exemples d'applications en optoélectronique.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 19 mars 2012

Optique ultra-rapide et physique non-linéaire

L'apparition des lasers dans les années 1960 a très fortement renouvelé les thématiques de l'optique : pour la première fois, il devenait possible d'utiliser des faisceaux lumineux à la fois cohérents, et de grande puissance. Des techniques ont alors été inventées pour créer des impulsions lumineuses de très courte durée, permettant de sonder la matière sur des échelles de temps extrêmement brèves (nano-, puis pico- et femtosecondes) de plus, les champs électriques instantanés sont très rapidement devenus suffisants pour induire des effets non linéaires dans la matière. Si on effectue un parallèle avec l'électronique, l'optique pré-laser serait à comparer avec une électronique n'utilisant que des composants simples, passifs, comme les résistances, condensateurs ou inductances, alors que l'optique non-linéaire permet de créer des éléments actifs (tubes, transistors) capables de susciter l'apparition de nouvelles fréquences, d'amplification etc. Le cours se développe dans ces deux directions : optique ultra-rapide et non-linéaire. Il introduit les idées de base sur la création des impulsions courtes, leur caractérisation, leur propagation. Un panorama des phénomènes d'optique non-linéaire est alors présenté, et les principaux expliqués plus en détails. Dans chaque cas, des exemples d'applications scientifiques ou industrielles sont décrites.Les cours EPE11 et EPE12 occupent le créneau ME2.

Optique ultra-rapide et physique non-linéaire

Modalités d'évaluation
contrôle écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 23
Crédits ECTS : 1
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Petites échelles : Le soleil et son environement

Ce cours est une introduction à la physique de lenvironnement des étoiles de type solaire. Après une rapide introduction à la physique des plasmas, le couplageentre les divers phénomènes électromagnétiques et hydrodynamique seront exposés dans le contexte solaire : Champ magnétique solaire, tâches solaires,phénomènes éruptifs, vent solaire …

Petites échelles : Le soleil et son environement

Modalités d'évaluation
Examen Ecrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 27
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Photovoltaïque expérimentale

L'objectif de cet Enseignement d'Approfondissement (EA) est de permettre aux élèves d'aborder de façon concrète le monde de l'énergie solaire photovoltaïque par des activités proches de la recherche. L'enseignement se déroulera au Laboratoire de Physique des Interfaces et de Couches Minces où on étudiera plusieurs aspects de l'énergie solaire :

i) la synthèse de couches minces de silicium amorphe et microcristallin par plasma froid et la réalisation de cellules solaires à base de ces matériaux,

ii) la réalisation et caractérisation de cellules solaires à base de matériaux organiques,

iii) la caractérisation de matériaux semi-conducteurs par diverses techniques complémentaires : ellipsométrie, spectroscopie Raman, AFM,… permettant leur qualification du point de vue des applications

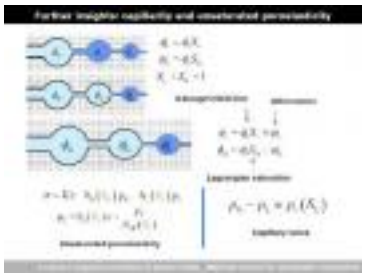
solaires,

iv) la caractérisation complète de cellules solaires : cellules PIN à base de silicium amorphe et microcristallin, cellules à hétérojonction amorphe/cristallin, cellules tandem et cellules à haut rendement à base de GaAs. En particulier, on mesurera leurs caractéristiques courant-tension à l'obscurité, sous éclairement, et leur rendement quantique.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

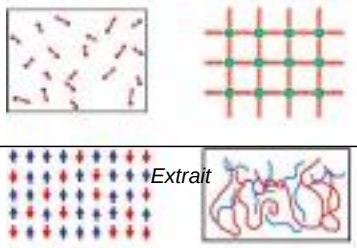
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

Physico-mécanique des milieux poreux



Période : Automne
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 6
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : lundi 19 mai 2008

Physique



Ce cours constitue une introduction à la physique statistique, dont l'objet est de comprendre l'origine microscopique du comportement macroscopique des systèmes constitués d'un grand nombre de particules (états de la matière : solide, liquide ou gaz), jusqu'à des prédictions quantitatives précises. Cette discipline, née avec les développements de la thermodynamique pendant la seconde moitié du dix-neuvième siècle, a reçu un nouvel élan avec l'avènement de la physique quantique au début du vingtième siècle, et a continué à se développer avec succès jusqu'à aujourd'hui, par exemple dans le domaine des transitions de phase, de la matière molle ou des nanomatériaux.

Les premières séances ont pour objet de présenter les outils de base de la description statistique des grands systèmes (dénombrement des micro-états, entropie, fonction de partition). On traite des assemblées de particules sans interaction, isolées puis échangeant de l'énergie ou des particules avec leur environnement. On montre comment l'on retrouve divers comportements thermodynamiques (équation d'état du gaz parfait, élasticité des polymères, défauts dans les solides cristallins, pression osmotique?). On explique ensuite comment cette description doit être adaptée au monde quantique. On discute enfin le rôle des interactions entre particules dans les transitions de phase (liquide-gaz, miscibilité des solutions, magnétisme). Le thème abordé dans la dernière séance est choisi en fonction des attentes des étudiants parmi les sujets suivants : phénomènes de transport, physique des surfaces, propriétés thermiques des matériaux.

Niveau requis
Cours de physique des classes préparatoires.

Modalités d'évaluation
10 séances de 3 h - Cours (1h30) et travaux dirigés (1h30) en petite classe

Période : Automne
Crédits ECTS : 3
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : mercredi 02 novembre 2011

Physique 3 - Noyaux et radioactivité

Objectifs: Cette dernière partie du tronc commun de physique est consacrée à une rapide introduction aux phénomènes nucléaires. Elle fournit une culture de base permettant de comprendre les phénomènes tels que la désintégration radioactive, les propriétés des noyaux, l'énergie nucléaire, l'antimatière ou les particules fondamentales. Ces connaissances revêtent en effet une importance croissante dans notre environnement scientifique, économique et social. L'accent est mis sur les applications, en particulier à la géologie (datation radioactive, nucléosynthèse) et à l'énergétique (combustibles nucléaires, radioprotection). Le cours constitue un ensemble cohérent pour l'ingénieur généraliste, aussi bien qu'une base solide pour les cours spécialisés de Physique Nucléaire ou de Génie Atomique.

Programme: 1) Matière et antimatière : l'espace, le temps la matière et l'antimatière en physique relativiste

et quantique - équations de Klein-Gordon et de Dirac - spin - particules et antiparticules - applications. 2) Constituants de la matière et interactions : les particules élémentaires, leurs charges et leurs interactions - invariance de jauge - le modèle standard. 3) Interaction faible : propriétés générales - désintégrations -symétries discrètes - section efficace - neutrinos. 4) Noyaux et radioactivité : propriétés - réactions nucléaires - énergie de liaison - radioactivité : désintégrations alpha, béta et gamma. 5) Energie nucléaire : matériaux fissiles et fertiles - fission et fusion - protection contre les rayonnements - applications de la radioactivité. 6) Nucléosynthèse : nucléosynthèse stellaire, explosive - effondrement gravitationnel - naines blanches - étoiles à neutrons - expansion de l'Univers - nucléosynthèse primordiale - matière noire - énergie noire.

Niveau requis
L'enseignement s'appuie sur les cours de tronc commun de physique quantique et relativiste et de physique statistique.

Modalités d'évaluation
L'évaluation est faite par un examen écrit.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 12
Crédits ECTS : 1
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : vendredi 08 février 2013

Physique de la matière condensée

RESPONSABLE

Luca Perfetti
LSI, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau cedex
Tél : 01 69 33 45 56 - Fax : 01 69 33 45 54
Mél : luca.perfetti@polytechnique.edu

PRESENTATION

Ce stage de recherche vise à faire découvrir la physique de la matière condensée moderne, qui est à la fois une source inépuisable de sujets de recherche fondamentale mais aussi qui donne lieu à d'innombrables avancées technologiques. La diversité des matériaux, la complexité des structures artificielles que l'on sait fabriquer, les conditions extrêmes auxquelles on peut les soumettre font de la matière condensée une des branches les plus vastes et les plus variées de la physique, ainsi qu'un secteur en perpétuel renouveau car en prise directe avec les dernières technologies.
Le stage de recherche consiste en un stage dans un laboratoire de pointe au sein duquel le stagiaire va se familiariser avec un domaine de la physique en pleine expansion, apprendre de nouveaux concepts, de nouvelles techniques, qu'elles soient expérimentales ou théoriques. Enfin le stagiaire pourra faire lui même l'expérience de ce qu'est la recherche, un domaine où la créativité et l'imagination sont des qualités

essentielles, et sortir des sentiers battus le lot quotidien.
Les stages pourront avoir lieu en France ou à l'étranger.

EXEMPLES DE PROBLEMATIQUES PROPOSEES

- Matériaux aux propriétés étranges, qu'il s'agit d'explorer, de comprendre et modéliser les propriétés et les mécanismes qui en sont responsables : supraconducteurs à haute température critique, échelles de spin, matériaux à magnéto-résistance colossale, matériaux nano-structurés, auto-assemblés, etc. qui soulèvent de nombreuses questions : transitions de phase quantiques, dynamique des corrélations électroniques, fluctuations électroniques et magnétiques, etc.

- Nanostructures et physique mésoscopique : avec des structures artificielles aux dimensions très réduites, on entre dans un monde entre le macroscopique et le microscopique, où la mécanique quantique est reine. Transport électronique cohérent dans des molécules, des nanotubes de carbone, des couches bidimensionnelles de graphène ou de semi-conducteurs ; supraconductivité et magnétisme en régime de proximité ; propriétés statistiques du transport de charge ou de spin ; cellules élémentaires pour l'ordinateur quantique, à bases de jonctions Josephson ou de transistors à un électron ; dynamique des spins dans des nanostructures magnétiques, etc.

EXEMPLES DE TECHNIQUES UTILISEES

Le stagiaire, selon son propre choix, sera confronté à quelques techniques parmi un ensemble très vaste (détection, élaboration, caractérisation) : électronique ultra-bas bruit, résonance magnétique nucléaire, résonance paramagnétique électronique, microscopie optique ultra-rapide, microscopie électronique, rayons X et rayonnement synchrotron, microscopie à effet tunnel ou force atomique, spectroscopie de photons, d'électrons ou de masse, photo-émission, nano-lithographie électronique et nano-fabrication en salle blanche, épitaxie par jets moléculaires, cryogénie, champs magnétiques intenses, hautes pressions, etc.
Les élèves ayant des inclinations plus théoriques pourront effectuer un stage de recherche sur la modélisation ou la simulation de phénomènes modernes en physique de la matière condensée. Les approches théoriques utilisent des méthodes (analytiques et/ou numériques) de la physique statistique et de la mécanique quantique des systèmes ayant un grand nombre de degrés de liberté.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 26 septembre 2011

Physique des lasers

Parmi les « techniques avancées », l'optronique occupe une place croissante et les sources de lumière cohérente ou encore lasers, y jouent un rôle central. Ce cours est une première introduction à la physique sous-jacente à l'effet laser. Son but est d'introduire la notion de laser par quelques modèles physique très

simples et à présenter le minimum de connaissances à acquérir pour raisonner et éventuellement expérimenter.On y étudiera les principaux problèmes liés à l'interaction laser-matière, les cavités résonnantes Pérot-Fabry, les faisceaux Gaussiens et leurs propagation, ainsi que les différents régimes de fonctionnement (continu, déclenché et blocage de modes)Les cours EPE11 et EPE12 occupent le créneau ME2.

Physique des lasers

Niveau requis
tronc commun

Modalités d'évaluation
Contrôle écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 18
Crédits ECTS : 1
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Physique des objets biologiques : du nanomètre au micron

Le " nanomonde " de la cellule est aujourd'hui exploré par des biologistes, chimistes et physiciens. Le domaine évolue vite, propulsé notamment par des avancées dans les mesures physiques et les préparations biologiques (reliées aux nanotechnologies, microfluidique, manipulations de molécules uniques, PCR, clonage etc..) et par des motivations fortes qui vont de la compréhension des processus élémentaires du vivant jusqu'aux applications médicales.
Ce cours d'introduction est consacré à la physique expérimentale et théorique des objets, assemblages et processus biologiques : mouvements aléatoires et dirigés de biomolécules en milieu aqueux, interaction spécifique et auto-assemblage, moteurs moléculaires, puces à ADN et capteurs biologiques.

Niveau requis
PHY432 - Physique quantique et statistique

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 28 novembre 2011

Physique des particules

Objectifs: Ce cours se propose de présenter le « modèle standard » de la physique des particules et des interactions fondamentales, dans ses aspects historiques, théoriques et expérimentaux. On insistera particulièrement sur l’intervention des symétries fondamentales dans la construction de ce modèle. Les développements récents seront présentés, ainsi que les moyens expérimentaux actuellement mis en œuvre dans ce domaine de recherches.

Programme: Ce cours n’insistera pas sur les aspects « calculatoires » du modèle, mais vise plutôt à donner une vision globale de l’état actuel de nos connaissances. Nous aborderons également l’intérêt, pour les sociétés économiquement avancées, de mener ces recherches.Groupes de symétrie et physique des particulesDu tableau périodique aux particules fondamentales : quarks et leptonsLes quatre interactions : gravitationnelle, faible, electro-magnétique et forteAu-delà du modèle standard, dimensions supplémentaires, supersymétrieLe problème de la gravitation.Recherches expérimentales, les accélérateurs de particules, les détecteurs.

Niveau requis
Une connaissance moyenne du cours de mécanique quantique suffit pour suivre ce cours.

Modalités d'évaluation
L’évaluation pourra prendre la forme d’exposés choisis par les élèves.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 12
Crédits ECTS : 1
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : vendredi 29 juillet 2011

Physique des particules avancée

Physique des particules

Période : Hiver & Printemps
Crédits ECTS : 10
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mercredi 16 février 2011

Physique des particules avancée

Ceci est un cours d'approfondissement de Physique des particules élémentaires (PHYS554). Il est particulièrement recommandé aux étudiants de M1 du Master joint EP/ETH "High energy physics" en vue de la deuxième année.
L'objectif du cours est de permettre aux étudiants d'avoir une bonne connaissance du modèle standard de la physique des particules, décrivant les particules élémentaires et leurs interactions, sans négliger pour autant les aspects expérimentaux étayant ce modèle.

Les thèmes suivants sont donc abordés :
- Cinématique relativiste: désintégration de particules, section efficace, espace de phase.
- Des fonctions d'onde aux champs quantiques : équations de Schrödinger, Klein-Gordon, Dirac, Maxwell et leurs solutions. Quelques éléments sur la quantification des champs correspondants.
- Aperçu de l'électrodynamique quantique (QED): introduction à une théorie de jauge, graphes et règles de Feynman, calcul de processus simples, mesure du moment magnétique anormal de l'électron.
- Des hadrons aux partons : expériences de diffusions électron-proton, le modèle des partons.
- La chromodynamique quantique (QCD) : isospin fort, symétrie SU(3) de couleur, modèle des quarks, règles de Feynman.
- Interaction faible et modèle électrofaible : courants neutres et chargés, angles de mélange, matrice CKM, mise en évidence de la violation de la symétrie CP, la symétrie de jauge SU(2)xU(1), calcul de processus simple.
- Le modèle standard : brisure de symétrie spontanée, mécanisme de Higgs, lagrangien final.
- Où se trouve le boson de Higgs? : aspects expérimentaux de sa recherche, état de l'art.

Niveau requis
PHY554 – Physique des Particules élémentaires ,
PHY561 – Champs relativistes

Période : Hiver & Printemps
Crédits ECTS : 10
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mercredi 16 février 2011

Physique des particules élémentaires

La question de savoir de quoi est constituée la matière à l'échelle la plus élémentaire et quel rôle y jouent les interactions fondamentales a toujours excité la curiosité des hommes. Ceci est d'autant plus vrai depuis que nous savons que le domaine de la physique des particules élémentaires a constitué une étape très importante dans l'évolution de notre univers primordial. Les études de l'infiniment petit doivent aussi permettre de mieux comprendre l'infiniment grand.

Il sera question dans ce cours des constituants élémentaires comme les quarks ou les leptons et des différentes forces qui leur sont associées comme l'électromagnétisme, les interactions fortes et faibles. Cet ensemble que l'on nomme le « modèle standard » ne peut être décrit et compris sans le cadre étrange et

fascinant de la théorie quantique à laquelle il faut rajouter les concepts de la mécanique relativiste. Un exemple particulier illustre parfaitement l'aspect mystérieux des particules élémentaires : les neutrinos. Ces particules sont produites en quantité gigantesque aussi bien au cœur du soleil que dans les réacteurs des centrales nucléaires ou dans les couches supérieures de notre atmosphère. Ils n'interagissent avec rien, possèdent une masse quasi nulle et ne sont pas chargés. Ceci n'empêche pas les physiciens d'étudier ces fantômes de l'infiniment petit en les faisant par exemple « osciller » sur des distances de plus de 290 kilomètres.

Une partie importante du cours sera consacrée aux concepts (symétrie, lois de conservation, degrés de liberté interne et dimensions supplémentaires, …) de la physique moderne utilisée avec succès dans l'infiniment petit, aux résultats spectaculaires obtenus auprès des accélérateurs de particules et aux grandes questions fondamentales que l'on continue à se poser après plus de quatre-vingts années de recherche. La mise en évidence expérimentale et sa compréhension théorique de la différence entre la matière et l'antimatière représente un exemple d'enjeu majeur de recherche dans ce domaine de la physique. Notre univers primordial a dû produire une quantité égale de matière et d'antimatière. Se pose alors la question de la « disparition » de l'antimatière dans notre univers actuel qui illustre parfaitement les liens étroits entre la physique des deux infinis.

L'ambition de ce cours est d'introduire de façon simple les concepts de la physique des particules élémentaires sans faire appel à des développements théoriques compliqués. L'enseignement du cours de mécanique quantique de première et deuxième années est suffisant pour suivre ce cours sans effort particulier.

Référence bibliographique :
Introduction à la physique subatomique par André Rougé (2005)
Fiche détaillée
Table des matières
Ouvrage disponible auprès des Editions de l'Ecole Polytechnique.

Niveau requis
PHY431 - Relativité et principes variationnels
PHY432 - Physique quantique et statistique

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

Physique des performances du pneu

Les thèmes abordés dans ce cours permettent d'apréhender le rôle prépondérant du pneumatique dans l'amélioration de la mobilité des véhicules. Au delà des fonctions de base que sont le port de charge et la

maîtrise de la trajectoire, les performances du pneumatique induisent celles du véhicule: comportement général mesuré et perçu, adhérence, consommation de carburant...Le premier cours de Mécanique du pneu a pour objet de décrire les sollicitations de base du pneumatique, qui justifient l'existence des éléments de base de la structure communs à tous les types de pneus.Le second cours présente les différents constituants des mélanges élastomériques et le lien entre les propriétés matériaux et les performances du pneu.Les trois cours suivants abordent certaines des performances principales attendues d'un pneumatique:le comportement du véhicule,l'adhérence,la résistance à l'usure et la résistance au roulement.

Physique des performances du pneu

Modalités d'évaluation
Interrogation écrite

Période : Automne
Nombre d'heures : 18
Crédits ECTS : 1
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Physique des polymères et membranes biologiques

Plan :
1- Polymères et membranes biologiques dans la cellule
2- Polymères en solution, reptation de polymères
3- Réseaux de polymères à deux dimensions
4- Réseaux de polymères à trois dimensions
5- Propriétés physiques des membranes
6- Elasticité de courbure dans les membranes
7- Courbure des membranes cellulaires
8- Fusion des membranes intracellulaires
9- Division cellulaire : coopération entre polymères et membranes

Dans le but de développer des approches quantitatives pour décrypter le fonctionnement cellulaire, des approches physiques ont été appliquées à la biologie cellulaire et sont détaillées dans ce cours. La cellule est un organisme complexe qui change de forme pour se diviser et pour se déplacer grâce à ses constituants dynamiques, les polymères et les membranes.
Les polymères de la cellule sont l'actine, les microtubules, et les filaments intermédiaires, ils sous-tendent la structure de la cellule, son « cytosquelette ». L'étude expérimentale in vitro de ces polymères a permis ces 20 dernières années non seulement de comprendre leurs propriétés mécaniques, mais a aussi apporté des vérifications directes de la théorie des polymères, grâce aux techniques de marquage et de purification développées en biologie. Les membranes cellulaires comprennent la membrane plasmique, qui enveloppe ce cytosquelette de polymères. Mais une quantité plus grande de membrane (80%) est intracellulaire, et constitue l'enveloppe des vésicules qui assurent le transport des réactifs biochimiques pour le bon

fonctionnement cellulaire. La bonne connaissance des propriétés mécaniques des membranes est donc nécessaire pour comprendre les formes des membranes cellulaires ainsi que leur réarrangement dynamique.

Le début du cours sera consacré aux polymères en solution, à la reptation de polymères dans un fondu, et aux propriétés mécaniques et dynamiques des polymères du cytosquelette organisés en gels. Les développements théoriques seront illustrés par des mesures expérimentales. Ensuite, seront détaillées les propriétés physiques et mécaniques des membranes modèles, avec des illustrations expérimentales, et des applications sur la courbure des membranes biologiques. Polymères et membranes seront ensuite intégrés pour comprendre la mécanique cellulaire et comment des polymères comme les microtubules interviennent pour contrôler le trafic intracellulaire et le changement de forme des cellules. Enfin, la coopération entre polymères et membrane sera détaillée dans le cas de la division cellulaire.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : vendredi 09 mars 2012

Physique du Solide

Lorsqu'on cherche à décrire le comportement électrique, magnétique, optique ou thermique des solides, il n'est pas possible, compte tenu du nombre élevé d'atomes par unité de volume d'effectuer une analyse précise à partir du comportement de chaque atome.
La physique du solide permet de construire des modèles qui, s'ils sont vérifiés par des expériences, peuvent être considérés comme représentatifs.
Le formalisme, construit à cette fin, a de nombreuses applications. Des exemples seront donnés dans des domaines variés et parfois apparemment très éloignés de la physique du solide.

Contenu
Premières approches théoriques des propriétés des solides
Modèle de Drude d'un métal (classique)
Modèle de Sommerfeld d'électrons libres (traitement quantique mais sans potentiel cristallin)
Phonons
Zones de Brillouin
Vibrations du réseau cristallin
Chaleur spécifique d'un cristal
Electrons dans un cristal (traitement quantique)
Théorème de Bloch
Modèle d'électrons presque libres
Modèle de liaisons fortes
Conséquence de l'existence des bandes électroniques

Occupation des bandes. Semi-conducteurs, métaux
Semi-conducteurs intrinsèques
Semi-conducteurs dopés
Conductivité électrique (approximation de temps de relaxation)
Propriétés optiques des solides
Phénomènes optiques dans des matériaux massifs
Propriétés optiques des hétéro-structures
Supraconductivité
Aspects historiques
Approches théoriques
Applications de la supraconductivité
Conclusions
Problématiques actuelles et défis de la physique des Solides
Préceptorat
Les systèmes périodiques
Vibrations et phonons
Chaleur spécifique, susceptibilité paramagnétique, l'électron presque libre
Structure électronique du graphène
Les semi-conducteurs et la jonction PN - applications
Transistor à effet de champ et gaz 2D d'électrons
L'effet Hall quantique

Niveau requis
niveau M1 en physique

Modalités d'évaluation
examen écrit (2-3 heures)

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 38
Crédits ECTS : 5
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : mercredi 15 mai 2013

Physique du Solide - Introduction

L'objectif du cours est d'introduire les connaissances générales en physique de la matière condensée. À partir des modèles microscopiques classiques simples, puis en utilisant des approches quantiques plus élaborées, montrer comment il est possible de remonter aux phénomènes macroscopiques observés : conduction électrique ou comportement isolant, transport de chaleur ou
propriétés d'émission-absorption optiques. Le cours se veut un aller-retour continu entre les propriétés et phénomènes de base d écoulant de la nature quantique de solides et les fonctions complexes utiles qui sont au cœur des éléments de l' électronique et de l'optique modernes.

Contenu
Un premier module (2 heures) introduit, à travers le modèle de Drude, la vision classique de la matière. Différents phénomènes de transport d' électrons et de chaleur seront introduits. La conductivité électrique des m étaux sera utilisée pour souligner les points forts et les limites des approches classiques.
Le deuxième module (2 heures) introduit la nature quantique de la matière par l'intermédiaire du modèle des électrons libres de Sommerfeld. Le principe de Pauli débouche sur la statistique Fermi-Dirac et détermine l'ordre électronique. On introduit les notions d'espace réciproque et de niveau de Fermi. L'apparition des bandes interdites est discutée en termes de la diffraction de Bragg des ondes électroniques sur le potentiel périodique cristallin. Les modes de vibrations du cristal (phonons) sont introduits de manière classique. Le module se termine par une conférence (1 heure) sur les spectroscopies modernes des états électroniques.
Le troisième module (3 heures) traite la conséquence de l'existence des bandes interdites sur les propriétés électriques et optiques des semi-conducteurs. Le confinement quantique est proposé comme une voie de contrôle et d'ingénierie des propriétés électroniques de la matière. Le module se termine par une conférence (1 heure) sur les propriétés optiques des semi-conducteurs et le rôle du confinement. Alternativement, une conférence sur le transport d' électrons et de chaleur dans
les circuits mésoscopiques est proposée.
La quatrième partie du cours (2 heures dont 1 heure de conférence) traite le phénomène de supraconductivité. Une conférence introductive portera sur la découverte même de ce phénomène extraordinaire. Une démonstration thermodynamique appuiera la nature quantique de l'effet. Une deuxième partie sera consacrée à la réponse du condensat supraconducteur aux excitations extérieures telles que champs magnétique et électrique. Les applications de la supraconductivité seront évoquées.

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 10
Crédits ECTS : 1
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : mercredi 15 mai 2013

Physique et astrophysique nucléaires

La physique nucléaire est une science fondamentale et une science de l'ingénieur qui joue et continuera de jouer un rôle considérable dans nos sociétés. Dans le contexte de l'épuisement des sols en ressources fossiles, nombreux sont en effet les pays qui envisagent de faire le choix du nucléaire. Au niveau le plus fondamental, les centrales actuelles reposent sur le principe de la fission de noyaux d'uranium. Cette technologie n'est pas sans poser quelques problèmes, en particulier des déchets radioactifs, inévitables produits dérivés des réactions de fission et de capture neutronique, sans mentionner les problèmes de sécurité. Diverses voies, qui font aujourd'hui l'objet de recherches en physique nucléaire sont envisagées pour remédier à ces difficultés. La fission thermonucléaire contrôlée de noyaux légers offre une alternative qui pourrait à terme conduire à la production d'énergie à la fois propre et sure ; la faisabilité et la rentabilité d'un réacteur fonctionnant sur ce principe restent cependant à démontrer. Dans cette course contre la montre, la construction du projet ITER au cours de la prochaine décennie et la mise en œuvre des lasers de puissance dans les années à venir marquent des étapes cruciales.

La compréhension des choix technologiques établis ou des recherches menées aujourd'hui repose sur les notions fondamentales de la physique nucléaire : structure et stabilité des noyaux, radioactivité et processus de désintégration, réactions de capture, de fission et de fusion. L'étude de ces mécanismes fera l'objet de la première partie de ce cours de physique nucléaire ; on montrera aussi comment la physique nucléaire conduit aux choix de technologies actuelles ou futures.

Ces notions de physique nucléaire seront approfondies dans une seconde partie du cours consacrée à l'astrophysique, et plus particulièrement à l'évolution stellaire. L'apparence, l'évolution ou la mort des étoiles, ou de leurs restes (naines blanches, étoiles à neutrons) sont en effet dictées par les lois de la gravitation et de la physique nucléaire. Des processus de nucléosynthèse ont également lieu au cœur des étoiles, et produisent ainsi les éléments qui composent le monde dans lequel nous vivons. La compréhension de ces phénomènes permettra de mettre en lumière des notions plus avancées de physique nucléaire, en particulier en ce qui concerne la fusion thermonucléaire.

Référence bibliographique :
Physique et Astrophysique nucléaires par Martin Lemoine et Caroline Terquem (2006)

Energie nucléaire par Jean-Louis Basdevant, James Rich et Michel Spiro (2002)
Fiche détaillée
Table des matièresOuvrage disponible auprès des Editions de l'Ecole Polytechnique.

Niveau requis
PHY431 - Relativité et principes variationnels
PHY432 - Physique quantique et statistique

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 28 novembre 2011

Physique et exploitation des réacteurs REP

A l'issue de ce module les élèves connaitront les éléments principaux du cycle du combustible et les points essentiels liés à l'exploitation des réacteurs à eau légère pressurisée.

Le combustible - son évolution dans les REP 3
Le cycle du combustible 3
Chargement et environnement des composants en service dans les REP 6
Chimie primaire 3

Les accidents par perte de réfrigérant primaire 3
Notions de sûreté 6
Les déchets radioactifs 3
Les filières à neutrons rapides 6
La R&D pour GEN IV 3
Economie du nucléaire 3

Modalités d'évaluation
13 séances de 3 heures

Période : Automne
Crédits ECTS : 8
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : mercredi 14 septembre 2011

Physique nucléaire

Objectifs: L'enseignement spécialisé de physique nucléaire traite du noyau atomique, de ses propriétés, de ses transformations, et des réactions nucléaires. Une partie des cours est réservée ensuite à deux phénomènes importants, la fission et la fusion, et à leurs applications : réacteurs nucléaires, futur réacteur à fission. Nous aborderons également quelques notions d'astrophysique, ainsi que l'état de la recherche fondamentale en physique nucléaire.Ce cours constitue une introduction à l'option Génie Atomique, mais il s'adresse à tous les élèves qui souhaitent comprendre les phénomènes physiques à l'oeuvre dans les noyaux et la radioactivité. L'accent est mis sur la compréhension de la physique, et non sur les calculs afférents.Les élèves désireux d'en savoir plus sur les particules et interactions fondamentales ont ensuite la possibilité de suivre l'enseignement de physique des particules au 6ème semestre.

Programme: Cours n°1 : Introduction- Petit historique Les premières découvertes, la radioactivité, le neutron- Rappels succincts de physique des particules ... Particules et interactions fondamentales Matière - antimatière, quarks et leptons- Généralités sur les noyaux Isotopes, isotones, isobares, dimensions et énergies- Structure du noyau Potentiel nucléaire moyen Modèle en couches Goutte liquide et formule de Bethe-Weizsäcker Énergie de liaison Spin nucléaireCours n°2 : Les transformations des noyaux- Bilan de réaction- Les transformations spontanées : La radioactivité α, β, γ, fission, capture Durée de vie - Réactions nucléaires Fission induite Fusion Autres types de réactions- Section efficaceCours n°3 : La fission et les réacteurs- Fission spontanée et fission induite Réaction en chaîne Convergence/divergence- Les réacteurs à fission Sections efficaces de capture et de fission Réacteurs à neutrons lents Réacteurs à neutrons rapides Contrôle de la réaction Neutrons retardés- Réacteurs hybrides sous-critiques (ADS)Cours n°4 : réacteurs à fission : présent et futur- Réacteurs du futur Surgénérateurs et filière thorium- La physique nucléaire dans le contexte international Les réacteurs dans le monde Approvisionnement Déchets Cours n°5 : La fusion : de l'énergie pour l'avenir ?- Conditions de la fusion Ordres de grandeur Critère de Lawson- Dans les étoiles : confinement gravitationnel - Confinement magnétique Principe du tokamak Procédés de chauffage du plasma- Confinement inertielCours n°6 : nucléosynthèse- Nucléosynthèse Nucléosynthèse primordiale Nucléosynthèse

stellaire Comment sont apparus les noyaux A > 56 ? Les différents processus de nucléosynthèse s, r, p- Éléments de cosmologie Rappels sur le modèle du big bangCours n°7 : La physique nucléaire en dehors de l'énergie- Autres applications de la physique nucléaire Industrie Médecine Art- Recherches fondamentales en physique nucléaire ... Super-lourds, îlots de stabilité Noyaux déformés Frontière avec la physique des particulesCours n°8 : Exposés réalisés par des élèves, sur un sujet au choix, par exemple :- Gestion des déchets- Sûreté des réacteurs- Démantèlement des centrales- Les réacteurs du futur- Certaines applications

Niveau requis
Une connaissance moyenne du cours de Mécanique Quantique et quelques souvenirs des interactions fondamentales suffisent pour suivre le cours de Physique Nucléaire.

Modalités d'évaluation
La note découlera :Soit d'un exposéMaximum 1 ou 2 personne(s) de préférenceBien séparer les parties, les notes peuvent être différentesSoit d'une épreuve ORALE1 question assez générale20 minutes de préparation15 minutes d'exposé5 minutes de questions

Période : Automne
Nombre d'heures : 26
Crédits ECTS : 2
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : jeudi 18 août 2011

physique nucléaire, Neutronique, radioprotection et réacteurs du futur

La première partie de ce cours constitue une introduction. elle vise à introduire les notions élémentaires indispensables à la compréhension des phénomènes régissant la physique des réacteurs et à décrire les premiers effets d'irradiation du combustible sur le fonctionnement du réacteur. Ensuite, le cours de neutronique commence par des généralités sur les réacteurs, introduit les différentes formes de l'équation de Boltzmann, traite la cinétique ponctuelle, l'approximation de la diffusion, le ralentissement, l'absorption résonnante et la thermalisation des neutrons. Il aborde aussi la discrétisation multigroupe de l'équation de Boltzmann en théorie de la diffusion. Il décrit ensuite les phénomènes physiques intervenant dans le fonctionnement des réacteurs (contre-réactions en température, effet Doppler, vieillissement du combustible,...) et étudit leurs conséquences sur la gestion et le pilotage des coeurs. Enfin il donne quelques notions sur les méthodes de calculs de transport des neutrons et sur la théorie des perturbations.L'objectif général n'est pas de former des spécialistes de la physique et des calculs des réacteurs mais de donner une vision précise et correcte des problèmes liés à l'exploitation de l'énergie nucléaire de fission.Ensuite, le cours "Propagation des rayonnements et protection" (neutron et gamma essentiellement) a pour but d'apporter un certain nombre de connaissances de base et une vision générale concernant le traitement des problèmes de Protection contre les rayonnements sous l'angle de la méthodologie, des méthodes de calcul et de modélisation. Le domaine privilégié d'application est celui de l'ensemble du cycle du combustible : enrichissement du combustible, sa fabrication, son irradiation, son transport, son stockage, déconstruction des réacteurs, durée de vie des réacteurs, etc. Mais, d'autres domaines comme ceux de la médecine et du spatial sont également concernés.Finalement, le cours "Aval

du cycle: Systèmes innovants pour le futur du nucléaire".Ce cours est centré autour des différents scénarios pour le futur du nucléaire et de la façon dont la gestion des déchets s'y intègre. Il commence par une description de la situation mondiale actuelle, en décrivant précisément l'aval du cycle et les différentes politiques nationales mises en place, notamment au niveau de la gestion du plutonium.Les divers scénarios du nucléaire sont ensuite décrits, de l'arrêt à court terme jusqu'à un déploiement significatif au niveau mondial dans les décennies à venir. Selon ces différents scénarios, le plutonium peut devenir un déchet ou une matière première précieuse susceptible de remplacer l'U-235 dont les réserves s 'épuiseront rapidement dans le scénario de déploiement massif.

physique nucléaire, Neutronique, radioprotection et réacteurs du futur

Modalités d'évaluation
contrôle écrit des connaissance pour chacune des 4 parties du cours.La pondération des examens est la suivante:Introduction à la physique des réacteurs: 2Neutronique: 4Radioprotection: 1Réacteurs du futur: 1Si il y a lieu, le rattrapage se fera par un examen écrit en fin d'année sur l'ensemble du module avec la même pondération que les 4 examens du module.

Période : Automne
Nombre d'heures : 90
Crédits ECTS : 8
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Physique quantique

Ce cours expose les concepts, postulats et outils de la mécanique quantique, en se concentrant sur ceux indispensables à l’interprétation des propriétés atomiques et moléculaires. Il ne s’agit pas de couvrir tout le champ de la physique quantique mais de retenir les points essentiels en vue des applications en chimie. Il est ainsi destiné à donner des bases solides pour d’autres enseignements et des approfondissements ultérieurs.

A- Description des systèmes quantiques

- une révolution des idées en physique
- les concepts nouveaux : fonctions d’onde, opérateurs, équation de Schrödinger, outils mathématiques

B- Les mouvements dans les molécules

- la vibration
- la rotation – définition et propriétés des moments cinétiques

C- Orbitales atomiques – structure électronique des atomes

- l’atome d’Hydrogène
- vers la structure électronique des atomes et des molécules – méthodes d’approximation

Niveau requis
L2

Modalités d'évaluation
Examen écrit, documents autorisés, durée : 1h30

Période : Automne
Nombre d'heures : 28
École : Chimie ParisTech
Dernière mise à jour : vendredi 14 janvier 2011

Physique Quantique

Le but est de donner une culture de base sur la mécanique à l'échelle des atomes. Cette culture sera ensuite développée dans d'autres cours : en optique, en chimie, en physique des solides, etc. L'esprit du cours consiste à introduire les principes et les concepts qui sous-tendent la physique quantique, et à montrer comment ils s'appliquent pour décrire des expériences.

Contenu
Ondes et particules : niveaux d'énergie
Les principes de la Mécanique Quantique
Les systèmes usuels : oscillateurs, effet tunnel, ...
Les niveaux atomiques
Le moment cinétique et le spin
Préceptorat
Les séances de préceptorat permettront d'aborder de nombreux domaines de la physique contemporaine (fondamentale ou appliquée) où la mécanique quantique joue un rôle majeur.
Dualité "onde - corpuscule". Applications aux sondes de la matière et à l'optique atomique.
Centres colorés dans les cristaux ioniques (centres F).
Méthode W.K.B.. Applications à l'effet tunnel et au modèle de Gamow de l'émission alpha.
Formation de l'Hydrogène moléculaire interstellaire.
Interférométrie de neutrons. Application à la rotation d'un spin et à l'effet gravitationnel.
Etats quantiques factorisables, états quantiques intriqués. Applications aux principes de la téléportation d'un qubit et à la cryptographie quantique.
Travaux pratiques

Pompage optique du Cs et du Rb
Résonance paramagnétique électronique
Résonance Magnétique Nucléaire : doublet de PAKE
Microscope à effet tunnel : imagerie atomique du graphite
Radioactivité et pouvoir de ralentissement
Microscopie à Force Atomique : imagerie de surfaces
Initiation aux techniques du vide

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 40
Crédits ECTS : 3
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : jeudi 02 mai 2013

Physique quantique des électrons dans les solides (introduction à la physique de la matière condensée)

Cours enseigné en anglais
Ce cours est une introduction à la physique de la matière condensée. Il s'agit d'un domaine pluridisciplinaire qui touche à la fois à la physique, la science des matériaux, la mécanique, la chimie et la biologie. L'élaboration de matériaux possédant des fonctionnalités nouvelles est un des moteurs essentiels du progrès technologique (semi-conducteurs, mémoires magnétiques, supraconducteurs, matériaux composites et polymères, nanotubes de carbone, etc…). En utilisant les bases théoriques de la mécanique quantique et de la physique statistique, ce cours s'attache à comprendre comment les propriétés électroniques des matériaux à l'échelle macroscopique résultent de leurs caractéristiques microscopiques, à l'échelle atomique ou moléculaire. Le cours cherche à présenter de manière équilibrée les aspects théoriques, expérimentaux et technologiques.

Programme indicatif : Mécanique quantique des électrons dans les solides cristallins, bandes d'énergie. Métaux, isolants et semi-conducteurs. Quelques techniques spectroscopiques (diffraction des rayons X et des neutrons, microscopie à effet tunnel, photoémission). Notions sur le transport : Drude, Boltzmann. Nano-conducteurs et transport en régime quantique. Introduction au magnétisme et/ou à la supraconductivité.

Cours dispensé en Anglais.

Niveau requis
PHY432 - Physique quantique et statistique

Modalités d'évaluation
Examen ecrit et travail en PC

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4

École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

Physique quantique et statistique

En second semestre de deuxième année, le cours de physique de 18 blocs comportera la seconde partie de la Mécanique quantique (7 blocs), suite naturelle du cours de Tronc commun, et la Physique statistique (11 blocs).

La Mécanique quantique et la Physique statistique sont les deux piliers de la physique moderne.

La Physique quantique est la théorie fondamentale des processus à l'échelle microscopique. Elle a permis de déterminer la structure des noyaux, des atomes, des molécules, d'élucider la nature de la lumière, et elle constitue un outil indispensable pour comprendre la physique d'aujourdhui, des particules élémentaires jusqu'aux étoiles et au Big Bang. Son impact économique est tout aussi important : la plupart des produits de haute technologie (électronique, lasers et optronique, nanotechnologies, télécommunications) sont directement issus de concepts quantiques.

Le cours de Physique quantique, enseigné par Manuel Joffre, est dans le prolongement direct du cours d'introduction à la physique quantique proposé en tronc commun (PHY311). Il commence par la présentation du formalisme de base et son illustration sur quelques systèmes simples. Il aborde ensuite les problèmes à plusieurs degrés de liberté, ce qui mène directement à l'étude de la quantification des moments cinétiques et au concept de spin. Ces concepts sont illustrés par des exemples tirés de la physique atomique et de la résonance magnétique nucléaire, les états intriqués. Le cours se termine par l'étude des systèmes de particules identiques et du principe de Pauli, qui constitue un lien naturel avec le cours de physique statistique.

L'objet de la Physique statistique est d'étudier le comportement collectif de systèmes contenant de très grands nombres de particules. La question fondamentale est d'établir un pont entre les comportements macroscopiques des matériaux et les lois microscopiques qui gouvernent l'évolution de leurs constituants. Tous les solides sont faits d'électrons et d'ions, particules quantiques en interaction Coulombienne ; pourtant certains sont des isolants, d'autres des conducteurs ou des semi-conducteurs, d'autres encore présentent des phases supraconductrices. A l'origine de toutes ces différences on trouve les effets collectifs ; leur compréhension est donc fondamentale pour toute la physique des solides, depuis les composants électroniques jusqu'aux mémoires magnétiques. Dès que l'on traite de grands nombres de constituants, il apparaît des phénomènes nouveaux comme l'apparition des formes, les structures ordonnées, des problèmes de dynamique liés à l'irréversibilité, la vie, qui nécessitent leur propre cadre conceptuel. Initialement développée pour expliquer la thermodynamique, la physique statistique a évolué au cours de ces dernières années vers le modélisation des systèmes complexes, dans lesquels les « particules » peuvent être des agents économiques, des neurones, des « bits » d'information...

Le cours de Physique statistique, enseigné par Marc Mézard et Jean-Philippe Bouchaud, présente les bases de cette matière : description probabiliste, entropie statistique, lien avec la thermodynamique. Puis il aborde la question des particules identiques et les conséquences du principe de Pauli. Les concepts sont

illustrés par des exemples allant de la physique des solides (métaux, semi-conducteurs) à l'étude des propriétés thermiques du rayonnement, mais également par des comportements collectifs de systèmes complexes hors de la physique, allant des biomolécules à la théorie de l'information et aux agents en interactions.

Références bibliographiques :

Mécanique quantique par Jean-Louis Basdevant et Jean Dalibard (2002)
Problèmes quantiques par Jean-Louis Basdevant et Jean Dalibard (2004)
Table des matières
Ouvrages disponibles auprès des Editions de l'Ecole Polytechnique
Physique statistique par Antoine Georges et Marc Mézard
Physique statistique - Exercices et corrigés par Claudine Hermann

Période : Printemps
Nombre d'heures : 72
Crédits ECTS : 10
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

Physique Statistique

L'objectif du cours est de fournir une introduction à la physique statistique. Trois objectifs sont poursuivis :
- Introduire les principes de la physique statistique. Il s'agit d'une approche de la description des phénomènes naturels très particulière et très féconde.
Il s'agit d'une approche permettant d'extraire les lois de comportement moyen de systèmes à l'aide d'une connaissance minimale des propriétés microscopiques de systèmes complexes. La compréhension des principes mis en jeu permet de traiter de nombreux autres problèmes tels que le traitement d'images ou les fluctuations des marchés…
- Utiliser la physique statistique pour retrouver (et comprendre enfin !) la thermodynamique classique.
- Décrire le rayonnement thermique d'une part, le comportement des systèmes électroniques d'autre part à l'aide des statistiques quantiques. Les lois de Bose-Einstein d'une part, de Fermi-Dirac d'autre part sont indispensables à la compréhension de la notion de gain, du fonctionnement des dispositifs à semiconducteur, etc.

1. Cours introductif. Principe fondamental. Irréversibilité.
2. système en contact avec un thermostat. Ensemble canonique.
3. Paramagnétisme.
4. Ensemble Grand canonique.
5. Statistiques quantiques.
6. Rayonnement corps noir.

Modalités d'évaluation

L'examen est en deux parties :
- une partie portant sur des questions de cours d'une durée de 1 heure. Aucun document ni calculatrice.
- un problème d'une durée de 2 heures. Calculatrice autorisée ainsi que tout document papier (polycopié, notes de cours, TD etc.)

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 18
Crédits ECTS : 2
École : Institut d'Optique Graduate School
Dernière mise à jour : lundi 03 mai 2010

Physique statistique des processus irréversibles

Les nouveaux défis dans la production d'énergie et les problèmes d'environnement conduisent à une renaissance en science des phénomènes irréversibles. De nouveaux modèles prédictifs sont nécessaires pour comprendre le comportement d'un système physique soumis à des conditions d'utilisation extrêmes (hautes pressions, effets d'irradiation, turbulence). Ce cours a pour but de fournir aux élèves les éléments théoriques nécessaires à la modélisation physique et à la résolution de tels problèmes. Les notions abordées sont - l'étude d'un système physique au voisinage de l'équilibre thermodynamique- l'étude des processus stochastiques conduisant un système loin de son équilibre thermodynamique- l'étude de ses états statiionnaires

Physique statistique des processus irréversibles

Niveau requis
MA102, MA103

Modalités d'évaluation
Contrôle écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 21
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Planètes extrasolaires : détection et formation

La découverte récente de planètes géantes autour d'étoiles de type solaire a porté l'étude de la formation des planètes au premier rang de la recherche en astrophysique. Les objets détectés jusqu'à présent ont des masses qui vont de quelques masses terrestres à quelques masses de Jupiter, et sont situés sur des orbites dont le demi grand-axe est compris entre quelques centièmes d'unités astronomiques et 3-4 unités astronomiques. Certaines de ces orbites ont des excentricités très importantes. Les caractéristiques des orbites des planètes extrasolaires sont donc dans beaucoup de cas très différentes de celles des planètes de notre système solaire. Dans cet approfondissement, nous étudierons en détail les caractéristiques des planètes extrasolaires et les théories développées actuellement pour expliquer ces objets.

Les quatre premières séances de cet approfondissement sont consacrées à une présentation des observations et des théories relatives aux planètes extrasolaires :
Méthodes d'observation des planètes extrasolaires, caractéristiques des objets détectés jusqu'à présent.
Théories de formation des étoiles et des disques protoplanétaires.
Théories de formation des planètes terrestres et géantes.
Interactions gravitationnelles entre les planètes et le disque dans lequel elles se forment : migration des planètes; recherche de la vie extrasolaire.
Les quatre dernières séances sont consacrées à un travail bibliographique sur un sujet au choix en relation avec les planètes extrasolaires ou les planètes de notre système solaire.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 14 mars 2011

Projet de Physique

Ce module d?enseignement, ouvert aux étudiants des départements IMI et GMM, constitue une introduction à la mécanique quantique par la simulation numérique.
À l?issue du module, les étudiants sauront calculer numériquement les propriétés électroniques de systèmes modèles : atome et molécule simple. Les étudiants auront également appronfondi, par la réalisation d?un projet numérique, leur compréhension de phénomènes physiques ne pouvant être décrits classiquement: effet tunnel, énergie du point zero et bandes d?énergie des semiconducteurs.

1. cours d?introduction: dualité entre ondes et particules, postulats de la mécanique quantique, particule dans un puit de potentiel.
2. travail dirigé : un sujet à choisir parmi les différents sujets proposés, sous la forme d?un devoir préparant la partie autonome.
3. projet autonome : un sujet à définir en concertation avec les enseignants et à traiter dans la continuité du travail dirigé.
Exemples de sujets traités les années précédentes: maser (microwave amplification by stimulated emission of radiation) à ammoniaque, niveaux quantiques à travers la table périodique, structure de bandes d?alliages semiconducteurs, schémas numériques pour l?équation de Schroedinger forcée.

Niveau requis
Cours de calcul scientifique de première année. Cours d?informatique et logiciels scientifiques de première année.
Cours de mécanique quantique de première année (recommandé). Cours de modélisation, programmation et simulation de deuxième année IMI (recommandé).

Modalités d'évaluation
1 séance d?introduction (3h), 2 entretiens (1h) durant la partie dirigée, 2 à 4 entretiens (1h) durant le partie autonome.

Période : Printemps
Crédits ECTS : 6
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : mardi 26 juillet 2011

Propagation dans les guides d'ondes.

On s'intéresse aux phénomènes de propagation et diffraction d'ondes dans des domaines, appelés guides fermés, qui sont infinis dans une direction (l'axe du guide) et bornés dans les directions transverses. Ainsi par exemple, une canalisation est un guide pour les ondes acoustiques, un cable coaxial est un guide pour les ondes électromagnétiques et une barre élastique est un guide pour les ondes élastiques.Nous introduisons dans ce cours la notion de modes, essentielle pour décrire la propagation dans un guide parfaitement uniforme.Nous présentons ensuite différents modèles mathématiques permettant de simuler numériquement des guides non uniformes. .

Propagation dans les guides d'ondes.

Niveau requis
MA102, MA201 Le cours EPE15 n'est pas un pré-requis mais il aidera les élèves qui l'auraient suivi.

Modalités d'évaluation
Contrôle écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 21
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Rayonnement et Climat

Les échanges d'énergie par rayonnement conditionnement notre environnement atmosphérique. L'absorption des ultraviolets solaires dans la haute atmosphère est à l'origine de la couche d'ozone, de l'existence d'une stratosphère, de l'ionosphère, etc. Le transfert radiatif, la diffusion par les aérosols ou les nuages jouent sur l'équilibre thermique de l'atmosphère.

Ce cours vise à comprendre ces mécanismes ainsi que leurs perturbations d'origine anthropique tels que l'amplification de l'effet de serre, le "trou" de la couche d'ozone, les effets de la pollution et des aérosols, etc. Les effets sur l'équilibre énergétique global du climat d'autres phénomènes majeurs comme la convection et le cycle de l'eau sont également traités, avec une attention particulière à leur caractère stabilisant ou déstabilisant.

On introduira un panel assez large de notions généralistes (diffusion, absorption, rayonnement de corps noir, cycle diphasique de l'eau, équilibre thermodynamique, radiatif, chimique…) que l'on appliquera à cet environnement atmosphérique. L'étude de chacun de ces phénomènes n'étant pas la finalité première de ce cours, nous nous contenterons pour chacun d'eux du niveau de détail suffisant pour ces applications.

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

Rayonnement et matière

Objectifs: Le but de ce cours d'électromagnétisme est d'établir l'origine du rayonnement, de mettre en évidence certaines de ses manifestations, et, surtout, d'étudier ses interactions avec la matière. Le plan adopté marque trois étapes :l'étude des fondements, en établissant que l'origine du rayonnement est tant dans la propagation à vitesse finie de la lumière (potentiels retardés-) que dans l'accélération des charges (potentiels de Liénard-Wiechert, rayonnement dipolaire-), et en terminant par quelques exemples et conséquences ;l'étude des interactions du rayonnement avec la matière considérée comme un milieu constitué de composants microscopiques discrets (électrons, atomes...), en adoptant successivement une description classique, permettant en particulier de faire apparaître la notion de fonction de structure, puis un point de vue quantique (le rayonnement continuant à être décrit de façon classique) ;l'étude des interactions du rayonnement avec la matière considérée comme un milieu continu, conduisant aux relations de dispersion (perméabilités diélectrique et magnétique, indice optique-) et à la description de la propagation des ondes électromagnétiques dans divers matériaux (métaux, diélectriques, corps anisotropes, plasmas, optique non linéaire-).La démarche pédagogique est une tentative de compromis entre la rigueur du cheminement logique et la perception intuitive de la réalité physique ; de nombreux exemples concrets sont abordés.

Programme: Têtes de chapitres RAYONNEMENT - LES FONDEMENTSÉléments de relativité restreinte :

Éléments de cinématique relativiste - Les forces en relativité.Origine du rayonnement : Potentiels retardés - Potentiels de Liénard-Wiechert - Approximation dipolaire - Rayonnement dipolaire.Quelques manifestations du rayonnement : Première observation des ondes électromagnétiques- Production et classification des ondes électromagnétiques - Mouvement périodique sinusoïdal - Antennes - Oscillateur amorti - Rayonnement du « corps noir » - Guides d'ondes - Cavités résonnantes - Rayonnement synchrotron - Bremsstrahlung - Rayonnement Chérenkov - Rayonnement d'ondes de gravitation.INTERACTIONS RAYONNEMENT / MATIÈRE - POINT DE VUE CLASSIQUEDiffusion par un ensemble de charges : Théorie générale - Fonction de structure.Exemples : Diffusion cohérente - Diffusion par un corps homogène - Diffusion par un cristal parfait - Diffusion « Brilloin » - Diffusion incohérente - Diffusion Rayleigh - Diffusion de Mie - Origine microscopique de l'indice optique et de la réflexion et de la réfractionINTERACTIONS RAYONNEMENT / MATIÈRE - POINT DE VUE QUANTIQUEPerturbations dépendantes du temps - Changement de niveau d'énergieRègles de sélection sur les moments cinétiques - Transitions dipolaires et quadripolairesMoment dipolaire induit par une onde électromagnétiqueÉLECTRODYNAMIQUE DES MILIEUX CONTINUSÉlectrostatique des diélectriques : Perméabilité et susceptibilité - Lien entre propriétés microscopiques et macroscopiques (formule de Clausius-Mossotti) - Molécules polaires (polarisation d'orientation).Magnétostatique : Perméabilité et susceptibilité - Ordres de grandeur - Le diamagnétisme.Propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu continu : Rôle fondamental de la conservation de la charge électrique - Équations de Maxwell dans la matière - Interprétation physique - Lien entre H, D, E et B - Relations de dispersion.Propagation des ondes dans les diélectriques : Indice complexe - Modèle de Thomson -Propagation des ondes dans les métaux : Équation de propagation des ondes - Réflexion d'ondes électromagnétiques sur les conducteurs - Pression de radiationPropagation de la lumière dans les milieux anisotropes : Constante diélectrique d'un corps anisotrope - La biréfringence (cristaux uniaxes, cristaux biaxes) - Polarisation des ondes réfractées - Application (le « Nicol »).Propagation des ondes électromagnétiques dans un plasma : Notion de plasma - Fréquence plasma - Plasma froid non magnétisé - Plasma froid dans un champ magnétique - Ouverture vers la physique des plasmas.Optique non linéaire : Définition - Modélisation - Doublement de fréquence - Effet Kerr optique - Interprétation quantique - Solitons.ANNEXESÉquations de Maxwell - Transformation de Lorentz - Le principe de « moindre action ».

Période : Automne
Nombre d'heures : 26
Crédits ECTS : 2
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : dimanche 12 décembre 2010

Relativité et Electromagnétisme

Contenu
Limites de la mécanique de Newton-Galillée
Relativité restreinte
Structure de l'espace temps de Minkowski (quadrivecteurs, causalité)
Cinématique relativiste
Dynamique relativiste
Electromagnétisme

Equation de Dirac (spin de l'électron, antimatière)

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 3
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : jeudi 02 mai 2013

Relativité et principes variationnels

Le programme comporte : la relativité, les principes variationnels et la mécanique analytique.

Les objectifs de ce cours sont de nature diverse. Objectif culturel, pour les élèves intéressés par des aspects du progrès conceptuel de la physique, sans forcément vouloir continuer des enseignements de physique par la suite. Objectif utilitaire : d'autres disciplines, comme les mathématiques pures et appliquées, ou la mécanique, font appel aux notions abordées dans ce cours. Souci, enfin, d'élargir les connaissances en physique ciblé surtout à ses aspects fondamentaux. Nous avons délibérément choisi pour ce cours une thématique différente et complémentaire à celle du cours de physique de second semestre pour que les élèves aimant la physique puissent en apprendre davantage en suivant ce cours de premier semestre.

Référence bibliographique :

Introduction à la relativité par David Langlois (2011)
Introduction à la relativité par André Rougé (2000)
Ouvrage disponible auprès des Editions de l'Ecole Polytechnique.
Principes variationnels et Mécanique analytique par Jean-Louis Basdevant, Christoph Kopper (2011).

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : vendredi 20 janvier 2012

Relativité générale

Ce cours constitue une introduction à la relativité générale, la théorie relativiste de la gravitation.

Le cours commencera par une brève présentation de la relativité restreinte et des motivations qui conduisent à aller au-delà de la théorie newtonienne de la gravitation. Seront ensuite introduits les outils géométriques indispensables à l'étude de la relativité générale : le calcul tensoriel, la notion de dérivée covariante, les tenseurs de courbure. Ces éléments permettront d'écrire les équations d'Einstein, qui déterminent la géométrie de l'espace-temps en fonction de la distribution de matière.

La seconde partie du cours sera consacrée aux diverses applications physiques de la relativité générale, avec des illustrations issues de l'actualité scientifique. Nous commencerons par les exemples historiques: le mouvement des planètes dans le système solaire, la déviation des rayons lumineux. Nous étudierons ensuite les astres compacts : étoiles relativistes et surtout trous noirs. Enfin, nous aborderons la cosmologie relativiste et les ondes gravitationnelles.

Niveau requis
PHY431 - Relativité et principes variationnels
PHY432 - Physique quantique et statistique

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 10 janvier 2012

Résonance magnétique nucléaire des protéines : entre physique et biologie

Objectifs: Les protéines représentent une classe de molécules présentes dans la quasi-totalité des phénomènes du vivant et représentent les effecteurs des fonctions biologiques au niveau moléculaire. Depuis environ un demi-siècle, l'importance déterminante de la structure tri-dimensionnelle des protéines pour leur fonction n'a cessé d'être confirmée par l'expérience. Parmi les techniques permettant d'établir les structures 3D de protéines en solution, la résonance magnétique nucléaire (RMN) à haute résolution occupe une place de choix, aux côtés des techniques de diffraction des rayons X. Par ailleurs, de nombreuses études récentes tendent à montrer que la structure 3D seule ne suffit pas toujours à expliquer de manière totalement satisfaisante le mécanisme des interactions intermoléculaires et qu'une composante dynamique est également essentielle : les molécules n'ont pas de structure figée et des fluctuations de celles-ci, de plus ou moins grande amplitude et à des échelles de temps variant entre la pico-seconde et la seconde, sont le plus souvent impliquées. Grâce aux techniques de mesure de relaxation de spin, il est aujourd'hui possible de suivre sur une protéine, acide aminé par acide aminé, la dynamique locale et de la relier à la fonction. Le but de ce cours est de présenter le lien entre la physique des spins et les techniques modernes de spectroscopie RMN par transformée de Fourier à deux et trois dimensions, d'une part, et l'étude des mouvements internes des protéines, d'autre part, à l'aide des outils de mécanique quantique et de physique statistique.

Programme: Introduction et historique de la RMN : de la physique des spins à la biologieLes différentes

interactions magnétiques ; leurs liens avec la structure moléculaire. Description classique de la RMN : équations de Bloch (résonance et relaxation) Description quantique de la RMN : introduction de rappels sur la matrice densité Spectroscopie RMN par transformée de Fourier 1D et 2D : notions de base Principe de la détermination structurale des protéines par RMN multi-dimensionnelle Relaxation de spin et dynamique : origine physique et utilisation Interprétation des mesures de relaxation de spin : modèles de dynamique interne des protéines Introduction à d'autres types d'applications de la RMN : imagerie, "métabolomique", ...

Niveau requis
Cours de mécanique quantique et physique statistique (souhaités). Les notions utiles seront rappelées.

Modalités d'évaluation
Examen oral sous forme d'analyse d'article.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 12
Crédits ECTS : 1
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : dimanche 12 décembre 2010

Rhéophysique et matière molle

Dans leur jeune âge, les matériaux à base de ciment ou de plâtre se présentent sous la forme de pâtes visqueuses aux propriétés complexes. La facilitation de leur mise en place en toutes conditions, mais aussi la diminution des nuisances environnementales et la qualité de la structure finale, exigent la maîtrise la plus avancée de leur comportement d'un point de vue physique et mécanique. Les connaissances et les méthodes proposées dans le cadre de ce cours trouvent de nombreuses applications dans la formulation, la mise en forme ou l'utilisation d'un grand nombre de matériaux des industries du génie civil, de l'agroalimentaire, des cosmétiques, ou encore dans la modélisation des écoulements naturels (avalanches, coulées de boue, laves).

1. Bases
    * Colloïdes, tensio-actifs, grains, bulles, gouttes
    * Polymères
    * Rappels de mécanique des milieux continus, principaux comportements mécaniques
2. Applications
    * Rhéophysique des pâtes, des suspensions et des milieux granulaires
    * Rhéophysique des polymères et des tensio-actifs
    * Rhéométrie (plans parallèles, cône-plan, cylindres coaxiaux,…)
    * Ecoulements non-viscosimétriques (étalement, écrasement, mouvement d'un objet) – Rhéométrie « pratique »
3. Compléments
    * Phénomènes particuliers : sédimentation, ségrégation, compaction
    * Séance expérimentale : Rhéométrie par IRM
    * Comportements aux interfaces : mouillage, imprégnation, adhésion

Références bibliographiques :

* R. LARSON, The Structure and Rheology of Complex Fluids , Oxford University Press (1999)
* W.B. RUSSEL, D.A. SAVILLE, W.R. SCHOWALTER, Colloidal Dispersions, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1989)
* P. COUSSOT, J.L. GROSSIORD, Comprendre la Rhéologie - de la circulation du sang à la prise du béton, (EDP Sciences, Les Ulis, 2002)
* P.G. DE GENNES, F. BROCHARD-WYART, D. QUERE, Capillarity and wetting phenomena: drops, bubbles, pearls, waves, (Springer, New York 2004)

Niveau requis
Physique générale

Modalités d'évaluation
Exposé sur article

Période : Automne
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 5
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 26 juin 2007

Simulation multiéchelle et homogénéisation

Le cours présente dans une première partie (1-3) les aspects clefs de la simulation numérique multi-échelles. En particulier, on examinera les techniques d'échantillonnage de moyennes d'ensemble pour le calcul des grandeurs macroscopiques à partir de simulation microscopiques. Ces techniques reposent sur des simulations de type Monte-Carlo, ou sur des simulations de dynamique moléculaire. On regardera comment les paramètres de ces simulations de dynamique moléculaire peuvent être eux-mêmes déduits de simulations à une échelle encore plus microscopique, celle de la structure électronique des matériaux en jeu. Enfin, on montrera des approches multi-échelles très récentes, couplant une description du matériau à l'échelle atomistique avec une description en termes de mécanique des milieux continus. Sur l'ensemble de ces thèmes, au delà de la description des techniques, on s'intéressera aussi a la question de leur fondation mathématique rigoureuse, et de leur programmation efficace. Dans une seconde partie le

cours présente les méthodes de changement d'échelle et d'homogénéisation permettant d'accéder aux lois de comportement mécanique et de transports des milieux poreux.

1.1. Méthodes d'échantillonnage par Monte-Carlo
1.2. Introduction a la dynamique moléculaire : les équations, le calcul des potentiels (classiques, ab initio), les applications
1.3. Analyse numérique des méthodes d'intégration des équations MD, systèmes hamiltoniens, propriétés en temps long
1.4. Echantillonnage de l'espace des phases : notion d'ensembles thermodynamiques, calcul de moyennes d'ensemble par MD,
1.5. Méthodes avancées pour les temps très longs: kinetic monte-carlo, chemins de réactions, événements rares
1.6. Méthodes alternatives a la dynamique moléculaire: équations de Langevin et autres approches stochastiques
2 - Calculs ab initio pour la structure électronique des matériaux
2.1. Introduction a la modélisation quantique en chimie moléculaire
2.2. Hiérarchie de modèles pour le calcul de structures électroniques
2.3. Méthode de la Density Functional Theory (DFT); aspects théoriques et mise en oeuvre
2.4. méthodes pour les systèmes de grande taille: agrégats, biomolécules, matériaux cristallins
3 - Stratégies pour le couplage d'échelles)
3.1. Un exemple de méthode couplant description atomistique et mécanique des milieux continus : la méthode Quasicontinuum
3.2. Enjeux mathématiques et numériques de telles méthodes, avenir.
4 - Transport de masse fluide
4. 1. Transport advectif (lois de de Darcy et de Fick). Couplage entre modes de transport.
4.2 . Interprétation micromécanique des tenseurs de perméabilité, de tortuosité, de dispersion.
5 - Nano-indentation
6 - Poroélasticité et micromécanique
7- Critères de résistance, endommagement et micromécanique

Niveau requis
Mécanique du solide
Mécanique du solide

Modalités d'évaluation
Examen écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 6
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : lundi 19 mai 2008

Surfaces molles

Nous décrivons divers systèmes en matière molle qui ont la caractéristique commune de présenter un grand rapport surface/volume. Dans une première partie, nous présentons ces systèmes élémentaires que sont les gouttes ou les bulles. Nous montrons en particulier comment leur conformation et leur comportement peuvent être ajustés par l'environnement dans lequel on les plonge : ceci couvre les situations de nucléation, de mouillage, d'imprégnation et d'auto-propulsion. Nous discutons également un certain nombre de situations dynamiques, telles que l'étalement des liquides, le dépôt de fluide et diverses instabilités interfaciales.

Mais la matière molle est aussi la science des fluides complexes et nous montrons, dans une seconde partie, quelques exemples de tels matériaux :
(i) les solutions de tensioactifs (adsorption aux interfaces, organisations en volume) ;
(ii) les solutions colloïdales (stabilité, rhéologie) ;
(iii) les solutions de polymères (chaînes idéales ou de Flory, rhéologie des solutions, gels) ;
(iv) les films de savon et les mousses (formation, vieillissement, rhéologie).

Tous ces exemples ont été sélectionnés autant pour leur importance fondamentale que pour les très nombreuses applications où ils interviennent. Car notre but est aussi de montrer dans cet enseignement comment une science pluridisciplinaire a pu se construire à partir de questions pratiques et appliquées.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 28 novembre 2011

Théorie des champs relativistes avancée

Ceci est un cours d'approfondissement destiné à préparer les étudiants de M1 du Master joint EP/ETH "High energy physics" en vue de la deuxième année. Il couvrira les sujets inclus dans le programme de M1 de l'ETH qui ne sont pas traités dans les cours proposés à l'EP pendant les deux premiers trimestres.

- Quantification canonique (Klein-Gordon, Dirac, Maxwel)
- Diagrammes de Feynman en dimension 0 et 4
- Intégrale de chemin
- Propagateurs pour les champs de Schrödinger, de Klein-Gordon, de Dirac et électromagnétique
- Interactions, matrice S, formule LSZ, règles de Feynman pour la théorie phi^4 et/ou phi^3
- Divergences UV à une boucle, régularisation dimensionnelle (Klein-Gordon)
- Renormalisation à une boucle (Klein-Gordon, QED)
- e^+ e^- -> mu^+ mu^- à une boucle. Annulation des divergences infrarouges.
- Transformation de jauge classique

- Quantification des théories de jauge non-ablèliennes, règles de Feynman
- Action effective et potentiel effectif
- Si le temps le permet : Preuve de la renormalisation des théories de jauge non-abéliennes

Bibliographie:
- M.E. Peskin and D.V. Schroeder, An introduction to Quantum Field Theory, Perseus (1995)
- S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields, Cambridge University Press

Période : Printemps
Crédits ECTS : 10
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 15 février 2011

Théorie des Groupes

Utilisation de la symétrieRappel : interaction de deux orbitales atomiques.Recouvrement nul par symétrie.Orbitales Moléculaires de BeH2.Groupe des opérations de symétrieDescription des opérations de symétrie.Eléments de symétrie.Loi de composition.Opération de symétrie inverse.Structure de groupe.Classes d'équivalence.Exemples.Représentation linéaire d'un groupe de symétrieBase de représentation.Représentation matricielle.Réduction d'une représentation.Représentations irréductibles.Eléments de la théorie des caractèresPrincipe.Table de caractère.Produit scalaire.Opérateur de projection. Applications
Calcul des Orbitales Moléculaires OM et représentations irréductibles.Systèmes π de molécules insaturées.Méthode de fragmentation ; exemple de MH4 plan carré.Vibrations moléculairesGénéralitésMouvements moléculairesExemple de H2O Produit tensoriel et applications Définition. Symétrie d'une configuration. Détermination d'une représentation. Calcul d'intégrales ; applications à la spectroscopie.
Structure électronique des molécules
Interactions à deux orbitalesMolécules AH2 linéaires.Molécules AH3 trigonales planesMolécules AH4 tétraédriques.Interactions à trois orbitales Principe d'interaction. Molécules AH. Molécules AH2 coudées Molécules AH3 pyramidales. Molécules complexes Ethane Dication de l'éthylène. HyperconjugaisonChimie de coordinationGénéralités. Structure électronique des complexes ML6 (Oh) et ML4 (D4h). Généralisation : régle des 16-18 électrons. Interactions fragment métallique ML5/ligand. Donation π ; rétro-donation. Struture électronique du dimère L5M-ML5.

Période : Automne
Nombre d'heures : 21
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : jeudi 27 mai 2010

Théorie du champ classique

A partir d'une reformulation géométrique de la mécanique du point, nous montrerons comment elle peut s'envisager comme une base fondatrice de la physique théorique moderne. Nous suivrons alors ce fil conducteur pour élaborer une théorie des champs classiques : l'électromagnétisme et la gravitation. Cet édifice hautement symétrique nous permettra de mieux comprendre les liens étroits qui peuvent exister entre divers domaines de la physique trop souvent abordés de façon disjointe.

Théorie du champ classique

Niveau requis
Aucun

Modalités d'évaluation
A voir avec l'enseignant

Période : Automne
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Théorie quantique des champs avancée et introduction à la théorie des cordes

Le cours de théorie quantique des champs avancée et introduction à la théorie des cordes sera divisé en deux parties d'importance à peu près égale.

La première partie couvrira quelques éléments de théorie des champs avancée

Le point de vue de Wilson sur le groupe de renormalisation
Solitons (kinks, monopoles magnétiques, états BPS)
Dualité en théorie quantique des champs
Première approche aux anomalies et leur relation avec les théorèmes de l'index

Anomalies: détails
Instantons et leur lien avec les anomalies. Application à la QCD
Techniques de grand N

La seconde partie consistera en une introduction élémentaire à la théorie des cordes. On essayera de couvrir les sujets suivants:

Pourquoi la théorie des cordes?
Cordes relativistes classiques
Quantification sur le cône de lumière et méthodes covariantes
Cordes ouvertes et D-branes
Mini-cours de théorie des champs conforme en deux dimensions
Interactions des cordes: amplitudes d'interaction au niveau des arbres, énergie du vide à une boucle
Action effective à basse énergie
Compactification sur le tore, T-dualité
Supercordes, supergravité en D=10 dimensions
Le "paysage" des vides des cordes à 4 dimensions
Une origine de la théorie des cordes à 11 dimensions: la théorie M

Lectures conseillées:

Partie I
Quantum Field Theory in a Nutshell (2d ed.) by A. Zee, Princeton
Quantum Field Theory by M. Srednicki, Cambridge
The Quantum Theory of Fields Vol. II, S. Weinberg, Cambridge
Topological Solitons by N. Manton and P. Sutcliffe, Cambridge

Partie II
String Theory by J. Polchinski, Cambridge
String Theory in a Nutshell by E. Kiritsis, Princeton
Lectures on String Theory by D. Tong, http://arxiv.org/abs/0908.0333

Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : lundi 07 février 2011

Thermodynamique

Objectifs: Consolider les connaissances de thermodynamique acquises en classes préparatoires pour permettre leur emploi dans les nombreux domaines des sciences de l'ingénieur où elles sont d'usage courant. Donner une méthode pour analyser et prévoir le comportement et l'évolution (et pas seulement les équilibres) des systèmes réels. Donner des exemples d'applications pratiques qui peuvent aussi servir

d'introduction aux enseignements spécialisés et d'option. Introduire la démarche de la thermodynamique des processus irréversibles, qui s'occupe des phénomènes de transfert, et s'en servir pour dimensionner des installations industrielles.

Programme: Cours : systèmes ouverts, bilans (masse, énergie, entropie), opérations élémentaires (échangeurs, machines tournantes...), exemples d'installations complètes.Petites classes :cycle de centrale nucléaire, et dimensionnement du condenseur ;installation de désalinisation par osmose inverse ;éruption d'un lac volcanique ;voiture à air comprimé : étude de faisabilité;pompe à chaleur : principe de fonctionnement et amélioration de l'efficacité énergétique

Modalités d'évaluation
Examen écrit.

Période : Automne
Nombre d'heures : 15
Crédits ECTS : 1
École : MINES ParisTech
Dernière mise à jour : dimanche 12 décembre 2010

Thermodynamique Statistique

Ce cours est une introduction aux idées générales et aux méthodes de la physique statistique. On insistera particulièrement sur les concepts de base (entropie, température) et sur la pertinence des méthodes utilisées dans d'autres disciplines comme la chimie ou la biologie. On discutera certains exemples classiques (gaz parfait, paramagnétisme, élasticité des polymères), ainsi que la physique des transitions de phase et des phénomènes collectifs et les statistiques quantiques. On tentera de maintenir un (difficile) équilibre entre approche intuitive des phénomènes et calculs plus rigoureux.

Contenu
Introduction et rappels de thermodynamique
Probabilités et marches aléatoires
Equation de Boltzmann
Physique statistique d'un système isolé: ensemble "microcanonique"
Physique statistique à température constante: énergie libre, ensemble canonique
Physique statistique des sytèmes classiques sans interactions
Physique statistique à potentiel chimique constant: ensemble grand canonique
Gaz parfaits quantiques
Transitions de phase, champ moyen
Equation de Langevin, théorème de fluctuation-dissipation
Préceptorat
Les tuteurs ont une grande liberté de choix des sujets traités. Parmi les thèmes abordés: Le Mouvement Brownien, les phonons, la simulation numérique des transitions de

phase. Le but est à la fois d'approfondir les notions du cours (ce qui complète les Travaux Dirigés) et d'explorer des sujets plus pointus.

Travaux pratiques
 Travaux pratiques communs aux cours de Thermodynamique Statistique et de Thermodynamique Physico-Chimique.

Niveau requis
Une bonne connaissance de la thermodynamique et des mathématiques de base sont requises pour ce cours.

Modalités d'évaluation
L'examen comprend deux parties, une question de cours noté sur 8 points et un problème noté sur 12 points. Aucun document n'est autorisé.

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 42
Crédits ECTS : 3
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : lundi 15 avril 2013

Travaux expérimentaux en physique de l'environnement

Cet enseignement propose une approche expérimentale à des phénomènes liés à la physique de l’atmosphère, avec une attention particulière à des thématiques environnementales.

Plusieurs sujets sont proposés : la mesure in-situ de la physico-chimie atmosphérique avec un instrument de télédétection laser, le LIDAR (Light Detection And Ranging), qui permet l’analyse d’une grande variété de phénomènes atmosphériques, comme l’étude de la pollution atmosphérique par aérosols ou la formation et la dissipation des nuages.

Ces mesures sont effectuées avec le LIDAR du Laboratoire de Météorologie Dynamique de l’Ecole Polytechnique. On propose également d’étudier le potentiel de production des énergies propres, solaire et éolienne, sur le site de l’Ecole Polytechnique grâce à des données de mesures atmosphériques de rayonnement et du vent du SIRTA (Site d’Instrumentation et de Recherche en Télédétection Atmosphérique). Un autre thème proposé consiste à étudier et évaluer la corrélation entre le climat local (exprimé par les données atmosphériques de vent, de couverture nuageuse, de brouillard et de température, disponibles au SIRTA) et les circulations à grande échelle.

Numerus clausus : 16

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

Turbulence [V3C]

La turbulence est présente dans beaucoup d'exemples de la vie courante et dans de nombreuses situations industrielles. Elle reste encore aujourd'hui un problème majeur de la physique fondamentale classique et un enjeu capital en matière de modélisation numérique. Comme tous problèmes non résolus, il existe plusieurs approches. Il y a celles qui consistent à comprendre les mouvements turbulents partir des équations de la mécanique des fluides, celles qui consistent à modéliser la turbulence pour ne résoudre que écoulement moyen, où encore celles de la physique statistique. A chaque fois, elles apportent des éléments de compréhension complémentaires.L'esprit du cours sera donc d'aborder l'ensemble de ces approches. Nous introduirons ce cours par l'équation de la dynamique des fluides, qui contient effectivement tout, mais dont l'essentiel est une non-linéarité qui produit des solutions complexes et sensibles aux conditions initiales. Après un bref rappel sur le nombre de Reynolds, nous entrons dans le vif du sujet par une description statistique des transferts d'énergie au travers des échelles sur les bases de la cascade de Richardson et de la théorie de Kolmogorov. Ensuite, nous verrons comment il est envisageable de modéliser l'écoulement moyen avec l'équation de la dynamique des fluides à partir d'une relation de fermeture : nous étudierons le cas du jet libre. Cependant, la relation de fermeture n'apporte pas d'explication sur la dynamique de la turbulence. On introduira le concept de structures tourbillonnaires qui sont des mouvements dont les extensions spatiales sont finies. Nous étudierons plus particulièrement la dynamique des structures tourbillonnaires en nappes et en tubes qui sont génériques en turbulence, on comprendra entre autre comment la turbulence produit les petites échelles et pourquoi la dissipation est aussi efficace. Finalement nous approfondirons l'approche statistique théorique lors du dernier cours en développant les théories principales et le phénomène de l'intermittence

Turbulence [V3C]

Niveau requis
Bases de la mécanique des milieux continus (forces de surface, forces de volume, fluides Newtoniens, pression). Notion de calcul tensoriel. Transports diffusifs et convectifs.

Modalités d'évaluation
Interrogation écrite

Période : Automne
Nombre d'heures : 21
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Un monde chaotique

Contexte
Les idées et les applications des systèmes non linéaires, quelquefois chaotiques, se sont répandues dans plusieurs disciplines et ont donné un caractère universel à cette grille nouvelle de lecture de l'Univers. L'impact de cette dernière sur un grand nombre de disciplines est considérable. Qu'il s'agisse de défrichage ou d'études détaillées, il n'est guère de science fondamentale ou appliquée qui reste étrangère aux outils et aux idées des systèmes non linéaires : physique (astrophysique, physique quantique, électromagnétisme, mécanique, ?), chimie, biologie, médecine, économie, sciences de l'ingénieur font partie des sciences concernées.
Il est remarquable que des systèmes structurellement simples puissent exhiber une profusion de comportements compliqués et que, réciproquement, le comportement de systèmes complexes puisse être décrit avec une simplicité inattendue. L'identification et la description de l'évolution d'un système donné est à l'origine de recherches soutenues, de progrès importants et d'applications d'intérêt général élevé. L'essor de ce domaine est soutenu par la sagacité des théoriciens et les possibilités de calcul sans cesse accrues des ordinateurs, ou des réseaux d'ordinateurs.
Objectif pédagogique
Ce cours vise à faire connaître et à mettre au travail, à un niveau plutôt élémentaire, les concepts fondamentaux et quelques applications de la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires. L'ensemble aboutit naturellement au chaos et aux phénomènes associés en faisant émerger, au passage, un grand nombre de concepts unificateurs et transdisciplinaires : chaos, bifurcations, fractales, attracteurs, stabilité, espace des phases, sensibilité aux conditions initiales, contrôle et prédiction etc. Il sera ainsi possible de préciser la dynamique qualitative d'un système qui se prête mal à l'analyse quantitative détaillée.
Objectif de formation
Il s'agit d'être capable, en situation, d'identifier la structure d'un système, au-delà des diversités de ses réalisations ; par exemple reconnaître que les équations régissant tel laser et tel écoulement hydrodynamique sont identiques et tout à fait générales ; toute expérimentation sur un système est dès lors " traduisible " en termes de l'autre, ce qui ouvre la possibilité de choisir l'expérimentation physique la plus simple à réaliser. La structure identifiée, il s'agira aussi et surtout de savoir choisir et de savoir utiliser les outils méthodologiques généraux permettant l'étude pratique de ce système.
Quelques autres mots-clés (en vrac) :
Chaos et cosmos, perte de prédictibilité, dimensions non entières, oscillateurs, perturbations, continu et discret, climat, solitons, espace des phases, sections de Poincaré, entropies, automates cellulaires, populations, épidémiologie, déterminisme, crises, universalité, aperçus épistémologiques, transitions de phase ?,

Séances 1 et 2 : Quelques exemples élémentaires
Du linéaire au non linéaire, de la stabilité à l'instabilité.
Premiers exemples : pendules, proies et prédateurs, cinétiques.
Séance 3 et 4 : Généralisations, concepts opérationnels

Sections de Poincaré, attracteurs réguliers ou étranges, dimensions, bifurcations et codimensions, autosimilarité, fractales.
Séance 5 : Présentation de cas
Présentation de projets : par exemple croissance, système mécanique, réseaux de neurones, épidémiologie, astrophysique, solitons, circuits électriques, ? Présentation de réalisations antérieures d'étudiants.
Séance 6 et 7 : Travaux personnels encadrés
TD devant ordinateurs (voir plus bas) : préparation (encadrée) du travail personnel.
Séance 8 : Outils méthodologiques généraux
Méthodes mathématiques d'analyse.
Séances 9 et 10 : Mises en commun et discussions
Présentation des travaux. Bilans.

Niveau requis
Cours de niveau CPGE. Rudiments de calcul scientifique

Modalités d'évaluation
Dix séances de trois heures chacune : Six séances de cours, deux séances de TD et deux séances de présentation de travaux personnels encadrés.

Période : Automne
Crédits ECTS : 3
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : mercredi 02 novembre 2011