Catalogue des cours sélectionnés

1 : PHY576 Approches théoriques aux propriétés quantiques des matériaux
2 : PHY584 Aspects expérimentaux de la physique subatomique et de l'astrophysique
3 : PHY663 Astroparticules, astrophysique et cosmologie
4 : PHY592 Astrophysique et cosmologie
5 : PHY551B Atomic and molecular physics
6 : PHY662 Au-delà du modèle standard, supersymétrie et supergravité
7 : PHY556 Bases physiques des comportements mécaniques des solides
8 : PHY561 Champs relativistes
9 : PHY591 Champs, particules et matière
10 : PHY559 Conception de circuits intégrés numériques et analogiques
11 : PHY581C Conception expérimentale Microélectronique VLSI
12 : PHY573A Conception expérimentale Micro & Nanoélectonique
13 : PHY560B Conduction quantique et physique mésoscopique
14 : PHY574 Cosmologie
15 : PHY601BC4 Cours de M2 : Optique non-linéaire et optique quantique
16 : PHY400 Deuxième année
17 : PHY573B Ecrans plats et Electronique flexible
18 : PHY581B Electronique de spin
19 : PHY555 Energie et environnement
20 : PHY558B Energie solaire photovoltaïque
21 : PHY597 Energies
22 : PHY596 Environnement, terre, océan, atmosphère
23 : MAT561 Equation de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux supersolides
24 : MAT581 Equation de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux supersolides
25 : PHY587M Experimental Project
26 : MEC585 Explorer la Terre
27 : PHY582 Functional thin films and active surfaces : research and innovation
28 : PHY569A Fusion thermonucléaire
29 : MAT575 Groupe de symétrie en physique
30 : PHY575 Groupes de symétrie en physique
31 : EXT612L Institut d'Optique graduate school (ex-Ecole Supérieure d'Optique) : cursus des polytechniciens
32 : EXT602L Institut d'Optique Graduate school (ex-Ecole Supérieure d'Optique) : présentation
33 : EXT652L Institut d'Optique graduate school : recherche
34 : PHY000 L'enseignement de la Physique et la recherche à l'Ecole polytechnique
35 : PHY572 Lasers, optics and plasmas
36 : PHY594 Lasers, optique quantique, plasmas
37 : PHY661 Le modèle standard - interactions électrofaibles et fortes
38 : PHY577 Magnétisme et supraconductivité
39 : PHY570 Materials design

40 : PHY311 Mécanique quantique
41 : PHY642M4S Mécanismes de formation de motifs ou comment les microstructures apparaissent
42 : PHY664 Méthodes d'analyse statistique et de simulation, expériences et physique des détecteurs
43 : MEC647M4S Milieux désordonnés et outils physiques
44 : PHY442 Modal d'Electronique
45 : PHY441 Modal de Physique
46 : PHY641M4S Modélisation Multiéchelle des Matériaux
47 : PHY564B Nanomaterials and electronic applications
48 : PHY562 Optique quantique 2 : photons
49 : PHY587 Optique quantique expérimentale
50 : PHY564C Optoelectronics
51 : MEC502 PA : Energies du XXième siècle
52 : PHY589 Photovoltaïque expérimentale
53 : PHY579 Physique de la conversion directe et du stockage de l'énergie
54 : PHY595 Physique de la matière condensée
55 : PHY567 Physique des composants semi-conducteurs
56 : PHY552B Physique des objets biologiques : du nanomètre au micron
57 : PHY5802 Physique des particules avancée
58 : PHY554 Physique des particules élémentaires
59 : PHY565 Physique des polymères et membranes biologiques
60 : PHY553 Physique et astrophysique nucléaires
61 : PHY432 Physique quantique et statistique
62 : PHY653_RST Polymères pour le photovoltaïque
63 : PHY300 Première année
64 : PHY581A Projet de recherche en Laboratoire
65 : PHY571A Projet de recherche en Laboratoire
66 : PHY551A Quantum optics 1 : lasers
67 : PHY552A Quantum physics of electrons in solids (introduction to condensed matter physics)
68 : PHY600 Quatrième année
69 : PHY550 Rayonnement et Climat
70 : PHY558A Réacteurs nucléaires
71 : PHY431 Relativité et principes variationnels
72 : PHY568 Relativité générale
73 : PHY563 Sciences des matériaux pour l'énergie
74 : PHY593 Semi-conducteurs et composants
75 : MEC597 Stages de recherche en Energies
76 : PHY590 Stages de recherche scientifique de Physique
77 : PHY557 Surfaces molles
78 : PHY560A Systèmes complexes
79 : PHY564A Systèmes intégrés sur puce
80 : PHY586 Technologie des réacteurs nucléaires et cycle du combustible
81 : PHY566 Terre solide et environnement
82 : PHY5801 Théorie des champs relativistes avancée
83 : PHY665 Théorie quantique des champs avancée et introduction à la théorie des cordes
84 : PHY585 Travaux expérimentaux en physique de l'environnement
85 : PHY500 Troisième année
86 : PHY583 Trous noirs, etoiles à neutrons et phénomènes associés

PHY576 Approches théoriques aux propriétés quantiques des matériaux

Non ouvert en 2012/2013

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

Responsable : Silke BIERMANN, Silvana BOTTI
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 24 juillet 2012

HY584 Aspects expérimentaux de la physique subatomique et de l'astrophysiqu

Enseignants :
- Vincent Boudry (Vincent.Boudry@in2p3.fr)
- Berrie Giebels (giebels@llr.in2p3.fr)

La physique des particules, après une longue période dominée par des mesures de précision tentant de mettre en défaut le Modèle Standard, entre dans une nouvelle phase exploratoire grâce à un renouveau expérimental : avec l'augmentation exponentielle de la luminosité du LHC depuis son démarrage en 2009, l'année 2012 sera l'«année du Higgs» avec l'annonce probable d'une découverte. L'étude de photons et

des rayons cosmiques de très hautes énergies (HESS, FERMI, Auger) a ouvert une nouvelle fenêtre sur l'univers non thermique, qui se montre très riche.

Cet enseignement constitue une introduction à la physique des particules et à ses utilisations en astrophysique, à la fois dans les aspects expérimentaux et théoriques. Il est partagé à parts égales entre des séminaires et un travail personnel, de nature expérimentale ou bibliographique. Les séminaires donneront un aperçu des problématiques actuelles en physique des particules et des techniques instrumentales (accélérateurs et détecteurs), et pour ces derniers de leur conception à partir des principes de base. La génération du rayonnement cosmique de très haute énergie par des accélérateurs astrophysiques, la propagation puis leur détection par des instruments au sol ou embarqués (ballon, satellite) sera également abordé. Finalement un aperçu de la théorie des cordes sera esquissé.

Le travail personnel portera, selon les préférences personnelles, sur des développements techniques ou des analyses en cours au laboratoire Leprince-Ringuet (llr.in2p3.fr) ou, sur une analyse de publications expérimentales récentes.

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

Modalités d'évaluation
• un rapport (~25 pages) par binôme
• un oral individuel de 20 min + 10 min de questions

Responsable : Vincent BOUDRY, Berrie GIEBELS
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY663 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.

Responsable : David LANGLOIS, Mathieu de Naurois
Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
Dernière mise à jour : vendredi 04 février 2011

PHY592 Astrophysique et cosmologie

Responsables :

Martin Lemoine
Tél. : 01 44 32 80 50 / Mél : martin.lemoine@iap.fr

Francis Bernardeau
Tél. : 01 69 08 81 16 / Mél : francis.bernardeau@cea.fr

Autre enseignant :

Roland Lehoucq (Astrophysique)
Tél. : 01 69 08 72 57 / Mél : lehoucq@cea.fr

Le stage de recherche PHY 592 "Astrophysique et Cosmologie" a pour objectif de faire découvrir aux élèves la communauté scientifique qui explore notre Univers, proche ou lointain, en commençant par la terre et son environnement. Ces stages s'adressent non seulement aux élèves souhaitant entrer dans le monde de la recherche, mais également à ceux qui, par curiosité et avant de s'orienter vers une tout autre voie, aimeraient en apprendre davantage sur les sujets fascinants qui sont au cœur de ce domaine de recherche tant fondamentale qu'appliquée.

En Astrophysique (et Cosmologie), la palette des activités est extrêmement vaste : de la mise au point d'un détecteur qui sera placé sur un dispositif d'observation terrestre ou spatial, aux calculs analytiques sur papier du théoricien, en passant par l'analyse des images d'un télescope ou l'utilisation de simulations numériques. L'élève n'aura donc pas de difficulté à choisir un profil d'activité correspondant à ses goûts personnels.

Voici une liste, non exhaustive, de thèmes de recherche qui sont aujourd'hui particulièrement actifs :
1. Planètes extrasolaires
2. Instrumentation astronomique (développement et conception de nouveaux instruments en spectroscopie, polarimétrie, imagerie, interférométrie,…)
3. Astrophysique des hautes énergies (physique des sources « extrêmes » dans l'Univers : noyaux actifs de galaxies, disques d'accrétion et jets, …)
4. Objets compacts (étoiles à neutrons, trous noirs stellaires ou galactiques) et ondes gravitationnelles
5. Cosmologie observationnelle (distribution des galaxies, rayonnement cosmologique de fond, lentilles gravitationnelles, …)
6. Cosmologie théorique (modèles d'inflation, nature de l'énergie noire, nature de la matière noire, …)

Les stages pourront s'effectuer dans un laboratoire de la région parisienne (par exemple le laboratoire Astroparticules et Cosmologie, le CEA Saclay, l'Institut d'Astrophysique de Paris, l'Institut d'Astrophysique Spatiale ou l'Observatoire de Paris), en province ou à l'étranger.

Voici une liste, non exhaustive, de laboratoires d'astrophysique ou de cosmologie en France :
– APC (Astroparticules et Cosmologie), Paris : www.apc-p7.org
– CRAL (Centre de Recherche Astronomique de Lyon), Lyon : www-obs.univ-lyon1.fr
– IAP (Institut d'Astrophysique de Paris), Paris : www.iap.fr
– IAS (Institut d'Astrophysique Spatiale), Orsay : www.ias.u-psud.fr
– IPht (Institut de Physique Théorique) du CEA, Saclay : ipht.cea.fr
– IRFU (Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers) du CEA, saclay : irfu.cea.fr
– LAM (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille), Marseille : www.lam.oamp.fr
– Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, Grenoble : lpsc.in2p3.fr
– Observatoire de Haute-Provence : www.obs-hp.fr
– Observatoire de Midi-Pyrénées : www.obs-mip.fr
– Observatoire de Paris : www.obspm.fr
– Observatoire de Strasbourg : astro.unistra.fr

Pour les stages à l'étranger, il est recommandé de prendre contact le plus tôt possible avec les responsables de ce stage de recherche afin de définir le sujet du stage, les laboratoires d'accueil possibles

et d’entrer en relation avec un éventuel directeur de stage.

Exemples de stages effectués les années précédentes
- Etude du réseau interférométrique O’Hana reliant les grands télescopes du Mauna Kea par fibre optique, Hawaii, USA
- Modélisation de la formation des étoiles, ENS Paris
- Structure des naines brunes, ENS Lyon
- Etude de la réionisation de l’Univers, Columbia University
- Oscillations dans le spectre de puissance des fluctuations de densité, Observatoire Midi-Pyrénées
- Etudes de raies spectrales dans des étoiles de type solaire, San Francisco State University, USA
- Etude d'amas de galaxies avec les données X du satellite XMM Newton, CEA Saclay
- Etude de la population de binaires à rayons X dans la galaxie d'Andromède, Institut Anton Pannekoek, Amsterdam
- Instabilités dans la partie radiative du Soleil, Columbia University, USA
- Interférométrie stellaire, Observatoire de Meudon / Observatoire du Mont Wilson, Californie, USA
- Trous noirs analogues, Rio de Janeiro, Brésil
- Analyse des données du VLT pour l’étude des lentilles gravitationnelles, Caltech, Californie
- Déflagration et détonation dans les supernovae, Barcelone, Espagne
- Cosmologie de bulles en collision, Cambridge, Grande-Bretagne

Responsable : Martin LEMOINE, Francis BERNARDEAU
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : mardi 11 décembre 2012

PHY551B Atomic and molecular physics

Physique atomique et moléculaire

Objectif :
La physique atomique et moléculaire telle qu'on la connait aujourd'hui est le fruit d'une longue histoire de découvertes, tant théoriques qu'expérimentales. Loin de donner une description complète de ces développements historiques, ce cours d'introduction a pour ambition de permettre de comprendre les fondements théoriques ainsi que les grandes étapes qui ont jalonné cette histoire. Ce cours est une application directe de la mécanique quantique et inclut les bases de la physique atomique et moléculaire. Il s'intéresse plus particulièrement à la structure des atomes et des molécules et à leurs interactions avec les champs électriques et magnétiques.

Introduction
- Grandes étapes de l'étude des électrons, des photons et des atomes
- Eléments de mécanique quantique

Atomes à un électron

- Equation de Schrödinger pour les atomes à un électron
- Systèmes hydrogénoïdes
- Interaction avec le rayonnement électromagnétique
- Structures fine et hyperfine
- Interaction avec des champs extérieurs

Atomes à plusieurs électrons
- Approximation du champ central
- La classification périodique des éléments
- Corrections à l'approximation du champ central : couplages j-j et L-S
- Interaction avec le rayonnement électromagnétique et les champs statiques

Structure moléculaire
- L'approxiamtion de Born-Oppenheimer
- Théorie des orbitales moléculaires
- Calcul de la structure électronique
- Rotations et vibrations moléculaires
- Transitions électroniques moléculaires

Cours dispensé en Anglais

Niveau requis
mécanique quantique, mécanique analytique classique

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

PHY662 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

Responsable : Ignatios ANTONIADIS, Marc BESANCON
Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
Dernière mise à jour : jeudi 03 février 2011

PHY556 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.

Responsable : Yann LE BOUAR
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 06 décembre 2012

PHY561 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

Responsable : Pierre FAYET, Christoph KOPPER
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 14 janvier 2013

PHY591 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.

Responsable : Pierre FAYET, Denis BERNARD, Arnd SPECKA
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : jeudi 20 décembre 2012

PHY559 Conception de circuits intégrés numériques et analogiques

La microélectronique est une des aventures scientifiques et technologiques les plus fascinantes de ces 50 dernières années. Le chemin parcouru est immense depuis le premier transistor de taille centimétrique à la fin des années 1940 jusqu'aux processeurs actuels massivement parallèles contenant sur 1cm² plus de 1 milliard de transistors.

Ce cours se propose de faire une approche exhaustive des méthodologies et technologies actuelles et futures de conceptions des circuits intégrés numériques et analogiques.
De manière plus précise, les thématiques abordées seront :
Algèbre de Boole et Portes CMOS
Procédés de fabrication industrielle des circuits CMOS
Circuit séquentiel et automate
Circuits préchargés et mémoires (RAM/ROM)
TP Simulation Electrique / Spice
Transistor analogique & Amplification
Conversion numérique/analogique
Filtrage Numérique & analogique

Modalités d'évaluation
Examen écrit de 3h

Responsable : Yvan BONNASSIEUX, Alain GREINER
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 17 décembre 2012

PHY581C 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

Responsable : Yvan BONNASSIEUX
Période : Hiver & Printemps

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

PHY573A Conception expérimentale Micro & Nanoélectonique

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 offrent 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.

Nano-composants à base de nanotubes de carbone
L'objectif de ce module à caractère expérimental est de mettre en œuvre la conception de transistor à base de nanotubes de carbone. De manière plus détaillée, seront abordées ici la synthèse des nanotubes de carbones par approche CVD, la caractérisation de ces derniers (microscopie SEM et TEM) et enfin la conception et la caractérisation des transistors à base de ces nanotubes. Une partie de ce projet expérimental sera réalisée dans la salle blanche de THALES.

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

Responsable : Yvan BONNASSIEUX
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 03 juillet 2012

PHY560B 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 à aborder simplement 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. Par exemple, il est maintenant possible de fabriquer des échantillons où les électrons se propagent strictement dans une dimension ou deux dimensions, et quasiment sans collision. Il s'agira de comprendre les nouveaux mécanismes mis en jeu aux petites échelles.
On présentera la physique de base du transport électronique à l'échelle méso ou nanoscopique, où les lois macroscopiques ne s'appliquent plus, car les électrons se comportent comme des ondes et des phénomènes d'interférences affectent toutes les propriétés physiques. En introduisant quelques concepts simples liés à la mécanique quantique, on décrira en particulier les phénomènes suivants : effet des interférences quantiques sur le transport électronique, quantification de la conductance, fluctuations universelles de conductance et localisation électronique, ou la physique toute récente du graphène, cristal parfaitement bidimensionnel où la dynamique des électrons est celle de particules sans masse (prix Nobel 2010). On discutera les applications technologiques associées à des différents phénomènes.
Par les analogies qu'il suggère, ce cours sera aussi l'occasion d'ouvertures sur d'autres domaines de la physique comme la propagation de la lumière en milieu désordonné, ou le 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 électrique à l'échelle méso ou nanoscopique ?
Du transport balistique au transport diffusif
La conduction électrique vue comme un coefficient de transmission pour les électrons :
analogies entre la propagation des électrons et celle de la lumère
La physique des électrons sous très fort champ magnétique : l'effet Hall quantique et ses applications

Interférences quantiques dans les systèmes désordonnés
Le graphène : une physique nouvelle et un matériau d'avenir
Un bref détour vers la physique du chaos quantique

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Gilles MONTAMBAUX
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 19 mars 2013

PHY574 Cosmologie

Non ouvert pour l'année scolaire 2012/2013

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

Responsable : Martin LEMOINE
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 18 juin 2012

PHY601BC4 Cours de M2 : Optique non-linéaire et optique quantique

Ce cours est une option proposée en M2 dans le cadre de la spécialité Concepts fondamentaux de la physique. L'objet du cours est d'approfondir différents aspects de l'interaction entre la matière et le rayonnement lumineux, en utilisant une approche semi-classique, puis purement quantique.

Responsable : Manuel JOFFRE, François HACHE
Période : Printemps
Nombre d'heures : 33
Dernière mise à jour : jeudi 12 mars 2009

PHY400 Deuxième année

Dans le cursus scientifique des polytechniciens, la physique a sa place pour au moins deux bonnes raisons.

D'une part, la plupart des technologies de pointe qui nous sont familières et qui occupent de plus en plus de place dans l'économie mondiale, reposent sur des découvertes de la physique : énergie nucléaire, systèmes électroniques et optroniques, spintronique, matériaux composites, etc... Quelle que soit la carrière future des polytechniciens (scientifique, ingénieur, décideur), ils doivent être en état de comprendre et d'exploiter ces technologies et celles qui ne manqueront pas d'apparaître dans le futur.

D'autre part, les succès de la physique au vingtième siècle, résultats de réflexions sur l'interprétation des phénomènes naturels à petite et grande échelles, constituent une aventure intellectuelle de grande valeur culturelle et pédagogique.

Pendant la deuxième année, on vise une introduction aux grandes théories qui sont les bases de la physique moderne : mécanique quantique, physique statistique, relativité restreinte et principes variationnels, ainsi qu'aux domaines d'application les plus simples de ces théories. Cette période comporte également des enseignements expérimentaux introductifs à une grande variété de domaines de la physique, de la science des matériaux et de l'électronique. Enfin, elle inclut, de façon encadrée par un tuteur, un Projet Scientifique Collectif se rattachant à la physique ou à l'électronique.

Les enseignements de physique ont leur place dans l'année scolaire comme suit :
Au premier semestre : cours d'ouverture sur la Relativité et les principes variationnels (cf fiche PHY431).
Au deuxième semestre : grand cours de Physique quantique et statistique (cf fiche PHY432).
Au deuxième semestre : enseignements expérimentaux, appelés Modal (cf fiches PHY441A-B, 442A-B).

Responsable : Philippe GRANGIER
Période : Printemps
Dernière mise à jour : vendredi 21 mai 2010

PHY573B Ecrans plats et Electronique flexible

Parmi les technologies de l'électronique, un nouveau champ s'est fortement développé ces 20 dernières années : les écrans plats et plus généralement l'électronique sur grands substrats (inorganique ou organique). Passant de structures monochromes de faibles dimensions (20cm de diagonale vers 1995) nous sommes maintenant avec des écrans de plus de 2m de diagonale, extrêmement fins, possédant une définition proche de celle de l'œil et permettant la visualisation en 3D.

Ce cours se propose donc de faire un tour d'horizon exhaustif des technologies présentes et futures des écrans plats avec une forte ouverture sur la problématique en pleine croissance de l'électronique organique sur substrat flexible.
• Signal Vidéo analogique (Secam, Pal,...) et numérique (MPEG) et écran CRT
• Cristaux liquides et Écran LCD
• OLED et écran AMOLED
• Écran Plasma, FED, Epaper, LCOS,.....
• Électronique sur grands substrats (silicium et oxyde métallique transparent)
• Électronique Organique sur substrat flexible

Il est à noter que ce cours comporte une forte composante expérimentale en salle blanche. En effet, 3 à 4 séances seront dédiées à la réalisation et à la caractérisation de transistors TFT sur substrats plastiques.

Numerus clausus : 16

Modalités d'évaluation

Examen oral

Responsable : Yvan BONNASSIEUX
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY581B Electronique de spin

Ce cours constitue une introduction au domaine émergent et très actif de la « spintronics » ou « électronique de spin », domaine fondé par Albert Fert et Peter Grünberg (Nobel 2007). La spintronics est une électronique nouvelle qui exploite les propriétés de spin de l'électron, et pas seulement sa charge, à la différence de l'électronique classique. Ce domaine allie physique quantique fondamentale et nanotechnologies. Les dispositifs basés sur la spintronics auront un impact très important sur l'électronique du futur.

Les composants actuels vont des têtes de lectures magnétorésistives, basées sur la MagnétoRésistance Géante (GMR) ou Tunnel (TMR) - qui représentent aujourd'hui un marché considérable puisqu'elles équipent les disques durs de tous les ordinateurs - aux mémoires permanentes magnétorésistives (MRAM) qui entrent aujourd'hui sur le marché. A moyen ou long terme, on vise à développer des transistors SPIN FET, des oscillateurs à transfert de spin, des Spin lasers, des dispositifs destinés à la logique ou au calcul quantique...

L'enseignement est organisé autour de séances de travail centrées sur la physique du spin dans différents matériaux (métaux, isolants, semi-conducteurs), s'appuyant sur l'étude d'articles fondateurs, et de conférences concernant des applications ou des thèmes actuels de recherche. On analysera par exemple la démarche très créative qui a permis de passer d'un concept physique – la TMR – à la réalisation de mémoires MRAM commerciales ou d'unités logiques magnétique (MLU) pour la cryptographie en temps réel. On abordera des domaines variés comme l'injection de spin, les phénomènes locaux et non locaux, le Spin Hall Effect (SHE ou ISHE), la « spin caloritronics »... Des documents de cours seront remis aux élèves à l'issue de chaque séance.

Les thèmes traités aborderont aussi bien des questions de physique très fondamentale que des applications très concrètes.

Stage de recherche : Cet enseignement peut être suivi d'un stage dans le cadre de l'option PHY 593, organisé dans des laboratoires français ou étrangers, en milieu académique ou industriel, dans le cadre de grandes entreprises ou de start-up.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Modalités d'évaluation

Etude et présentation orale d'article(s) dans le cadre d'un séminaire des élèves.

Responsable : Henri-Jean DROUHIN
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 02 avril 2013

PHY555 Energie et environnement

Le sujet général de l'énergie, tant au niveau français que mondial, représente un enjeu considérable en ce début de vingt-et-unième siècle. Il va s'agir de relever dans les prochaines années un nombre important de défis parmi lesquels l'épuisement des ressources fossiles ou les conséquences du réchauffement climatique. La compréhension des concepts liés à l'énergie, de ses aspects les plus fondamentaux à ses différentes formes et nombreuses utilisations, devient essentielle dans la formation d'un ingénieur. Les conséquences sur l'environnement, les changements climatiques, l'utilisation raisonnable des ressources fossiles et les solutions de remplacement doivent être également au cœur de ses préoccupations.

Ce cours est en grande partie un cours de physique générale. Néanmoins, il introduit et développe de nombreux concepts multidisciplinaires liés à l'énergétique, l'économie ou à l'environnement. Il constituera un cours d'introduction pour les élèves qui envisagent une formation en master pour une carrière liée aux problèmes de l'énergie et du développement durable. Il donnera aux autres élèves un aperçu global mais rigoureux d'un sujet essentiel pour comprendre notre société et ses enjeux.

Le cours comprend approximativement trois parties :

1. L'énergie et son utilisation.
Contexte historique. Définitions. Premier et deuxième principes.
Ordres de grandeur et interactions fondamentales.
Les différentes formes d'énergie. Energie utile et rendements.
Epuisement des ressources. Le pic des découvertes du pétrole.
Le contexte français et mondial.
Les conséquences climatiques. Le mécanisme de l'effet de serre.
Emissions de CO_2. Les accords de Kyoto.

2. Les énergies renouvelables.
Différentes solutions : hydraulique, éolienne, solaire, biomasse et autres.
Comparaison des différentes filières dans la production d'électricité.
L'hydrogène comme vecteur énergétique du futur. Le problème des transports.
Leurs enjeux techniques, environnementaux et économiques.
La récente amélioration des filières d'énergies fossiles.
Stockage du CO_2 et autres thèmes de recherche.

3. Un exemple français: l'énergie nucléaire.

Principe des réacteurs actuels et de la future génération 4.
Le cycle du combustible. L'épuisement des ressources. Les perspectives de la fusion.

Responsable : Michel GONIN
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY558B Energie solaire photovoltaïque

- Introduction générale : Le photovoltaïque (PV) dans le contexte énergétique mondial. Evolution du marché PV.

- Introduction à la physique des semiconducteurs cristallins: structure de bande, absorption optique, semi-conducteurs intrinsèques et extrinsèques

- Jonction p-n à l'équilibre et hors d'équilibre, effet photovoltaïque

- Recombinaison, contacts métal/semi-conducteur, hétérojonctions

- Les photopiles et cellules à base de silicium cristallin (c-Si)

- Les semiconducteurs amorphes et nanocristallisés (structure, dopage)

- Les photopiles à base de couches minces silicium et comparaison avec c-Si

- Les autres filières PV en couche mince (CIS, CdTe, organique…)

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Bernard DREVILLON, Joaquim NASSAR
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 03 juillet 2012

PHY597 Energies

Responsables :
Département de Physique
Frank Carré - CEA Saclay - Mél : franck.carre@cea.fr - Tél : 01 69 08 63 41
Pere Roca i Cabarrocas - Ecole Polytechnique - LPICM - Mél : pere.roca@polytechnique.edu -
Tél : 01 69 33 43 14
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 français ou étrangers 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 ou éolienne
- 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.

Responsable : Frank CARRE, Pere ROCA i CABARROCAS, Arnd SPECKA, Patrick LE TALLEC
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : lundi 18 février 2013

PHY596 Environnement, terre, océan, atmosphère

Responsables :

Jean-François ROUSSEL (Département Physique)
ONERA Toulouse
E-mail : jean-francois.roussel@onera.fr
Tél. : 05 62 25 27 35 - Fax : 05 62 25 25 69

Hervé LE TREUT (Département Mécanique)
LMD, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex
E-mail : letreut@lmd.jussieu.fr ou letreut@lmd.polytechnique.fr
Tél. : X -poste 5103 ou 5101

Co-responsable :
Thomas DUBOS
LMD, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex
E-mail : dubos@lmd.polytechnique.fr
Tél. : X- poste 3618

L'option propose des stages dans le domaine de la mécanique des fluides géophysiques, la dynamique de l'océan, de l'atmosphère, ou encore de la géophysique interne. De nombreux stages abordent des problèmes d'environnement, tels que la pollution, la gestion de l'eau, l'impact de la déforestation sur le climat, le changement climatique du à l'effet de serre, la détection de signaux sismiques et les tremblements de terre. Ces thèmes se caractérisent par leur forte interdisciplinarité. Les aspects mécaniques et physiques (parfois chimiques ou biologiques) se mêlent souvent à des questions plus appliquées, relatives aux techniques de la mesure et à l'analyse d'observations globales ou in-situ.

Les stages disponibles sont caractérisés par une triple diversité.

1. Thématique : puisqu'il peut s'agir d'océanographie, de météorologie, d'études de processus locaux (courants côtiers, ondes de reliefs, vagues, avalanches…), d'études globales (climat du passé, prévision des climats du futurs, rôle et étude du processus El Nino, prévision des cyclones, cycle du carbone dans l'atmosphère,), de géophysique interne, ou encore d'études appliqués à caractère industriel (plutôt en

France).
2. Technique: beaucoup de sujets ont une composante numérique importante (permettant souvent une bonne initiation à des langage tels que le FORTRAN ou LINUX), mais certains sont de nature plus expérimentale (qu'il s'agisse d'expériences en laboratoire, de mesures in situ, de données globales ou de mesures spatiales) et d'autres sont de nature plus théorique (théorie des écoulements turbulents, des ondes ou instabilités atmosphériques ou océaniques,…).
3. Géographique : presque tous les pays du monde ont une recherche active dans les domaines concernés par l'option. Des stages sont donc proposés dans de nombreux pays mais aussi en France, à Paris comme en province.

Il est donc demandé aux élèves intéressés de se mettre en contact avec les responsables de l'option pour préciser l'orientation possible du stage.

Voici quelques exemples d'institutions ayant encadré des stages les années précédentes:

* Météorologie : UCLA, MIT, Université de Floride, Université McGill (Montréal), Météo Canadienne (Vancouver), Université de Reading, Université de Hambourg Université McQuarie (Sydney), Météo Australienne (Melbourne), Université de Buenos-Aires, Université de Montevideo, Institut de Physique de l'Atmosphère de Beijing, Université de Tokyo, Cochin University (Indes), IAP (Moscou).
  Mais aussi en France: LMD (Paris-Palaiseau), LATMOS (Paris), LAMP (Clermont-Ferrand), Météo-France (Toulouse)
* Océanographie : Scripps Institution (Californie), Institut océanographique (Palma de Majorque), CSIRO (Hobart, Australie), SOC (Southampton, Grande-Bretagne), AWI (Bremerhaven, Allemagne)
  En France: LOCEAN (Paris), LEGI (Grenoble), Ifremer (Brest)
* Géophysique: IPG (Paris), Total (France), Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe
* Instrumentation : Université de Toronto, DLR (Munich, Allemagne)
  en France: LMD (Paris), le LOCEAN (Paris), SAUR (traitement des eaux, Paris).
* Études théoriques : Cambridge, Oxford, Université de Monash, MIT, Imperial College (Londres),
  en France: LMD, LOCEAN ou INL (Nice).

La quasi-totalité de ces institutions sont prêtes à accueillir à nouveau des stagiaires de l'X: la liste est indicative et non limitative.

Responsable : Hervé LE TREUT, Jean-François ROUSSEL, Thomas DUBOS
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : mardi 06 décembre 2011

quation de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux su

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). Frédéric Chevy interviendra dans ce cours.

Bibliographie
-
Polycopié du cours « Équation de Schrödinger nonlinéaire : des condensats de Bose Einstein aux supersolides.

Responsable : Amandine AFTALION
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 23 avril 2013

quation de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux su

- MAT561 (Equation de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux supersolides)

Chaque séance pourra donner lieu à des approfondissements soit côté mathématiques, soit côté physique. Leur structure sera souple, le travail personnel sur documents jouera un rôle prépondérant, éventuellement précédé de quelques cours d'introduction. Ils conduiront à la rédaction d'un mémoire et à une soutenance orale."

Responsable : Amandine AFTALION
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 18 avril 2013

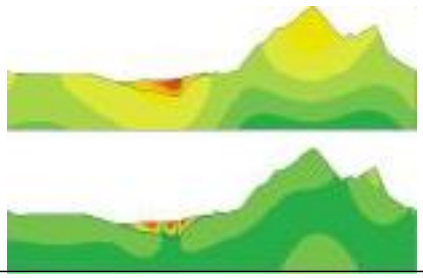
PHY587M Experimental Project

Cours réservé aux étudiants des masters PON et PHE

The purpose of this course is to develop an experimental project so as to understand a physical phenomenon starting from the experimental observations up to the theoretical description. Each project is run by two students together. Three subjects are proposed (depending on the availability, some can be closed):
• Laser physics: This course allows to experimentally study the main properties of lasers. First, a HeNe discharge tube will be used to build a laser by setting up a cavity around it and characterize its operating conditions. Numerical simulations will be proposed to understand the variations of output power with cavity parameters (an open problem : the teacher does not have definitve answers on this issue : the right model has still to be found). Then a laser diode is used to understand the influence of the amplifier properties on the intensity and spectrum of the emitted light. Here too, numerical simulations may be proposed to explain the observed behaviours. Finally, a detailed characterization of the beam (both in intensity and phase surfaces) emitted by a HeNe will be proposed, for comparison with the theory of gaussian
• Nonlinear optics: The purpose of this lab class is to provide an experimental approach to the second harmonic generation (SHG) and the Pockels effect (PE) in KDP. The symmetry properties of the nonlinear tensor at the origin of both effect are of paramount importance, and they show up in both effects, though in very different practical configurations. Moreover, for SHG the generated intensity at 2w strongly depends on phase matching, which will be studied in both colinear and noncolinear geometries. For PE, a setup allowing optical data transmission via electrooptic light intensity modulation will be realized.
• Holography: Holography and holographic interferometry. After an introduction on the holographic techniques and on the holographic interferometry, the experimental activity will be devoted to the application of these techniques to the study of an object, chosen by the students themselves. The phenomena that can be studied with the holographic interferometry span from acoustic vibration, to mechanical or thermal deformations.

Responsable : Guilhem GALLOT
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 25 mars 2013

MEC585 Explorer la Terre



Objectifs du cours.
Ce cours introduit différentes méthodes permettant d'explorer la Terre afin de mieux connaître ses propriétés et ses ressources mais aussi de prévenir les catastrophes naturelles ou risques anthropiques induits.

Contenu du cours.
L'étude des ondes sismiques nous renseigne sur la structure interne de la Terre. A l'échelle de la croûte terrestre, les méthodes d'exploration géophysique permettent de décrire les structures géologiques fines. Les failles sismiques peuvent alors être identifiées et les ressources naturelles localisées en vue de leur exploitation et/ou leur protection (eau, géothermie, hydrocarbures...). Les matériaux des formations géologiques superficielles (sols et roches) sont ainsi caractérisés (comportement, hétérogénéités, porosité, amortissement...). Cela permet l'identification des aléas naturels (séismes, volcans, glissement de terrain...), l'exploitation et la protection des ressources, l'analyse des effets induits (subsidence, sismicité induite...) et l'utilisation du sol (aménagement, construction...).
La démarche s'appuie sur les outils déjà acquis en mécanique des milieux continus, mais introduit également de nouveaux concepts permettant d'appréhender la propagation et la dispersion des ondes sismiques et électromagnétiques, le comportement des géomatériaux, les méthodes expérimentales avancées ainsi que le traitement de données (méthodes inverses, modélisation numérique...).

Niveau requis
MEC 431 : Mécanique des Milieux Continus (de préférence)

Modalités d'évaluation
Réalisation d'un projet en binôme

Responsable : Jean-François SEMBLAT
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 14 mai 2012

PHY582 Functional thin films and active surfaces : research and innovation

Couches minces fonctionnelles et surfaces actives : recherche et innovation

Cours dispensé en anglais

De nombreux produits industriels de haute technologie sont basés sur l’exploitation des propriétés de matériaux utilisés sous forme de couches minces ou sur la fonctionnalisation de surfaces et d’interfaces. L’approfondissement proposé consiste à donner aux étudiants une vision large des activités de recherche et de développement dans ce domaine, à partir d’exemples pris dans le domaine des sciences des matériaux, les dispositifs opto-électroniques (systèmes d’affichage et de visualisation, éclairage, cellules

solaires…), les surfaces nanostructurées...

L'enseignement proposé consistera en une série de conférences scientifiques données par des spécialistes du domaine (chercheurs ou ingénieurs), souvent eux-mêmes concepteurs de nouveaux produits aux fonctionnalités originales. Les intervenants sont souvent des professeurs invités issus d'universités étrangères prestigieuses (MIT, University of California, University of Cambridge, RWTH Aachen ...).

A l'issue de ces conférences, les élèves seront invités à approfondir une ou plusieurs des thématiques abordées par un travail personnel portant à la fois sur les aspects scientifiques, techniques et socio-économiques.

Cet enseignement fait partie des actions proposées dans le cadre de la Chaire X/ESPCI/Saint-Gobain « Sciences de Matériaux et Surfaces Actives » . Les conférences seront organisées alternativement à l'X et à l'ESPCI. Une visite de site industriel est également prévue.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Silke BIERMANN, Thierry GACOIN
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 24 juillet 2012

PHY569A 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

Responsable : Patrick MORA, Jean-Marcel RAX
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 14 janvier 2013

MAT575 Groupe de symétrie en physique

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.

Base 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 subatomique : 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 : modèles des quarks et théorie de jauge.

- Introduction : théorème de Noether et applications, version quantiques (Phy)
- Généralités sur les groupes et représentations de SU(2) (Math)
- SU(3) et quarks (Phy)
- Groupes compacts linéaires (Math)
- Algèbres de Lies semi-simples complexes et représentations (Math)
- Groupe de Poincaré-Lorentz et équation de Dirac (Phy)
- Algèbre de Heisenberg et Virasoro (Math)
- Physique derrière Heisenberg et Virasoro (bosons-fermions) (Phy)
- Théorie de jauge

Responsable : David RENARD, Denis BERNARD
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : vendredi 23 septembre 2011

PHY575 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

Responsable : Denis BERNARD, David RENARD
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 29 mars 2011

EXT612L Institut d'Optique graduate school (ex-Ecole Supérieure d'Optique) : cursus des polytechniciens

Modalités d'admission :
Admission sans prérequis : sélection sur entretien.
Cursus optimal : majeure 1 Physique1 ; majeure 2 Physique 2.

Pré-requis / stage en co-tutelle :
Stage de recherche en optique de 14 semaines, organisé en cotutelle par l'École polytechnique et l'Institut d'Optique Graduate School, débouchant sur le Diplôme d'ingénieur de l'École polytechnique.
Prérequis en optique instrumentale, optique de Fourier, optique guidée organisés juste avant le début du semestre d'automne (fin août/début septembre)

Format et cursus :
3ème année de l'Institut d'Optique Graduate School : formation professionnalisante modulaire de 7 mois selon une thématique choisie par l'élève.

Stage de fin d'études d'une durée de 4 à 6 mois dans une entreprise ou un laboratoire, en France ou à l'étranger.

Diplôme d'ingénieur de l'Institut d'Optique graduate school.

Options ou voies de spécialisation :
• systèmes optiques;
• lasers et optique non linéaire ;
• traitement d'images ;
• optoélectronique et télécommunications optiques ;
• micro et nanotechnologies;
• optique quantique;
• biophotonique.

Possibilités à l'étranger :
Nombreuses possibilités de stages à l'étranger, en laboratoire et en entreprise, contacts fournis par l'école.

Dernière mise à jour: 13 mars 2009

Responsable : Alain ASPECT
Période : Automne & Printemps
Crédits ECTS : 60
Dernière mise à jour : jeudi 01 mars 2007

2L Institut d'Optique Graduate school (ex-Ecole Supérieure d'Optique) : préser

Institut d'Optique Graduate School
Campus Polytechnique
RD 128
91127 Palaiseau cedex
Tél. : 01 64 53 31 00
http://www.institutoptique.fr

Contact administratif :
Françoise Chavel, francoise.chavel@institutoptique.fr
Contact pédagogique :
Nathalie Westbrook, nathalie.westbrook@institutoptique.fr

Contact stages en co-tutelle :
Responsable des stages : Franck Delmotte, franck.delmotte@institutoptique.fr

L'établissement / Les grands domaines de compétence :
École privée d'enseignement supérieur créée en 1920 dans le cadre de l'Institut d'Optique Théorique et Appliquée, sous tutelle du Ministère de l'Éducation Nationale et rattachée par convention à l'université Paris-Sud (Paris XI-Orsay). Les promotions, en croissance, sont actuellement de 96 élèves, dont 85% admis sur concours en 1er année et 15% admis sur titres en 1ère et 2ème années.

Formation au plus haut niveau, d'ingénieurs physiciens orientés vers l'optique fondamentale et appliquée, particulièrement qualifiés pour être, en recherche comme dans l'industrie, les acteurs de son développement rapide dans de très nombreux domaines : télécommunications, lasers, optique quantique, optique atomique, optoélectronique, spatial, matériaux, interaction lumière matière, biophotonique, nanotechnologies.
Formation fortement couplée à la recherche via le laboratoire Charles Fabry, à l'innovation et l'entreprenariat (filière innovation-entrepreneur) et à l'international (nombreux cours dispensés en anglais, en lien avec un master européen Erasmus Mundus)

Les diplômes préparés :
A- Formation d'ingénieurs : 3 ans
Diplôme d'ingénieur de l'Institut d'Optique Graduate School

B- Doctorats : 2 à 4 ans
Après un Master Recherche "Optique: de la science à la technologie" préparé pendant la 3ème année d'école et délivré conjointement par l'Institut d'Optique et l'Ecole Polytechnique, en cohabilitation avec les universités Paris Sud, Paris VI, Paris VII et UVSQ.
Doctorat de l'Université Paris XI ou de l'École polytechnique.

C - Formation continue :
Catalogue annuel de stages « Inter-Entreprises » et stages « à la carte ».

Les débouchés :
Les débouchés sont particulièrement nombreux, en recherche comme en développement, en France

comme à l'étranger.

Période : Automne & Printemps
Crédits ECTS : 60
Dernière mise à jour : mercredi 28 mars 2007

EXT652L Institut d'Optique graduate school : recherche

Les laboratoires et grandes thématiques de recherche :
Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'0ptique (U.M.R. du CNRS N°8501)
Optique atomique
Lasers et biophotonique
Systèmes et composants optiques
Optique quantique
Matériaux non linéaires et applications
Nanophotonique et électromagnétisme

Iotech
Plate-forme de transfert de technologies de l'Institut d'optique.

Les formations par la recherche :
une quarantaine de doctorants dans les laboratoires de l'Institut d'Optique
Les masters recherche proposés dans le cadre de la formation complémentaire intégrée :
Parcours "Optique: de la science à la technologie" dans la spécialité "Optique, Matière et Plasmas", master commun entre l'Institut d'Optique et l'Ecole Polytechnique, cohabilité avec les universités Paris Sud, Paris VI et UVSQ.

Période : Automne & Printemps
Crédits ECTS : 60
Dernière mise à jour : jeudi 01 mars 2007

PHY000 L'enseignement de la Physique et la recherche à l'Ecole polytechnique

L'ENSEIGNEMENT DE LA PHYSIQUE A L'ECOLE POLYTECHNIQUE

Les enseignements de physique à l'Ecole Polytechnique ont plusieurs objectifs :

1) donner aux étudiants de l'Ecole une culture scientifique de base en physique moderne, ouverte sur les interfaces de cette discipline avec d'autres domaines scientifiques ;
2) les initier aux pratiques de cette science, tant théoriques qu'expérimentales, dans leurs aspects les plus actuels ;
3) faire prendre conscience aux étudiants que les développements actuels ou prévisibles de nombreux domaines technologiques reposent sur des avancées récentes en physique fondamentale et appliquée ;
4) faire prendre conscience aux étudiants que les concepts et les méthodes de modélisation ou d'instrumentation issues de la physique se révèlent utiles dans d'autres domaines, comme les sciences du vivant ou même la finance ;
5) préparer les étudiants de l'Ecole aux formations complémentaires spécialisées scientifiques (masters de recherche) ou technologiques (écoles d'ingénieur) ;

L'enseignement de physique se déroule en deux phases :

La première, pendant les deux premières années d'étude, (cf. fiches PHY300, PHY400), est une introduction aux grandes théories et méthodes qui constituent les bases de la physique moderne : mécanique quantique, physique statistique, relativité restreinte, principes variationnels, ainsi qu'aux domaines d'application les plus simples de ces théories. Elle comporte également des enseignements expérimentaux introductifs dans des domaines très variés de la physique, des sciences des matériaux ou de l'électronique. Un projet scientifique collectif, encadré par un tuteur, est mené à bien, en physique ou en électronique.

La seconde, pendant la troisième année, organisée en deux périodes d'enseignements (cf. fiche PHY500), suivies d'un stage de recherche, est une introduction plus approfondie à la plupart des domaines importants de la physique moderne et de ses applications industrielles. Elle vise un double but. D'une part, elle s'inscrit dans la formation en 4 ans des polytechniciens, et, de l'autre, elle définit un cursus de master pour des étudiants ayant complété leur cycle de formation au niveau « bachelor » dans d'autres établissements d'enseignement supérieur.

En ce qui concerne le cursus polytechnicien, les deux premières années à l'école auront visé à donner aux étudiants de l'X une culture scientifique de base en physique. La troisième année (M1) les prépare aux formations scientifiques (M2, masters et graduate schools à l'étranger) et techniques (Ecoles d'ingénieurs françaises, formations d'ingénieur étrangères) spécialisées de 4ème année. Depuis 2007-2008, cette troisième année est désormais organisée sous forme de programmes d'approfondissement qui eux-mêmes peuvent comporter plusieurs thématiques. Le département de Physique participe principalement aux programmes d'approfondissement "Physique", "Electrical Engineering", "Energies du XXIe siècle", "Innovation technologique" et "Sciences pour les défis de l'environnement". Le catalogue de cours de troisième année (cours répertoriés par les nombres 5xx) comprend également des enseignements qui se situent à l'interface de la physique avec une autre discipline (Biologie, Mécanique, Chimie, Informatique, Mathématiques), et qui font partie des programmes d'approfondissement offerts par les départements correspondants. De la même manière, d'autres départements proposent des cours qui apparaissent dans les programmes d'approfondissement de Physique.

LA RECHERCHE EN PHYSIQUE SUR LE CAMPUS DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE

La recherche en physique est très développée sur le campus de l'Ecole Polytechnique ! Presque tous les grands domaines de recherche sont abordés, aussi bien au cœur de la physique qu'aux interfaces avec d'autres sciences comme la biologie, la chimie, la mécanique, l'informatique ou les mathématiques. Si les recherches ayant un caractère fondamental restent majoritaires, celles tournées vers les applications sont également nombreuses, et connaissent actuellement un développement rapide. Les principaux centres

d'intérêt des neuf laboratoires associés au département de physique de l'Ecole sont brièvement résumés ci-dessous. Il faut y ajouter deux instituts de recherche qui se sont récemment installés sur le campus : l'Institut d'Optique Graduate School (IOGS) et Thalès Research and Technology (TRT). Plus largement, le plateau de Saclay, avec de grands centres de recherche qui sont nos voisins immédiats -comme le CEA-Saclay, l'Université Paris-Sud (Orsay) ou l'ONERA, associés maintenant dans l'IDEX Paris-Saclay- constitue un ensemble exceptionnel pour la recherche en physique, d'envergure mondiale. Ces recherches impliquent bien entendu de nombreux partenariats et collaborations internationales.

Le département de physique souhaite encourager fortement les élèves de l'Ecole et tous les étudiants du campus à profiter pleinement de cet environnement de recherche, en allant aussi souvent que possible ``frapper à la porte des laboratoires'' et en développant des contacts fréquents avec les chercheurs et enseignants-chercheurs au-delà du cadre des enseignements proprement dit. Ils y découvriront comment s'élabore la science vivante, qui prépare aussi les technologies de demain !

Centre de Physique Théorique (CPHT)
http://www.cpht.polytechnique.fr/

Le Centre de Physique Théorique de l'Ecole polytechnique regroupe environ 70 chercheurs (dont une moitié de permanents) dont l'activité est consacrée à l'élaboration de théories physiques nouvelles dans des directions très variées. Initialement fondé autour de thèmes de physique mathématique, le CPHT a diversifié ses sujets d'intérêt, avec la venue successive de groupes de physique des particules, de physique des plasmas, et plus récemment de physique de la matière condensée. Ainsi, on y traite aussi bien des interactions fondamentales, grâce à la chromodynamique quantique ou à la théorie des cordes, que de fusion thermonucléaire contrôlée, autour du projet international ITER, en passant par la théorie des systèmes chaotiques, par la modélisation des éruptions solaires, par l'analyse de l'interaction laser-matière à très haut flux, ou par le développement de nouvelles méthodes théoriques pour le calcul de la structure électronique de matériaux fortement corrélés, pour ne prendre que quelques exemples. La feuille de papier, le stylo, l'ordinateur, voilà les outils de travail des chercheurs du CPHT, qui œuvrent en relation étroite avec de multiples collaborateurs appartenant à des laboratoires où les théories sont confrontées aux expériences.

Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR)
http://www.llr.in2p3.fr

Le laboratoire Leprince-Ringuet a deux domaines de recherche qui s'épaulent tant du point de vue conceptuel que technique, l'astronomie gamma de très haute énergie et la physique des particules. Fondé en 1936 à l'École par Louis Leprince-Ringuet, le laboratoire étudiait les rayons cosmiques pour leur nature mais surtout pour les particules le composant. Puis, après une longe période concentrée sur les accélérateurs, les rayons cosmiques sont de nouveau étudiés, maintenant pour comprendre leurs sources. L'astronomie gamma regarde le ciel via des photons d'énergie voisine du TeV, mille milliards de fois plus énergiques que ceux du visible, un tout nouveau domaine d'observation. La problématique est double: quels mécanismes produisent de tels photons, quelles sont les sources. Nous disposons d'un observatoire à la construction duquel nous avons participé, HESS, situé en Namibie, qui observe ces photons via leur interaction avec l'atmosphère. HESS a reçu en 2010 le prix « Bruno Rossi » de la société américaine d'astronomie. Le laboratoire participe également au programme d'observations mené par le télescope spatial FERMI, dont nous avons construit la structure du calorimètre, et qui a reçu en 2011 ce même prix prestigieux. Concernant la physique des particules, les oscillations entre les trois familles de neutrinos, découvertes il y a quelques années commencent à être étudiées dans l'expérience T2K (Tokai to Kamiokande) au Japon, qui a récemment observé la première indication de l'apparition de neutrinos électroniques dans un faisceau de neutrinos muoniques. Plus près de nous, l'expérience CMS auprès du

collisionneur LHC du CERN débute maintenant une campagne de prises de données proton-proton à l'énergie dans le centre de masse record de 8 TeV en 2012. Les collisions de noyaux de plomb à l'énergie de 2.76 TeV sont également été étudiées par cette même expérience. L'observation d'événements obtenus à ces énergies record ouvre l'accès à de nouveaux territoires pour les interactions fondamentales. La pièce manquante la plus importante du modèle standard est le « boson de Higgs » responsable de la masse. Activement recherché par CMS, il pourra être caractérisé finement dans les collisions électron-positron disponibles auprès du futur collisionneur linéaire, pour lequel nous développons de nouvelles techniques de calorimétrie ultra-granulaire. Ces expériences devraient aussi apporter tout un monde de nouvelle physique, peut-être jusqu'à découvrir de nouvelles dimensions. Cette physique se développe dans un cadre international et ses installations sont dispersées dans les diverses régions du monde. A la frontière des technologies, elle engendre ses propres techniques en s'appuyant sur des moyens importants qui peuvent s'appliquer à bien d'autres domaines. Ainsi nous développons des codes de calcul simulant l'interaction particules-matière ou construisons des profileurs de faisceau pour le traitement des cancers par des accélérateurs d'ions. Nous préparons également le futur avec l'étude de nouvelles méthodes d'accélération par plasma, en collaboration avec d'autres laboratoires de l'Ecole Polytechnique.

Laboratoire d'Optique Appliquée (LOA)
http://loa.ensta.fr/

L'activité du Laboratoire d'Optique Appliquée (LOA) porte sur le domaine des lasers intenses ultra-brèfs et leurs applications. Les équipes de recherche du LOA développent des systèmes lasers femtosecondes (1fs =10-15 s) de forte puissance (jusqu'au pétawatt, 1 PW = 1015 W), étudient la physique de l'interaction laser-matière et des plasmas, et développent des sources de particules (électrons, ions) ou de rayonnements sur une large gamme spectrale (du THz aux X et gamma) avec des durées d'impulsions pouvant atteindre le régime attoseconde (100 as = 10-16 s).

Ces sources sont utilisées pour des applications qui concernent, par exemple, l'étude de la dynamique ultrarapide de structures en physique du solide pour révéler les mouvements les plus brefs des atomes et des molécules au sein de la matière, le contrôle attoseconde de la dynamique de plasma, l'imagerie par rayons X à haute résolution spatiale pour diagnostiquer des plasmas de fusion thermonucléaire ou développer des méthodes compactes de tomographie, la chirurgie des yeux par laser pour développer des nouvelles techniques de greffe de cornée ou de traitement du glaucome, la proton-thérapie par laser pour développer des techniques compactes de traitement du cancer, ou bien le guidage de la foudre par laser pour protéger des installations sensibles.

Dans ce cadre, le laboratoire d'Optique Appliquée (LOA) développe un partenariat soutenu avec le milieu académique et le tissu industriel. Le LOA est une Facilité Laser qui accueille des équipes européenne et française sur ses sites expérimentaux à travers plusieurs programmes tel que LaserLab au niveau européen. Il est impliqué dans une cinquantaine de projets de recherche nationaux avec notamment la DGA, EADS, RTRA Triangle de la physique, la région Ile de France et le département de l'Essonne (ASTRE, SESAME), le ministère de la recherche (10 projets ANR, 2 Equipements d'Excellence CILEX et ATTOLAB, 1 laboratoire d'excellence PALM). Le partenariat industriel est fort avec par exemple un projet rassemblant plusieurs laboratoires du Plateau de Saclay avec des PME et des hôpitaux qui est supporté par OSEO, ou bien des contrats et valorisations avec des industriels comme THALES, AMPLITUDE, ou FASTLITE.

Laboratoire d'Optique et Biosciences (LOB)
(également associé au département de Biologie)
http://www.lob.polytechnique.fr/

Quatre thématiques sont en cours de développement dans le laboratoire :
• Mécanismes moléculaires adaptatifs dans des systèmes microbiens,
• dynamique interne des protéines par spectroscopie femtoseconde,
• microscopies avancées-physiologie tissulaire
• nano-émetteurs/suivi de molécules uniques.

Le premier thème inclut des projets visant d'une part à élucider les mécanismes adaptatifs à l'hypoxie chez les procaryotes par l'association d'approches biochimiques et spectroscopiques et d'autre part à élucider les mécanismes catalytiques et la régulation métabolique d'une nouvelle classe de thymidylate synthases, ThyX. Ces enzymes présentes dans un grand nombre de bactéries pathogènes, mais absentes chez l'Homme, constituent une cible pharmacologique attractive pour l'inhibition spécifique de la croissance bactérienne. Helicobacter pylori, bactérie responsable de pathologies gastriques est le modèle d'étude privilégié.

Le deuxième thème rassemble l'ensemble des projets qui concourent à caractériser la dynamique interne des protéines par spectroscopie femtoseconde. Les projets au sein de ce thème participent à la fois à des développements de méthodes et concepts originaux en physique ultra-rapide, et à la mise en évidence de mécanismes moléculaires au sein de différentes classes de protéines : oxydases mitochondriales, senseurs à oxygène bactériens, protéines de la cascade de signalisation par le NO, enzymes de la réparation de l'ADN.

Le troisième thème vise au développement de microscopies avancées et de programmes de recherche en « physiologie tissulaire ». De nombreuses problématiques biologiques et médicales nécessitent aujourd'hui d'intégrer des données génétiques et moléculaires dans des modèles à l'échelle tissulaire. Les projets concernent l'interaction entre déformations tissulaires et mécanismes intracellulaires conduisant à la modulation de l'expression génique lors de la morphogenèse embryonnaire, ainsi que le remodelage de la matrice extracellulaire et la fibrose rénale associées au stress mécanique induit par l'hypertension artérielle.

Le quatrième thème met oeuvre des nano-technologies avec la production de nanoparticules fluorescentes pour des applications en imagerie cellulaire visant à élucider les mécanismes de signalisation dans les cellules musculaires lisses vasculaires, en particulier la transactivation des récepteurs tyrosine-kinase. Un deuxième projet concerne l'interaction toxine-cellule avec le suivi de molécules individuelles lors des différentes phases de reconnaissance des récepteurs membranaires par la toxine, d'oligomérisation et de transcytose.

Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (LPMC)
http://pmc.polytechnique.fr/

Le laboratoire PMC présente la particularité d'associer physiciens et chimistes dans le domaine de la matière condensée. On y aborde des thématiques variées concernant la physique et la chimie des solides, les phases intermédiaires entre les solides et les liquides (ce qu'on appelle la matière molle), l'élaboration, la modification et les propriétés des matériaux. Depuis peu émergent de nombreuses activités à l'interface avec différents domaines de la biologie.
Les compétences mises en oeuvre à PMC peuvent être expérimentales, théoriques ou relever de la simulation numérique. Le laboratoire dispose aussi d'une culture dans le domaine de l'instrumentation pour des expériences « à taille humaine » (par exemple on y construit en ce moment un microscope à effet tunnel à contraste magnétique). Habituellement, les projets essaient d'associer le plus possible ces diverses compétences, soit en profitant du large spectre d'expertise présent au laboratoire, soit au travers

de collaborations extérieures. L'activité scientifique est principalement de nature fondamentale, mais le laboratoire possède néanmoins de nombreuses collaborations avec des industriels.
L'activité scientifique se structure autour de quatre groupes de recherches, mais il existe aussi beaucoup de projets « intergroupes ». Les thèmes scientifiques concernent principalement la physique et la chimie à petite échelle (les « nanosciences », par exemple l'élaboration et/ou l'étude de nanoparticules ou de nanostructures magnétiques), l'étude des milieux désordonnés ou irréguliers (par exemple certains matériaux poreux et les fluides qui y sont confinés), l'étude de phénomènes où interviennent une large gamme d'échelles spatiales et/ou temporelles (par exemple le fonctionnement du poumon ou les mécanismes de conduction ionique dans des matériaux), l'étude d'instabilités (par exemple l'apparition de dendrites lors de la solidification d'un métal ou de dépôts électrolytiques). On trouve plus de renseignements sur le site http://pmc.polytechnique.fr
Le laboratoire accueille enfin un bon nombre d'étudiants français et étrangers, dont une vingtaine de doctorants. Ces derniers entament ensuite le plus souvent une carrière industrielle. Ils entretiennent au laboratoire une vie scientifique, culturelle et sociale particulière (voir le site « XPMC Thésards » http://pmc.polytechnique.fr/thesards/).

Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces (LPICM)
http://www.lpicm.polytechnique.fr/

Les thèmes d'activité du laboratoire portent sur la synthèse et les applications de couches minces et de nanomatériaux, principalement à base de carbone ou de silicium. Ces recherches couvrent l'ensemble du domaine depuis les mécanismes d'élaboration jusqu'aux propriétés des dispositifs réalisés à partir de ces nanomatériaux. L'étude de ces matériaux présente un intérêt fondamental en tant que nanostructures. Par ailleurs, l'une des principales caractéristiques de ces recherches est de s'effectuer dans un fort contexte d'applications industrielles, dans les domaines de l'électronique en grande surface (photopiles solaires, écrans de visualisation…), de l'électronique moléculaire et de l'instrumentation optique (ellipsométrie…).

Plus précisément, les activités de recherche du laboratoire recouvrent les thématiques suivantes :
- Synthèse plasma de couches minces et nanomatériaux à base de silicium. Corrélation entre les mécanismes de dépôt et les propriétés électroniques.
- Applications de ces matériaux, et des procédés plasma, à la conversion photovoltaïque (technologies silicium), en collaboration avec TOTAL.
- Applications électroniques en grande surface (silicium et organique))
- Synthèse et applications de graphène, nanotubes de carbone et nanofils de silicium (émission de champ, transistors, capteurs et batteries lithium)
- Instrumentation optique : polarimétrie et nanoRaman. Applications biomédicales et métrologiques dans le domaine des semi-conducteurs.

Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP)
http://www.lpp.fr

Le Laboratoire de Physique des Plasmas est un laboratoire qui regroupe des équipes travaillant sur les thématiques plasmas de laboratoire et plasmas spatiaux, plasmas froids et chauds. Le laboratoire est ouvert depuis le 1er janvier 2009. Il a pour objectif de préparer au mieux les grands projets de la discipline : les projets spatiaux d'étude in situ des plasmas du Système Solaire, le projet ITER de confinement magnétique d'un plasma de fusion. Le LPP est aussi fortement impliqué dans les technologies plasmas (utilisation des plasmas pour la dépollution, réacteurs à plasma…)

Les plasmas : une science commune à tout le laboratoire
Que nous soyons astrophysiciens ou physiciens de laboratoire, nous sommes tous des «plasmiciens ». De l'astrophysique aux nanotechnologies, notre outil de travail, notre objet de recherche est la physique des plasmas. Ces gaz ionisés, complètement ou partiellement, qui sont le quatrième état de la matière, celui qui est le moins familier. Sur Terre, les plasmas ne sont pas présents à l'état naturel (les éclairs d'orage étant une exception), mais dès qu'on s'élève à une centaine de kilomètres on trouve l'ionosphère qui est un plasma. Et à l'échelle cosmique, 99% de la matière visible se présente sous forme ionisée, en phase plasma. Sur Terre les plasmas sont tout de même présents : dans quelques objets de la vie quotidienne comme les lampes à décharge, mais surtout la physique des plasmas se situe en amont d'un vaste champ d'applications technologiques. Plus de la moitié des opérations de fabrication des processeurs et mémoires sont actuellement effectuées dans des réacteurs plasmas et les propulseurs plasmas sont considérés comme l'option la plus pertinente pour une mission habitée vers Mars. Les technologies de dépollution font aussi partie des applications des plasmas de même que les technologies micro-ondes de puissance et les sources X. Enfin, la physique des plasmas est l'outil essentiel pour comprendre les différents systèmes expérimentaux mis en œuvre dans le cadre des programmes de recherche sur la fusion thermonucléaire.

Le LPP et les grands projets de physique des plasmas
Ce jeune laboratoire a pour objectif de préparer au mieux les grands projets de la discipline et notamment les projets spatiaux d'étude des plasmas du Système Soleil-Terre et des autres objets du Système Solaire et le projet ITER de confinement magnétique d'un plasma de fusion qui est l'un des axes phares de la discipline. Ces projets ont une envergure internationale : ils se développent, pour l'exploration spatiale, dans le cadre des agences spatiales (CNES, ESA, NASA, JAXA (Japon), CNSA (Chine), et IKI (Russie)) ; pour la fusion, le projet ITER repose sur un traité international entre les 7 partenaires (Europe, Etats-Unis, Russie, Japon, Chine, Corée, Inde), et au sein de l'Europe, de l'agence EURATOM et de l'EFDA.

Principaux axes de recherche du laboratoire :
• Les plasmas de fusion magnétiques liés au programme ITER
• Les plasmas spatiaux en liaison avec les programmes des grandes agences spatiales
• Les plasmas denses impulsionnels
• Les plasmas froids pour l'environnement, l'énergie et les nanotechnologies
Axes transverses et fédérateurs :
• La turbulence dans les plasmas magnétisés
• L'ingénierie spatiale (propulseurs à plasma froids, instruments de mesures embarqués)
• La simulation numérique
• Les diagnostics et la R&T

Le LPP et la formation :
La participation à l'effort de formation est l'un des objectifs majeurs du LPP. Les enseignants-chercheurs enseignent à tous les niveaux dans leurs établissements et les équipes du LPP sont fortement impliquées différents parcours de master 2 et en particulier dans le M2 Plasmas : de l'Espace au Laboratoire. Le laboratoire contribue aussi au Master National Sciences de la Fusion ainsi qu'au Master Astronomie, Astrophysique et Sciences de l'Espace d'Ile de France. Il accueille régulièrement de nombreux stagiaires de tous niveaux, des doctorants et des post-docs.

Laboratoire des Solides Irradiés (LSI)
http://www.lsi.polytechnique.fr/

Le Laboratoire des Solides Irradiés dépend de trois tutelles : le CEA, le CNRS et l'Ecole polytechnique. Ses activités scientifiques, expérimentales et théoriques, ont trait au comportement des solides sous différents types d'excitations, que ce soit sous irradiation par des particules chargées (électrons, ions lourds), sous

forte intensité lumineuse ou sous l'effet du rayonnement synchrotron.
Le thème de l'irradiation des matériaux comprend l'étude de l'évolution microstructurale des matériaux, en particulier d'intérêt nucléaire, sous irradiation (le laboratoire possède une installation d'irradiation aux électrons de forte énergie unique en son genre) ainsi que l'effet des forts dépôts d'énergie (irradiation aux ions lourds rapides). A ce thème, on peut rattacher celui des effets d'irradiation dans les polymères et l'étude du radiogreffage, ainsi que de ses applications dans des domaines divers, comme les piles à combustibles à membranes polymères ou les biomatériaux.
On étudie l'interaction laser-solides en impulsions ultra-courtes et, à l'aide de différentes méthodes pompe-sonde, les cinétiques électroniques ultrarapides (relaxation, piégeage, transfert d'électrons) intervenant dans les matériaux excités. Les applications concernent la compréhension du claquage optique sous forte intensité ou la nanostructuration de matériaux par des impulsions laser femtoseconde.
L'activité en supraconductivité porte sur le transport dans les supraconducteurs à haute Tc ou exotiques, et particulièrement sur l'étude de l'effet du désordre sur la thermodynamique de la "matière de vortex". Le développement de méthodes originales de mesures magnétiques locales (magnéto-optique, nanosondes Hall...) est une spécialité de l'équipe concernée. Nous travaillons également sur la nanofabrication par la voie "bottom-up" de nombreux nanosystèmes (nanofils magnétiques, semiconducteurs, nanotubes de carbone...) et sur l'étude de leurs propriétés de transport électronique. La "nanospintronique" est de ce point de vue une activité en fort développement.
Le groupe de théorie des solides, enfin, travaille sur les calculs ab-initio des structures électroniques des solides, que ce soit dans l'état fondamental (oxydes de métaux de transition, solides riches en bore, ...) ou pour des propriétés impliquant des états excités (spectres d'aborption optique, de pertes d'énergie électronique, de photoémission, de diffusion inélastique des X, propiétés optiques non-linéaires, relaxation electron-phonon ...). Ces activités combinent le développement de nouveaux concepts théoriques et leur application à des cas d'intérêt pratique, pouvant aller jusqu'aux applications industrielles. Ces recherches sont complètées par des activités de simulation atomistique (études de joints de grains, simulation de phénomènes de croissance) par des méthodes semi-empiriques.

Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses (LULI)
http://www.luli.polytechnique.fr

Centre de recherche en physique des plasmas chauds, le LULI est spécialisé dans l'étude des plasmas créés par lasers et leurs applications. L'interaction entre un faisceau laser de puissance et une cible permet de produire des milieux très chauds et très denses, comparables au coeur des étoiles ou des planètes, et des champs magnétiques et électriques extrêmes. Profitant de ces atouts, les équipes du LULI développent des thèmes de recherches variés allant de la fusion thermonucléaire contrôlée par confinement inertiel, dont un des objectifs principaux est la production d'énergie, à l'étude de milieux astrophysiques et géophysiques, l'accélération de faisceaux intenses de particules relativistes et la production de sources de rayonnement intenses et brèves, des THz jusqu'aux rayons gamma.
Grande Installation nationale et européenne, le LULI dispose des deux plus grandes chaînes laser civiles françaises pulsées de forte énergie en régimes nanoseconde et picoseconde, et de toute l'infrastructure expérimentale associée. Le laboratoire est également responsable du projet APOLLON de construction d'un laser multi-PW en impulsions femtoseconde et de salles expérimentales dédiées. Ces installations sont mises à la disposition de la communauté scientifique française et européenne.
Pour maintenir et améliorer ses installations, le LULI développe un programme de recherche et développement en physique des lasers et optique associée dont les thèmes principaux sont liés aux lasers ultra intenses de forte énergie et aux lasers solides pompés par diodes à haute puissance moyenne.
Dans le cadre de très nombreuses collaborations nationales et internationales, le LULI forme des étudiants de niveau Master, Doctorat et Post-Doctorat en Physique des Plasmas créés par Lasers et Applications, et en Physique et Technologie des Lasers de Puissance.

Niveau requis
Physique générale (mécanique du point, ondes, champs électriques et magnétiques, équations de Maxwell, éléments de thermodynamique,...)

Responsable : Philippe GRANGIER
Période : Printemps
Dernière mise à jour : jeudi 12 avril 2012

PHY572 Lasers, optics and plasmas

L'enseignement d'approfondissement « lasers, optique et plasmas » se distingue par sa logique de projet analogue à celle des MODAL, avec pour objectif essentiel de permettre aux élèves d'étoffer leur culture de l'expérimentation, qui reste pour beaucoup d'entre eux un aspect de leur formation scientifique beaucoup moins approfondi que la théorie. Le travail expérimental se fera par binôme en choisissant une thématique parmi les trois suivantes :

1) Holographie et applications à l'étude d'objets vibrants définis par les élèves eux-mêmes.

2) Lasers femtosecondes (interférométrie spectrale, façonnage d'impulsions, production et mesure d'impulsions THz dans l'infrarouge lointain).

3) Etude expérimentale de plasmas créés par laser. Pour cette thématique, six séances expérimentales sur la caractérisation des plasmas lasers seront précédées de trois séances sur le fonctionnement du laser, l'interférométrie, la spectroscopie et l'imagerie. Une visite des laboratoires LULI et LOA est aussi prévue, ainsi que trois heures de cours d'introduction à la physique des plasmas.

Cours dispensé en Anglais et en Français

Responsable : Serena BASTIANI-CECCOTTI, Victor MALKA
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 03 juillet 2012

PHY594 Lasers, optique quantique, plasmas

Responsable :

François Hache
Laboratoire d'Optique et Biosciences (LOB)
francois.hache@polytechnique.fr, 01 69 33 50 39
Fax : 01 69 33 50 84

Autres enseignants :

Serena Bastiani-Ceccotti
Laboratoire d'Utilisation des Lasers Intenses (LULI),
serena.bastiani@polytechnique.fr, 01 69 33 54 04

Le stage de recherche PHY594 regroupe les thèmes qui concernent l'interaction entre la matière sous toutes ses formes (condensée ou diluée, neutre ou chargée) et le champ électromagnétique, qu'il soit statique ou de rayonnement, depuis le domaine hertzien jusqu'aux rayons X. Ce domaine en général a été fortement rajeuni par l'invention des lasers, qui a révolutionné l'optique, mais aussi par l'utilisation du rayonnement synchrotron qui a donné une nouvelle jeunesse aux accélérateurs d'électrons, ou encore par le formidable espoir suscité par la recherche sur la fusion thermonucléaire contrôlée.

Les stages proposés portent sur la plupart des applications des lasers, à l'exception de celles qui sont totalement entrées dans le monde de la production industrielle et où le laser n'est plus qu'un outil presse-bouton (elles sont sorties du domaine de la recherche). Il s'agit donc de sujets très variés, mais dont les connexions mutuelles sont nombreuses. Les trois centres thématiques mentionnés dans l'intitulé de l'option se recouvrent en fait largement. Par exemple les plasmas sont souvent créés par des lasers et inversement les plasmas peuvent être sources d'émission laser.

La recherche en matière de lasers reste un domaine particulièrement actif : télécommunications optiques, traitement optique de l'information, refroidissement d'atomes par laser, accélération de particules par laser, développement de nouveaux lasers (par exemple à électrons libres, à rayons X, à impulsions très brèves ou de très fortes intensités), initiation de la fusion thermonucléaire par confinement inertiel, étude de la turbulence ou du chaos, réduction du bruit de photons grâce aux états comprimés (il s'agit ici d'optique quantique au sens strict), nouvelles techniques d'imagerie d'objets biologiques... L'option recouvre aussi la recherche en matière de plasmas sans lasers : initiation de la fusion par confinement magnétique (tokamaks), vent solaire, magnétosphère... Il est clair que ce genre de recherche couvre toute la gamme, de la physique très appliquée à la physique fondamentale.

Dans l'ensemble cette activité est un domaine bien représenté en France, et plus généralement en Europe de l'ouest. Les stages sont surtout proposés en région parisienne mais de nombreuses possibilités existent en province ou à l'étranger.

THEMES

- Lasers (lasers à solides, lasers à rayons X, impulsions ultra-brèves)
- Télécoms optiques (fibres optiques, dispositifs opto-électroniques..), et optique intégrée
- Matériaux non-linéaires (puits quantiques, matériaux organiques, ...)
- Traitement optique de l'information (calcul optique, reconnaissance de formes)
- Interface optique-biologie (pinces optiques, imagerie fonctionnelle de cellules…)
- Spectroscopie non-linéaire (diagnostic à distance, lidar, spectroscopie active, ...)

- Physique atomique et moléculaire (refroidissement par laser, études de collisions réactives ou non, agrégats,…)
- Optique quantique (états comprimés, ...)
- Plasmas créés par laser
- Fusion thermonucléaire par confinement inertiel ou magnétique

Responsable : François HACHE, Serena BASTIANI-CECCOTTI
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : jeudi 25 octobre 2012

PHY661 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

Responsable : Michel Davier, Emilian DUDAS, Stéphane MUNIER
Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
Dernière mise à jour : jeudi 03 février 2011

PHY577 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

Responsable : Kees VAN DER BEEK
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 17 mars 2011

PHY570 Materials design

Matériaux fonctionnels

Cours enseigné en anglais

La mise au point de nouveaux dispositifs de haute technologie repose en grande partie sur l'exploitation de propriétés spécifiques des matériaux. L'objectif de cet approfondissement est de donner aux étudiants un aperçu de la démarche de conception qui permet de passer des propriétés intrinsèques de la matière au matériau mis en forme et intégré dans un dispositif fonctionnel.

Ce cours, qui se veut une introduction aux sciences des matériaux, sera divisé en trois grandes parties :

- Propriétés chimiques et structurales des matériaux, description des principales technologies de fabrication et de mise en forme ;
- Propriétés électroniques des matériaux, notamment dans le domaine du transport, du magnétisme et de l'optique ;
- Application des matériaux fonctionnels pour la conception de dispositifs, notion de matériaux actifs ou intelligents (matériaux dont une ou plusieurs propriétés peuvent être contrôlées par l'application d'une

stimulation extérieure (champ électrique ou magnétique, chaleur, pression mécanique…). On peut citer par exemple les systèmes électrochromes ou électroluminescents, les métaux à mémoire de forme, les fluides electro-rhéologiques…).
En parallèle à cet enseignement, les élèves seront invités à faire un projet personnel, visant à reprendre sur un exemple concret et appliqué la démarche « fabrication/propriétés/fonction » des matériaux. Ce travail pourra comporter une expérience simple effectuée dans un laboratoire de l'Ecole.

Cet enseignement fait partie des actions proposées dans le cadre de la Chaire X/ESPCI/Saint-Gobain « Sciences des Matériaux et Surfaces Actives.»

Cours dispensé en Anglais

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Silke BIERMANN, Thierry GACOIN
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 24 juillet 2012

PHY311 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.

Responsable : Jean DALIBARD, Philippe GRANGIER
Période : Printemps
Nombre d'heures : 28
Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : lundi 13 mai 2013

M4S Mécanismes de formation de motifs ou comment les microstructures appa

But: introduire les mécanismes qui font émerger des microstructures.
Exemples : Diffusion ou croissance cristalline, hydrodynamique et tourbillons, instabilités mécaniques (flambage, microflambage, microfissuration, bandes de cisaillement), etc.

x

Responsable : Hervé HENRY
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 18
Crédits ECTS : 3
Dernière mise à jour : mardi 22 février 2011

Méthodes d'analyse statistique et de simulation, expériences et physique des d

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)

Responsable : François LE DIBERDER, Jean-Claude BRIENT
Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
Dernière mise à jour : jeudi 03 février 2011

MEC647M4S Milieux désordonnés et outils physiques

Ce cours présentera les résultats les plus récents dans les techniques de caractérisation de la microstructure des matériaux cimentaires. Les propriétés de transport de l’eau, des ions, des gaz et l’exploitation d’une imagerie multiéchelle de ces matériaux fortement désordonnés seront abordés. Nous

montrerons comment ces connaissances ont fortement contribué au développement récent de ce que l'on peut appeler «les nouveaux bétons ». Nous discuterons en quoi les outils physiques d'analyse des milieux désordonnés contribue à définir les possibilités de fonctionnalisation et de durabilité des liants hydrauliques.

Classes de poreux naturels et industriels.
- Quelques grandes classes de matériaux poreux.
- Notion de porosité, de surface spécifique de courbures moyenne et gaussienne.
- Désordre et invariance d'échelle.

2/ Les techniques physiques de caractérisation des poreux : une approche multi-échelle
- Imageries 2D et 3D
* les microscopies MEB et TEM, les tomographies, l'IRM.
- Exploiter les corrélations structurales :
* Les méthodes de diffusion statique de rayonnement X, neutrons.
* Introduction aux méthodes de diffusion des rayonnement quasi-élastiques ou inélastiques.
- Avantages des techniques non-invasives de RMN :
* Caractérisation d'espèces et de phases par spectroscopie haute résolution
* La relaxométrie à une et plusieurs dimensions :
Suivi en continue de l'évolution de la microstructure de matériaux cimentaires
Caractérisation de la dynamique de l'eau aux interfaces
Transport d'eau entre les micropores et mésopores
* Le gradient de champ pulsé et le suivi de la dynamique aux échelles intermédiaires (m)
* L'IRM et l'imagerie au delà du m.

3/ Exploitation de l'imagerie: description morphologique et topologique des milieux poreux.
- Les outils de description morphologique de la texture :
Introduction à la stéréologie, à l'utilisation des opérateurs de la morphologie mathématique et au traitement d'image.
- Introduction aux propriétés topologiques, le problème de la connexion, graphes et squelettes.

4/ Propriétés de transport et d'invasion : Une approche de physique statistique
- Transport diffusif :
* notion de tortuosité,
* portrait de phase du propagateur de diffusion
* connexion avec la structure poreuse.
- Rôle du désordre sur le transport : notion de percolation, de processus non gaussiens, de diffusion anormale. Importance dans les structures poreuses naturelles.
- Transport convectif : notion de perméabilité, rôle de la géométrie du réseau de pores
- Mécanismes d'imbibition et de séchage : le cas de l'intrusion de mercure.
- Techniques physiques de mesure des processus de transport.

5/ Applications aux nouveaux bétons : fonctionnalisation et durabilité

Modalités d'évaluation
Exposé sur article

Responsable : Michel BORNERT
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 30

Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : mardi 26 juin 2007

PHY442 Modal d'Electronique

Introduction et objectifs

Le centre de travaux expérimentaux d'électronique du Département de Physique organise un module d'enseignement expérimental (MODAL) sur :

L'ELECTRONIQUE DES SIGNAUX AUX 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 aussi usuels qu'un CD-audio ou un téléphone mobile.

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 électronique de télécommunications, 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 de la physique, de l'électronique, 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, d'une durée totale de 54 heures, sera organisé en fonction du déroulement du projet en laboratoire qui en constituera le fil conducteur.

Organisation
Le travail en laboratoire effectué en binôme représentera la majeure partie du MODAL, et portera sur un thème à choisir parmi ceux qui seront spécifiquement ouvert lors de la série de MODALS "Electronique des signaux aux systèmes" que vous aurez choisi (respectivement dans les périodes de janvier à avril : PHY442A et d'avril à juin : PHY442B).

Cette phase de choix de la thématique implique une réunion de présentation des différents Thème expérimentaux proposé aux élèves. Ces réunions d’information propre à chaque Modal indiqueront, en particulier, les possibilités d’accueil et d’encadrement de chaque thème.

Pour ce travail, de type projet, vous disposerez d'une autonomie importante, en particulier dans la phase d'approfondissement, pour aboutir à la réalisation d'un système fonctionnel.

Le projet sera également l'occasion d'enrichir la vision du domaine, en faisant en laboratoire des digressions sur les à-côtés intéressants, et en ayant une approche expérimentale des divers aspects du thème d'application dans lequel s'insère le projet.

Méthologie de notations

Principes généraux
Le Modal d'Electronique, comme tout module court de 2ème année, fait l'objet d'une évaluation menant à l'attribution de deux notes :
. Une note littérale (de A à F) qui est la seule figurant sur le transcript de chaque élève,
. Une note chiffrée (de 20 à 0) prise en compte pour le concours d'accession aux corps.

En Electronique, les élèves effectuant le travail de Modal en binôme sont évalués en binôme. Cependant, il sera possible de différencier l'évaluation de deux élèves d'un binôme en fonction des écarts constatés sur leur travail, sur leur compréhension du sujet, sur leurs réponses aux questions posées lors de la soutenance. Le contrôle des connaissances est organisé de façon à évaluer la qualité du travail expérimental effectué en laboratoire, les connaissances acquises, les concepts théoriques correspondants, ainsi que la capacité à les utiliser dans diverses applications et, en particulier, dans le projet conduit. Le contrôle tiendra largement compte du travail en équipe dans le projet, et évaluera également l'aptitude à rendre compte du projet sous la forme d'un rapport écrit, ainsi que lors d'une soutenance orale qui comportera un volet modélisation / évaluation.
L'évaluation est faite en trois phases successives : attribution d'une note de base (sur 20) visant à homogénéiser les critères d'évaluation entre thèmes, séries, jurys, puis attribution d'une note littérale, puis de la note chiffrée. Participent à cette évaluation les enseignants ayant encadré les séances et un des responsables du Modal.

La répartition des points de la note de base (sur 20 points) est la suivante :
Travail expérimental pour 7 points
- Dynamisme 4 pts
- Résultats 3 pts

Rapport écrit pour 5 points
-Argumentation scientifique 2 pts
-Forme du rapport 2 pts
-Originalité 1 pt

Soutenance orale pour 5 points
Qualité des explications 2 pts
Qualité de la présentation 1 pt
Réponses aux questions 2 pts

Modélisation/question théorique pour 3 points

Note littérale
À partir de l'ensemble des notes de base dans les thèmes qu'il examine, chaque jury attribue une note littérale à chaque élève.

Note chiffrée
Les responsables du Modal d'Electronique participent (à eux deux) à tous les jurys en vue d'une évaluation d'ensemble. À partir de la note de base et de la note littérale de chaque élève d'une part, du niveau moyen des groupes évalués par chaque jury d'autre part, ils attribuent les notes chiffrées en vue du concours des corps, conformément aux instructions de la DE (moyenne de 14/20).

Aptitude au travail expérimental
La qualité de votre travail expérimental sera jugée sur 7 points suivant la répartition suivante :
- Dynamisme (investissement en séance, travail en dehors des séances) : 4 points
- Résultats (qualité, quantité) : 3 points
Le chiffre obtenu est pondéré par le coefficient c = 1 - (0.3 × nombre de journées d'absence non justifiées).

Rapport écrit
Le rapport, rédigé en binôme, doit présenter de manière synthétique le projet étudié et réalisé. Ce rapport doit mettre en valeur la problématique du domaine et les objectifs visés, l'état de l'art et les différentes approches possibles sur la base d'une synthèse bibliographique, les moyens et les méthodes utilisés, les difficultés rencontrées, comment elles ont été surmontées, et les résultats attendus ou obtenus. Un bilan du projet sera effectué, ainsi qu'une projection sur ce qui pourrait être fait pour le poursuivre ou l'améliorer. Il doit être suffisamment clair et explicite pour être lu avec profit par un autre élève de la promotion qui n'a pas suivi le même enseignement.
La partie rédigée se doit d'être précise et concise et comportera de 15 à 20 pages.
Il est souhaitable que le rapport soit accompagné d'un CD-ROM contenant le texte du rapport à proprement parler, complété des annexes formées de photocopies de documentation, reproductions de résultats, listing de code informatique et programme de démonstration. Cependant, seule la remise de 2 exemplaires papiers est obligatoire.

La note du rapport écrit (5 points) se décompose de la manière suivante :
- Argumentation scientifique (présentation et analyse des expériences, des résultats, commentaires): 2 points
- Forme du rapport (dans la mesure où celle-ci est adaptée au fond) : 2 points
- Originalité (recul pris, pertinence des réflexions, suggestions) : 1 point
Comme les enseignants le recommandent systématiquement, il ne faut pas attendre les derniers jours pour rédiger le rapport, mais commencer cette rédaction dès que possible afin de ne pas manquer de temps. L'essentiel du rapport devrait être préparé avant la dernière séance, et seuls les résultats finaux seront à ajouter entre cette séance et la remise des rapports.

Soutenance orale
La soutenance orale se déroulera par binôme devant un jury comportant les responsables du Modal, le ou les enseignants des TREX ayant encadré votre travail de laboratoire et (le cas échéant) une personnalité extérieure faisant référence dans le domaine du projet.
Cet oral constitue une soutenance formelle du projet, et doit être un exposé ouvert, construit comme un séminaire scientifique. Il conviendra donc de bien présenter la problématique du sujet, et de rappeler l'état de l'art avant d'aborder ses propres travaux et les résultats obtenus.
L'usage d'une présentation sur vidéoprojecteur est considérée comme obligatoire.
La répartition des rôles dans cette présentation synthétique du projet dont la durée prévue est de 30 minutes (au total par binôme) incombe aux deux élèves binômés ; cependant, elle devra être la plus équilibrée possible. Une préparation soigneuse est fortement conseillée pour bien gérer le temps et ne pas être pris de court. La présentation sera suivie d'une période interactive de 20 minutes au cours de laquelle le jury se fera préciser des éléments du travail effectué dans le cadre du projet et vérifiera que les notions

sous-jacentes sont bien comprises.

Afin de préserver une égalité de traitement entre tous les élèves ayant travaillé sur un même sujet de projet, les interrogations orales ne sont pas publiques.

La note de la soutenance orale (5 points) se décompose de la manière suivante :
- Qualité des explications : 2 points
- Qualité formelle de la présentation : 1 point
- Réponses aux questions : 2 points

Modélisation/question théorique
Au début du Modal (séance 4) chaque binôme aura à présenter son projet expérimental lors d'un entretien de suivi de projet avec les responsables de la thématique et un des responsables du Modal.
Au cours de cette discussion une question théorique en corrélation directe avec votre projet sera définie.
Lors de la soutenance orale, un topo spécifique sur cette problématique devra être fait. Cette partie fera l'objet d'une notation sur 3 points.

Présentation des Thèmes expérimentaux
Il faut noter que le détail des thèmes effectivement organisés lors de chacune des deux séries du MODALs dépendra des thématiques techniquement ouvertes (disponibilités des enseignants recouvrement avec les EA de 3ème année) et en partie du choix des élèves puisque pour des raisons pratiques il faut au minimum 4 élèves sur un thème donné pour organiser l'enseignement correspondant.

Consultez les thématiques potentiellement proposées dans le cadre du MODALs « Electronique des signaux aux systèmes ».

Responsable : Yvan BONNASSIEUX, Razvigor OSSIKOVSKI
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : mardi 23 avril 2013

PHY441 Modal de Physique

La plupart de nos connaissances en physique ont été révélées par l'expérimentation. Le MODAL de Physique vise à restaurer une démarche qui conduit à la compréhension des phénomènes fondamentaux à partir de leur manifestation expérimentale.

Ce module propose plusieurs thèmes, regroupant en moyenne 4 à 8 élèves, et couvrant des domaines très variés de la physique. Les thèmes exacts proposés, et le détail de leur contenu, dépendront du nombre d'élèves dans le module, des exemples sont néanmoins présentés dans ce livret.

Pour la plupart de ces thèmes, les premières séances consisteront en une familiarisation expérimentale en observant des phénomènes simples dans des conditions bien caractérisées. Leur interprétation

s’effectuera en faisant appel à un aller-retour entre expérimentation et modélisation théorique, en s’appuyant sur des cours et/ou des documents écrits. La majeure partie du module sera ensuite consacrée à un projet sur un sujet proche de ceux étudiés en Laboratoire de recherche. Dans cette phase, les élèves disposent en général d’un grand degré de liberté pour mener le travail, qui peut être orienté selon leur choix. Durant tout le module, la méthode de travail à adopter doit être proche de celle du Laboratoire de recherche, qui requiert entre autres d’utiliser son sens physique, de se questionner sur la pertinence et sur les limites des mesures effectuées et de faire preuve de sens critique vis-à-vis de son propre travail.

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). 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).

Responsable : Serena BASTIANI-CECCOTTI, Vincent BOUDRY
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : lundi 29 avril 2013

PHY641M4S Modélisation Multiéchelle des Matériaux

Exposer les différentes méthodologies numériques (cadre théorique, mise en oeuvre, applications et limitations) utilisées pour modéliser les matériaux à différentes échelles, et commenter sur les problèmes de passage d'échelle (propagation d'informations vers les échelles supérieures). Exemples : fonctionnelle de la densité (quantique et classique), dynamique moléculaire (classique), Monte Carlo (classique), champ de phase, méthodes macroscopiques.

Exposer les différentes méthodologies numériques (cadre théorique, mise en oeuvre, applications et limitations) utilisées pour modéliser les matériaux à différentes échelles, et commenter sur les problèmes de passage d'échelle (propagation d'informations vers les échelles supérieures). Exemples : fonctionnelle de la densité (quantique et classique), dynamique moléculaire (classique), Monte Carlo (classique), champ de phase, méthodes macroscopiques.

Responsable : Mathis PLAPP
Période : Automne
Nombre d'heures : 24
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 22 février 2011

PHY564B Nanomaterials and electronic applications

Nanomatériaux et applications électroniques

Ce module introduit les développements récents dans le domaine des nanomatériaux semi-conducteurs à base de silicium ou de carbone, ainsi que leurs principales applications électroniques.

Plus précisément, les points suivants sont abordés :
Semi-conducteurs désordonnés : le silicium amorphe, nano- et polycristallin
Les nanofils de silicium : structure et croissance
Les nanotubes de carbone
Le graphène
Techniques de caractérisation des nanomatériaux : champ proche et spectroscopies
Applications électroniques : photovoltaïque, affichage (écrans plats), composants électroniques, détecteurs, capteurs…

Ce module complète le module PHY567 (Physique des semi-conducteurs et composants)

Cours dispensé en Anglais

Niveau requis
Physique quantique et statistique

Responsable : Razvigor OSSIKOVSKI, Costel-Sorin COJOCARU
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY562 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

Responsable : Alain ASPECT, Philippe GRANGIER
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 18 mars 2013

PHY587 Optique quantique expérimentale

Non ouvert en 2012/2013

L’optique quantique est un domaine de la physique qui traite l’application de la mécanique quantique aux phénomènes impliquant la lumière et ses interactions avec la matière.
Cet approfondissement offre une approche expérimentale à cette thématique. Il propose différents thèmes couvrants des domaines variés, allant de la physique fondamentale à des thèmes d'actualité technologique, comme les télécommunications.

Voici une liste indicative des sujets proposés :
Optique atomique et interaction atome-lumière : pompage optique et spectroscopie d'absorption saturée ;
Fabrication et utilisation d'un laser (p.ex. pour la transmission du son ou de l'image) ;
Optique non-linéaire : doublage de fréquence, interrupteur électro-optique ;
Optique en micro-cavité et bistabilité optique : couplage de modes dans une microcavité semiconductrice, contrôle tout optique de l'état d'un système, réalisation d'une mémoire optique.

Numerus clausus:8

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Serena BASTIANI-CECCOTTI
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 24 juillet 2012

PHY564C Optoelectronics

Optoélectronique

Cours enseigné en anglais

L’Optoélectronique est une discipline émergente située au confluent des propriétés électromagnétiques, électroniques et optiques de la Matière. Elle a des répercussions importantes dans les domaines de l'énergie, des télécommunications, informatique, électronique professionnelle (Défense, Sécurité, environnement, médicale,…).
Mettant en œuvre des concepts très sophistiqués (optique quantique, physique quantique du solide, physique ondulatoire …), elle présente toutefois un caractère applicatif immédiat. Clairement, cette mise en œuvre concrète – voire industrielle- de concepts très abstraits est un des éléments les plus marquants de cet enseignement.
Enfin, le cours met l'accent sur le caractère universel des concepts qui sont mis en oeuvre et que l'on retrouve dans tous les domaines de l'ingénierie et de la physique : accord de phase, vitesse de groupe, équations de modes couplés,...

Un pré-requis en PHY567-Physique des Semiconducteurs est souhaitable.

Les trois premiers cours sont consacrés aux outils de l'électromagnétisme propres à l'optoélectronique :
- propagation en milieu dispersif (modèle de Lorenz pour l'indice optique, équation parabolique)
- guide d'onde et miroirs de Bragg. Une place importante est consacrée aux analogies conceptuelles entre guide d'onde et puits quantiques d'une part, miroirs de Bragg et bande interdite d'autre part.
- plasmonique

Les deux cours suivants ont trait à la physique des oscillateurs lasers : inversion de population, équations corpusculaires, seuil de transparence et d'oscillation, mécanismes de blocage de modes (actifs et passifs), à l'origine des lasers à impulsions ultracourtes et très fortes puissances-crête. …). Le cours décrit alors les oscillateurs paramétriques optiques d'un point de vue classique puis quantique et les développements les plus récents sont largement abordés (matériaux retournés périodiquement, …).

Il se termine par un approfondissement de la physique de la diode laser, mettant en avant l'intérêt du concept de photons (équation corpusculaire du laser). Puis, les photodétecteurs quantiques sont largement abordés, en insistant sur leurs retombées industrielles gigantesques (caméras CCD, téléphone portables, Internet…).

Cours dispensé en Français ou Anglais, dépendant de l'auditorat

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Emmanuel ROSENCHER, Riad HAIDAR
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 14 mars 2013

MEC502 PA : Energies du XXième siècle

L'objectif de ce programme est l'acquisition des concepts scientifiques essentiels dans le développement des énergies dites « non fossiles » comme par exemple l'énergie nucléaire ou les énergies renouvelables. Il est par nature pluridisciplinaire, s'appuyant sur des cours proposés par 5 départements : physique, mécanique, mathématiques appliquées, économie, humanités et sciences sociales.

Responsable : Patrick LE TALLEC
Période : Hiver & Printemps
Dernière mise à jour : vendredi 26 novembre 2010

PHY589 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

Responsable : Pere ROCA i CABARROCAS
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY579 Physique de la conversion directe et du stockage de l'énergie

La conversion, le transport et le stockage de l'énergie constituent les trois principaux processus à l'œuvre au sein des systèmes énergétiques. Dans la plupart des systèmes classiques, non directes, la conversion thermique/mécanique/électrique est obtenue à travers un cycle thermodynamique entre une source chaude et une source froide. La physique des systèmes de conversion directe et une introduction à la physique des systèmes de stockage constituent le sujet de ce cours. Les principaux écarts à l'équilibre thermodynamique permettant d'extraire du travail de notre environnement sont : (i) les écoulements fluides, (ii) les gradients de potentiel mécanique, (iii) les gradients de pression, (iv) les gradients de température et (v) les gradients de potentiel chimique. Pour les cas (i) , (ii), et (iii) une conversion mécanique/électrique remarquablement efficace peut être envisagée ; par contre, pour (iv) et (v), l'usage de machines thermiques limite l'efficacité de conversion à un niveau de l'ordre de 1/3, en effet, les gradients de potentiel chimique sont habituellement relaxés par réaction chimique exothermique, générant ainsi un gradient de température.

Néanmoins, il est possible de concevoir des systèmes dit de « conversion directe d'énergie » fonctionnant sur ces gradients et n'utilisant pas les machines thermiques classiques ; les deux plus étudiés sont les cellules solaires et les piles à combustibles, mais plusieurs autres dispositifs de conversion directe d'énergie offrent de nombreux avantages par rapport aux machines thermiques classiques. Ce cours, à vocation généraliste, présente les principes de base mis en œuvre au sein de ces dispositifs de conversion directe et de stockage de l'énergie.

1 Conversions Thermique et Chimique Directe et Indirecte - 1.1 Principes de la Thermodynamiques 1.2 Flux et Forces Thermodynamiques, Transduction et Conversion 1.3 Machine de Carnot et Réacteur de Van't Hoff 1.4 Efficacité de Curzon-Ahlborn, Identité de Jarzynski 1.5 Conversions Directes Dynamiques et Thermiques

2 Energie et Entropie - 2.1 Fonctions Caractéristiques et Potentiels 2.2 Entropie de Boltzmann 2.3 Facteur de Boltzmann, Facteur de Gibbs

3 Travail et Chaleur - 3.1 Travail Mécanique, Electrique et Magnétique 3.2 Chaleurs Sensible, de Polarisation et de Magnétisation 3.3 Chaleurs de Réaction, Latente et de Transport

4 Transport et Dissipation - 4.1 Echange et Production d'Entropie 4.2 Equations de Fokker-Planck et Kolmogorov 4.3 Libre Parcours Moyen et Fréquence de Collisions 4.4 Mobilité et Diffusion 4.5 Conduction et Viscosité 4.6 Flux Couplés, Relations d'Onsager

5 Conversion Electrohydrodynamique - 5.1 Champ Critique dans un Gaz 5.2 Conversion Electrohydrodynamique 5.3 Double Couche de Debye 5.4 Conversion Electrocinétique

6 Conversion Magnétohydrodynamique - 6.1 Equilibre d'Ionisation, Loi de Saha 6.2 Conductivité et Loi d'Ohm 6.3 Principes, Régimes de Hall et Faraday 6.4 Modèles Electrique et Thermodynamique

7 Conversion Thermoïonique - 7.1 Relation de Richardson-Duschman 7.2 Convertisseur en Régime de Langmuir 7.3 Equilibre de Saha-Langmuir 7.4 Convertisseur en Régime de Schottky 7.5 Rendements et caractéristiques des convertisseurs thermoïoniques, réalisations et applications

8 Conversion Thermoélectrique - 8.1 Effets Peletier, Seebeck et Thomson 8.2 Générateur Seebeck 8.3 Réfrigérateur Peletier

9 Conversion Magnetocalorique et Electrocalorique - 9.1 Polarisation et Magnétisation 9.2 Loi de Curie-Weiss 9.3 Conversions Electrocalorique et Magnetocalorique 9.4 Réfrigération Magnétocalorique

10 Stockage de l'Energie, Stockage de Travail - 10.1 Stockage potentiel, stockage inertiel. Air comprimé et vapeur sous pression. 10.2 Stockages capacitif et inductif. Stockage de l'Energie, Stockage de Chaleur. 10.3 Chaleur sensible, chaleur de réaction, chaleur latente. 10.4 Accumulateurs haute température, accumulateurs basse température. 10.5 Accumulateurs physico-chimique à adsorption et réaction.

Responsable : Jean-Marcel RAX
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY595 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.

Responsable : Luca Perfetti
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : lundi 29 octobre 2012

PHY567 Physique des composants semi-conducteurs

Dans ce cours, on décline les concepts de base de la physique des semi-conducteurs sur l'exemple d'un petit nombre de composants, qui sont à la fois des composants-clés pour l'Industrie et l'Ingénierie (énergie, télécommunications, informatique, Défense et Sécurité, environnement, médical,…). et des systèmes modèles pour la physique fondamentale.

Après un rappel concis et ciblé des propriétés essentielles des semi-conducteurs «technologiques » (silicium et composés III-V), des phénomènes de transport et des propriétés optiques de ces matériaux, on étudiera en particulier :
- la jonction p-n : la diode p-n illustre la physique des dispositifs à porteurs minoritaires et constitue l'élément de base des cellules solaires
- le transistor à effet de champ métal/oxyde/semi-conducteur : le MOSFET est la brique de base des circuits intégrés numériques complexes
- la LED, qui va jouer un rôle majeur dans l'éclairage et les économies d'énergie
- la diode laser à puits quantiques, élément qui conditionne les performances ultimes des systèmes de télécommunication.

Contenu du cours :
- Structure de bandes
- Semi-conducteurs intrinsèques et extrinsèques
- Phénomènes de transport, jonction p-n
- Hétérostructures et puits quantiques
- Propriétés optiques
- Le transistor MOSFET, circuits électroniques de base
- La diode électroluminescente et la diode laser

Les deux derniers cours portant sur les diodes électroluminescentes et laser font l'objet de deux amphis en parallèle : un amphi pour les élèves plus particulièrement intéressés par la micro-électronique et un amphi pour ceux ayant choisi le module optoélectronique (PHY 564C), donc plus approfondi que le premier.

Des expériences illustratives sont réalisées en début de chaque cours.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Henri-Jean DROUHIN, Emmanuel ROSENCHER, Riad HAIDAR
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 28 mars 2013

PHY552B 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

Responsable : Ulrich BOCKELMANN, Rémi MONASSON
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 03 juillet 2012

PHY5802 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.

Cours dispensé en anglais

Contacter Pascal Paganini pour obtenir les notes de cours.

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

Période : Hiver & Printemps
Crédits ECTS : 10
Dernière mise à jour : mardi 19 mars 2013

PHY554 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

Responsable : Michel GONIN
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY565 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.

Responsable : Cécile SYKES, Arnaud ECHARD
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 18 mars 2013

PHY553 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

Responsable : Martin LEMOINE, Roland LEHOUCQ
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 17 décembre 2012

PHY432 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. Gilles Montambaux succédera à Marc Mézard à partir de 2013.

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

Responsable : Manuel JOFFRE, Jean-Philippe BOUCHAUD, Gilles MONTAMBAUX, Rémi MONASSON
Période : Printemps
Nombre d'heures : 72
Crédits ECTS : 10
Dernière mise à jour : mardi 23 avril 2013

PHY653_RST Polymères pour le photovoltaïque

Le développement de cellules photovoltaïques flexibles à très faible coût est un des challenges du futur de l'énergie solaire embarquée. L'approche polymère et plus généralement organique semble dans ce cadre comme l'une des plus prometteuse (comme le montre le rendement de 7.7% obtenu en avril 2010 par Heliatek GmbH et l'Université Technologique de Dresde).
Ce cours se propose donc de faire un tour d'horizon exhaustif des technologies et recherches misent en oeuvre pour la conception des cellules photovoltaïques organiques à base de polymères. Plus particulièrement seront abordés les points suivants :
- Synthèses et misent en oeuvres de polymères pour les OPV.
- Transports de charges et excitons dans les polymères
- Conception des cellules photovoltaïques organiques
- Polymères et copolymères à faible gap

En outre le rôle des polymères ne se résume pas aux matériaux actifs de type semi-conducteurs. Nous aborderons donc dans un second temps l'utilisation de ces derniers dans les problématiques des couches conductrices transparents et de l'encapsulation.

Responsable : Gilles Horowitz
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 18
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 08 mars 2011

PHY300 Première année

Enseigner aux étudiants les principes de la mécanique quantique qui est la théorie de base de la physique moderne et de nombreuses technologies récentes.

La mécanique quantique est la théorie fondamentale et complète des structures et processus à l'échelle microscopique : atomique, moléculaire et nucléaire. C'est un outil indispensable pour comprendre la physique, des particules élémentaires jusqu'aux étoiles et au Big Bang. C'est certainement une des très grandes aventures intellectuelles de l'histoire de l'humanité. Il y aura donc, pour tous les élèves, un cours

d'initiation à la mécanique quantique, à sa problématique et à ses principaux concepts. Ce cours aura des liens étroits tant avec le cours de mathématiques qu'avec celui de probabilités (cf Fiche PHY311)

Responsable : Philippe GRANGIER
Période : Printemps
Dernière mise à jour : vendredi 21 mai 2010

PHY581A Projet de recherche en Laboratoire

Cet Enseignement d'Approfondissement (EA) de 3e année offre une orientation plus « recherche » que les EA expérimentaux proposés traditionnellement aux élèves. Il a vocation à compléter les EA expérimentaux existants du Programme d'Approfondissement de Physique. Par rapport aux PSC de 2e année, l'accent est mis sur le caractère individuel du travail, sur l'intégration de l'élève dans un des laboratoires du département de physique, et sur la réalisation d'un véritable travail de recherche, pendant au moins une demi-journée par semaine.

Le module PHY571A désigne le module du premier trimestre, PHY581A celui du second mais il est fortement recommandé de coupler les deux modules (validés comme 2 EA).

Avec le chercheur encadrant le projet, chaque élève devra acquérir en autonomie les connaissances nécessaires au bon déroulement du projet. Il s'appropriera le sujet et intégrera les connaissances acquises pendant ses études à l'école. Les sujets constituent un travail ciblé, en lien direct avec les activités de recherche de niveau international des laboratoires de physique de l'école. Les projets sont de nature fondamentale ou appliquée, en priorité expérimentale, mais aussi théorique ou numérique. Les thématiques couvrent un large spectre, correspondant aux activités de recherche des laboratoires du département. Une fois le cadre bien défini, l'encadrant et l'élève gèrent ensemble librement le déroulement du travail, étant attendu que cette liberté stimule un investissement fort de la part de l'élève.
Cet EA a un numerus clausus de 12 projets.

La liste des Projets de Recherche en Laboratoire 2011 se trouve dans les ressources pédagogiques (en haut à droite).

Des renseignements supplémentaires concernant le déroulement de l'EA et les projets proposés peuvent être obtenus auprès du responsable de l'EA : Guilhem.Gallot@polytechnique.edu

Calendrier

• Depuis avril jusqu'au 13 juin : Prise de contact. Les élèves prennent contact avec les encadrants des projets qui les intéressent. Aucun projet n'est attribué avant le 13 juin, afin de laisser le temps aux élèves de discuter des projets avec les encadrants, qui pourront aussi juger de la motivation des différents élèves qu'ils auront rencontrés.
• 13 juin : Expression des souhaits. Les élèves expriment leur souhait sous la forme d'une liste de projets classés par préférence. Parallèlement, les encadrants adressent au responsable une liste classée des élèves, prenant en particulier en compte leur motivation.

• 20 juin : Attribution des projets. Les projets sont attribués aux élèves en fonction de leurs souhaits et de celui des encadrants.
• Jusqu'au 27 juin : Le cas échéant, la liste des projets restants sera affichée sur le site du département de physique : www.physique.polytechnique.edu. L'attribution de ces projets sera possible après discussion entre l'élève et l'encadrant.

Modalités d'évaluation
Le projet donne lieu à la rédaction d'un rapport synthétique devant mettre en évidence la maturité scientifique acquise par l'élève, et à une présentation orale de 20mn suivie de 10mn de question devant un jury formé du responsable du cours, du maître de stage et d'un enseignant du département.

Un même projet est en principe poursuivi sur deux trimestres et compte pour un cours dans chaque trimestre (PHY571A et PHY581A). L'évaluation à mi-parcours suit la règle précédente avec production d'un rapport intermédiaire et présentation orale, le rapport et la présentation finale pouvant compléter et reprendre ces éléments intermédiaires.

Responsable : Guilhem GALLOT
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 22 mars 2012

PHY571A Projet de recherche en Laboratoire

Cet Enseignement d'Approfondissement (EA) de 3e année offre une orientation plus « recherche » que les EA expérimentaux proposés traditionnellement aux élèves. Il a vocation à compléter les EA expérimentaux existants du Programme d'Approfondissement de Physique. Par rapport aux PSC de 2e année, l'accent est mis sur le caractère individuel du travail, sur l'intégration de l'élève dans un des laboratoires du département de physique, et sur la réalisation d'un véritable travail de recherche, pendant au moins une demi-journée par semaine.

Le module PHY571A désigne le module du premier trimestre, PHY581A celui du second mais il est fortement recommandé de coupler les deux modules (validés comme 2 EA).

Avec le chercheur encadrant le projet, chaque élève devra acquérir en autonomie les connaissances nécessaires au bon déroulement du projet. Il s'appropriera le sujet et intégrera les connaissances acquises pendant ses études à l'école. Les sujets constituent un travail ciblé, en lien direct avec les activités de recherche de niveau international des laboratoires de physique de l'école. Les projets sont de nature fondamentale ou appliquée, en priorité expérimentale, mais aussi théorique ou numérique. Les thématiques couvrent un large spectre, correspondant aux activités de recherche des laboratoires du département. Une fois le cadre bien défini, l'encadrant et l'élève gèrent ensemble librement le déroulement du travail, étant attendu que cette liberté stimule un investissement fort de la part de l'élève.
Cet EA a un numerus clausus de 12 projets.

La liste des Projets de Recherche en Laboratoire 2011 se trouve dans les ressources pédagogiques (en haut à droite).

Des renseignements supplémentaires concernant le déroulement de l'EA et les projets proposés peuvent être obtenus auprès du responsable de l'EA : Guilhem.Gallot@polytechnique.edu

Calendrier

• Depuis avril jusqu'au 13 juin : Prise de contact. Les élèves prennent contact avec les encadrants des projets qui les intéressent. Aucun projet n'est attribué avant le 13 juin, afin de laisser le temps aux élèves de discuter des projets avec les encadrants, qui pourront aussi juger de la motivation des différents élèves qu'ils auront rencontrés.
• 13 juin : Expression des souhaits. Les élèves expriment leur souhait sous la forme d'une liste de projets classés par préférence. Parallèlement, les encadrants adressent au responsable une liste classée des élèves, prenant en particulier en compte leur motivation.
• 20 juin : Attribution des projets. Les projets sont attribués aux élèves en fonction de leurs souhaits et de celui des encadrants.
• Jusqu'au 27 juin : Le cas échéant, la liste des projets restants sera affichée sur le site du département de physique : www.physique.polytechnique.edu. L'attribution de ces projets sera possible après discussion entre l'élève et l'encadrant.

Modalités d'évaluation : Le projet donne lieu à la rédaction d'un rapport synthétique devant mettre en évidence la maturité scientifique acquise par l'élève, et à une présentation orale de 20mn suivie de 10mn de question devant un jury formé du responsable du cours, du maître de stage et d'un enseignant du département. Un même projet est en principe poursuivi sur deux trimestres et compte pour un cours dans chaque trimestre (PHY571A et PHY581A). L'évaluation à mi-parcours suit la règle précédente avec production d'un rapport intermédiaire et présentation orale, le rapport et la présentation finale pouvant compléter et reprendre ces éléments intermédiaires.

Modalités d'évaluation
Le projet donne lieu à la rédaction d'un rapport synthétique devant mettre en évidence la maturité scientifique acquise par l'élève, et à une présentation orale de 20mn suivie de 10mn de question devant un jury formé du responsable du cours, du maître de stage et d'un enseignant du département.

Un même projet est en principe poursuivi sur deux trimestres et compte pour un cours dans chaque trimestre (PHY571A et PHY581A). L'évaluation à mi-parcours suit la règle précédente avec production d'un rapport intermédiaire et présentation orale, le rapport et la présentation finale pouvant compléter et reprendre ces éléments intermédiaires.

Responsable : Guilhem GALLOT
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 22 mars 2012

PHY551A Quantum optics 1 : lasers

Optique quantique : lasers

Cours dispensé en anglais

L'optique quantique décrit la lumière et son interaction avec la matière. Ce premier enseignement est consacré à la physique des lasers, domaine en plein essor où la distinction entre physique de base et physique appliquée n'a pas de pertinence.

Sujets enseignés :
- Probabilités de transition
- Interaction atome-rayonnement
- Principe et propriétés de base des lasers
- Lasers continus
- Lasers en impulsion
- Eléments d'optique statistique : application à la cohérence et à la largeur de raie laser
- Applications des lasers
- Manipulation et refroidissement d'atomes par lasers

Niveau requis
PHY432 - Physique quantique et statistique

Responsable : Alain ASPECT, Fabien BRETENAKER
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 28 janvier 2013

2A Quantum physics of electrons in solids (introduction to condensed matter p

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

Cours dispensé 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.

Niveau requis
PHY432 - Physique quantique et statistique

Modalités d'évaluation
Examen ecrit et travail en PC

Responsable : Antoine GEORGES
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY600 Quatrième année

Filière ingénieur en double diplôme :
• ESPCI
• ENSTA
• ENST
• Mines-Paristech
• CEA-INSTN
• Pétroles et Moteurs
• Supaéro
• Supélec
• Institut d'Optique Graduate School

Filière recherche : Master Physique et Applications.

Après le M1 "Physique", sept spécialités de M2 sont proposées en partenariat avec les universités de Paris VI-X-XI, l'Institut d'Optique Graduate School (IOGS), les Ecoles Normales Supérieures, l'Ecole Centrale, le réseau ParisTech (en particulier l'ENSTA):

Spécialités (M2 cohabilités par l'Ecole Polytechnique)
• Concepts fondamentaux de la Physique
• Optique, matière, plasmas
• Sciences des matériaux et nano-objets
• Fusion

• Dispositifs quantiques
• Nanosciences
• Physique des hautes énergies

Le M1 en langue anglaise "Physics for Optics and Nanosciences" ouvre vers les parcours en anglais des spécialités de "Optique, matière, plasmas" ou "Nanosciences"
Le M1 "High Energy Physics" (Physique des hautes énergies) propose une année de M2 à l'ETH de Zürich.

Filière de spécialisation à l'étranger
• Master et/ou PhD en Physique
• Physics
• Applied Physics
• Electrical Engineering
• Aerospace Engineering
• Mechanical Engineering

(Universités de Aix-la-Chapelle, Berkeley, Caltech, Cambridge, Cornell, Delft, Harvard, Karlsruhe, Londres, MIT, Munich, Princeton, Stanford, Stockolm, UCLA, Yale, ...)

Responsable : Philippe GRANGIER
Période : Printemps
Dernière mise à jour : lundi 27 juin 2011

PHY550 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.

Responsable : Jean-François ROUSSEL
Période : Automne
Nombre d'heures : 36

Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY558A Réacteurs nucléaires

Ce cours présente les principales filières de réacteurs nucléaires et les grands principes de leur fonctionnement à travers une initiation à la physique du coeur :

Rappels de physique nucléaire et introduction à la neutronique : radioactivité, interaction des neutrons avec la matière, fission, réaction en chaîne, sections efficaces
Principes du ralentissement des neutrons et de leur thermalisation
Application des théories du Transport (équation de Boltzmann) et de la Diffusion (loi de Fick) au calcul des flux de neutrons dans le coeur
Description technique et fonctionnelle des réacteurs à eau sous pression et des réacteurs à eau bouillante
Grands choix de conception pour les réacteurs à eau de 3è génération
Evolution du combustible et cinétique des réacteurs : effets des produits de fission, effets de réactivité et cinétique ponctuelle
Principes de fonctionnement et sûreté des réacteurs à eau sous pression
Introduction aux réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium et présentation de leurs spécificités par rapport aux réacteurs à eau

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Sylvain DAVID, Richard LENAIN
Période : Automne
Nombre d'heures : 31
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 03 juillet 2012

PHY431 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 d'abord, pour les élèves intéressés par des aspects du progrès conceptuel de la physique du XXe siècle, sans forcément vouloir continuer des enseignements de physique par la suite. Objectif utilitaire ensuite car d'autres disciplines, comme les mathématiques pures et appliquées ou la mécanique, font appel aux notions que nous aborderons dans ce

cours. Objectif d'ouverture enfin, car il s'agira d'élargir les connaissances en physique tout en les intégrant dans un cadre général plus fondamental. 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 Christoph Kopper (2011).

Responsable : Christoph KOPPER, Roland LEHOUCQ
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : lundi 21 janvier 2013

PHY568 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

Responsable : Marios PETROPOULOS
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4

Dernière mise à jour : mardi 03 juillet 2012

PHY563 Sciences des matériaux pour l'énergie

Programme du cours PHY563: Sciences des Matériaux pour l'Energie

Ce cours est l'occasion de mettre en relation des connaissances scientifiques et techniques pour l'analyse de systèmes énergétiques, qu'ils concernent la génération, le stockage ou l'utilisation rationnelle de l'énergie. Seront plus particulièrement analysés les aspects matériaux portant sur les énergies nouvelles renouvelables.

L'enseignement dispensé sera composé de cours, de petites classes et d'études de cas faites par les participants sur la base de documents proposés sur des questions associant problématiques énergétique et sciences de la matière. Ces dernières donneront lieu à un court rapport et une soutenance orale servant de base à l'examen.

L'enseignement sera l'occasion de donner des bases dans des domaines tels que la thermodynamique hors équilibre, l'électrochimie, la liaison chimique, la catalyse, les phénomènes de transport, … en privilégiant une présentation opérationnelle et en montrant l'identité de nombreux concepts apparus dans des contextes différents, en chimie et en physique notamment.

Seront abordés à la fois les problèmes relatifs à la génération d'énergie (Energies solaires photovoltaïque et thermodynamique, thermoélectricité, fuels solaires et valorisation du CO2, biomasse, éolienne, marine,…) ainsi que ceux relatifs à sa gestion : stockage et transport (Vecteur Hydrogène, Batteries, Supercapacités, Piles à combustibles, catalyse, transport d'électricité …) ou à sa bonne utilisation (utilisation rationnelle, économies d'énergie, analyse du cycle de vie,…).

Cet enseignement est issu de l'EA PHY 588, qui devient un cours à partir de 2012.

Contact: J.F. Guillemoles, jf-guillemoles@chimie-paristech.fr

Modalités d'évaluation
L'évaluation se fait par examen oral sur la base d'un travail personnel préalable

Responsable : Jean-François GUILLEMOLES
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 16 janvier 2012

PHY593 Semi-conducteurs et composants

Responsable :

Henri-Jean DROUHIN
LSI et DGAR, Ecole Polytechnique. Tél. 01 69 33 40 17 ;
Mél : hj.drouhin@polytechnique.edu

Autres enseignants :

Yvan BONNASSIEUX
LPICM, Ecole Polytechnique. Tél. 01 69 33 43 02 ;
Mél : yvan.bonnassieux@polytechnique.edu

Bernard DRÉVILLON
LPICM, Ecole Polytechnique. Tél. 01 69 33 43 01 ;
Mél : bernard.drevillon@polytechnique.edu

Thierry MELIN
Institut d'Electronique, Microélectronique et Nanotechnologie, Lille. Tél. 03 20 19 78 64 ;
Mél : thierry.melin@isen.iemn.univ-lille1.fr

Jean-Eric WEGROWE
LSI, Ecole Polytechnique. Tél. 01 69 33 45 55 ;
Mél : jean-eric.wegrowe@polytechnique.fr

PRESENTATION

Ce stage de recherche regroupe des thèmes de recherche - fondamentale ou finalisée - et de recherche-développement dans le domaine des "hautes technologies". Le stagiaire pourra être intégré dans une équipe de physiciens étudiant des concepts qui préparent l'électronique du futur, ou encore être intégré dans une équipe de R&D développant des systèmes. Entre l'ingénieur et le chercheur, il existe une différence dans le positionnement vis-à-vis de la physique : pour le premier, celle-ci est un moyen plutôt qu'une fin. Mais, qu'elle soit utilisée pour ses applications ou qu'elle soit l'objet même de la recherche, il s'agit toujours bien de la même Physique : les équations de Maxwell ou les principes de la Mécanique Quantique s'écrivent sous la même forme et possèdent le même contenu dans un centre de recherche industriel ou dans un laboratoire de recherche fondamentale !

La spécificité du métier d'ingénieur de recherche ou de développement est souvent d'avoir à mener un projet, en cherchant le degré ultime de performance et d'efficacité. Il doit également savoir être pragmatique, car il travaille avec des contraintes pratiques - tout particulièrement délais et coûts - souvent serrées. Les projets industriels présentent en général un caractère pluridisciplinaire marqué, ce qui n'implique pas que chacun devienne spécialiste de tout, mais soit capable de dialoguer efficacement avec des spécialistes d'autres disciplines.

Le stage de recherche consiste en un stage en laboratoire, universitaire ou industriel. Des stages en

entreprises - grandes entreprises ou "start up" - sont également proposés. La dimension internationale des hautes technologies amène naturellement à proposer de nombreux stages à l'étranger dans de prestigieux laboratoires. Dans tous les cas, le stagiaire participera, au sein d'une équipe, à un projet en cours. Les domaines concernés sont très variés : microélectronique, optoélectronique, spintronique, électronique grande surface, matériaux en couches minces, nanomatériaux, matériaux magnétiques, instrumentation optique...

C'est une étape logique et incontournable pour celles et ceux qui poursuivront leur formation dans le domaine de l'"Electrical Engineering".

STAGES EN FRANCE

Ces stages sont ouverts aux élèves indépendamment de leur cursus à l'Ecole. Les élèves, effectuant un stage en région Parisienne, se retrouveront à l'Ecole deux fois pendant la période de stage et présenteront brièvement l'état d'avancement de leur travail.

STAGES A L'ETRANGER

Un lien avec l'enseignement de troisième année est souhaitable. Ainsi les stages liés aux semi-conducteurs et à leurs applications ne sont ouverts qu'aux élèves ayant suivi le module d'enseignement "Physique des Composants Semi-conducteurs" (PHY567). Les stages dans le domaine de la Spintronique (Electronique de Spin) sont ouverts aux élèves ayant suivi l'approfondissement correspondant (PHY581B). En effet, une préparation préalable spécialisée - lors de l'EA les élèves travaillent sur des articles de recherche souvent en liaison directe avec leur futur stage - et une durée de stage prolongée sont indispensables pour aboutir à des résultats de niveau international. Il est fréquent que les élèves ayant suivi ce parcours publient, à l'issue de leur stage, dans des revues internationales de premier plan. De façon générale, les stages dans un pays éloigné (USA-Canada, Japon-Corée, Australie) se prolongent jusqu'à fin Juillet ou de préférence fin août. Il est recommandé d'entreprendre la définition de son stage le plus tôt possible, en concertation avec les enseignants.

EXEMPLES DE THEMES PROPOSES

- Semi-conducteurs (propriétés électroniques et optiques, élaboration)
- Micro- et nano-électronique (conception, élaboration et caractérisation des composants...)
- Optoélectronique (lasers à puits quantiques, détecteurs, composants III-V divers...)
- Spintronique (Spin transfert, Spin Hall effect, MRAMs, GMR, têtes de lectures de disques durs…)
- Electronique grande surface (écrans plats de visualisation, énergie photovoltaïque)
- Plasmonique
- Détecteurs (infrarouge, rayons X...) et capteurs
- Matériaux électroluminescents
- Couches minces à applications diverses (semi-conductrices, optiques...)
- Nanomatériaux (nanotubes de carbone, nanofils...)
- Physico-chimie des surfaces et interfaces
- Magnétisme et matériaux magnétiques
- Supraconductivité : matériaux et applications
- Métallurgie physique (dislocations, alliages...)
- Verres, polymères, cristaux liquides...
- Instrumentation optique (ellipsométrie...)
- Electronique médicale

- Electronique industrielle. Télécommunications
- Composants électroniques divers
- Traitement du signal. Traitement d'image

LABORATOIRES D'ACCUEIL

A l'Ecole Polytechnique :
- Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces ;
- Laboratoire de Physique de la Matière Condensée ;
- Laboratoire des Solides Irradiés

En France (exemples de laboratoires ou d'entreprises d'accueil - les possibilités sont très nombreuses) :
- Laboratoire de Photonique et Nanostructures (CNRS -Marcoussis)
- Institut d'Electronique Fondamentale (Univ Paris 11 - Orsay)
- Laboratoire Pierre Aigrain (ENS - Paris)
- Laboratoire de Physique des Solides (Orsay)
- CEA (Saclay, Grenoble, Cadarache)
- ONERA (Palaiseau)
- Thalès- R&T (Campus Polytechnique)
- Saint Gobain Recherche (Aubervilliers)
- Sagem (Argenteuil, Massy)
- ST Microelectronics (Crolles)

A l'Etranger (exemples de laboratoires ou d’entreprises d'accueil - les possibilités sont très nombreuses) :
- Universität Stuttgart (Allemagne)
- Universität Würzburg (Allemagne)
- Université de Barcelone (Espagne)
- University of Cambridge (Grande-Bretagne)
- Imperial College (Londres, Grande-Bretagne)
- Trinity College (Dublin, Irlande)
- CNR Rome (Italie)
- Ecole Polytechnique de Montréal (Canada)
- IBM (Zürich, CH, et Almaden, USA)
- Crocus Technology, Sunnyvale, CA (USA)
- University at Buffalo (USA)
- University of California (Los Angeles, San Diego et Santa Barbara, USA)
- University of Michigan (USA)
- Harvard University (USA)
- University of Northwestern (Chicago, USA)
- LAM Research (Fremont, USA)
- Universités de Kyoto et Tokyo (Japon)
- Australian National University (Canberra, Australie)

Responsable : Henri-Jean DROUHIN, Yvan BONNASSIEUX, Alain GREINER, Jean-Eric WEGROWE
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : jeudi 10 janvier 2013

MEC597 Stages de recherche en Energies

MEC597/PHY597
Département de Mécanique
Patrick Le Tallec - Ecole Polytechnique - LMS - Mél. : patrick.letallec@polytechnique.fr -
Tél : 01 69 33 57 85

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

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 exemples de catégorie de stages effectués les années précédentes:

- les réacteurs de fissions
- 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 réacteurs nucléaires
- 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.

Stage

Responsable : Patrick LE TALLEC, Frank CARRE, Arnd SPECKA
Période : Printemps
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : lundi 22 novembre 2010

PHY590 Stages de recherche scientifique de Physique

Coordinateur :
Henri-Jean Drouhin
Laboratoire LSI et DGAR, Ecole Polytechnique
Mél : hj.drouhin@polytechnique.edu
Tél. : 01 69 33 40 17

Contact département :
Patricia Vovard
Département Physique : poste 4020
Mél : patricia.vovard@polytechnique.edu

Sylvie Pottier
Département Physique : poste 4021
Mél : sylvie.pottier@polytechnique.edu
Fax : 01 69 33 40 22

Le stage de recherche scientifique en Physique consiste en un stage de 11 semaines minimum en laboratoire. Ce stage peut avoir lieu dans un laboratoire de recherche fondamentale ou dans un laboratoire de recherche industrielle.
Beaucoup de stages en Physique sont effectués à l'étranger (Etats-Unis, Allemagne, Japon, etc...).

7 domaines principaux sont proposés :Champs, Particules et Matière (PHY 591)
Astrophysique et Cosmologie (PHY 592)
Semi-conducteurs et Composants (PHY 593)
Lasers, Optique quantique, Plasmas (PHY 594)
Physique de la matière condensée (PHY 595)
Environnement, Terre, Océan, Atmosphère (PHY 596)
Energies (PHY 597)

Responsable : Henri-Jean DROUHIN
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480

Dernière mise à jour : jeudi 10 septembre 2009

PHY557 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

Responsable : David QUÉRÉ
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 17 décembre 2012

PHY560A Systèmes complexes

L'objectif du cours « Systèmes complexes » est de montrer comment les modèles et les méthodes de la physique statistique peuvent se décliner et trouver des applications intéressantes dans d'autres domaines où la notion de complexité est pertinente (biologie, informatique, économie, finance,…). On cherchera en particulier à développer l'intuition sur les ordres de grandeur, les phénomènes et sur le sens des modèles

et de la modélisation, en physique comme dans d'autres disciplines.

1. Probabilités et statistiques
Notions de base. Lois étroites, lois larges, lois de puissance. Sommes et max. Records. Théorème de la limite centrale. Entropie et mesure de diversité. Lois multi-variées et corrélations. Matrices aléatoires.
2. Mouvement Brownien, Equation de Langevin et de Fokker-Planck, Diffusion anormale
Mouvement Brownien, Equation de Langevin et de Fokker-Planck. Etat d'équilibre vs. Etat stationnaire. Loi d'Arrhenius. Equation de Langevin pour un champ (densité, interfaces, magnétisation, etc.). Migrations et multiplications : dynamique de populations, croissance de villes, dynamique de répartition. Diffusion anormale : mécanismes et exemples.
3. Séries temporelles complexes, intermittence, turbulence
Quelques exemples : séries temporelles (turbulence, finance), séries spatiales (fronts, fracture). Méthodes d'analyse : variogramme, spectre de puissance. Scaling dynamique et lois d'échelle. Séries temporelles complexes : Turbulence et Intermittence.Chocs et Trafic Routier.
4. Optimisation, systèmes à minima multiples
Optimisation : exemples. Chemins optimaux et états métastables. Phénoménologie générale des systèmes à minima multiples et diverses applications. Hysterèse. Avalanches. Verres et verres de spin. Modèles des énergies aléatoires. Dynamique lente, bruit en 1/f. Non-équilibre, vieillissement.
5. Cavité, Belief Propagation et Codes
Modèles d'optimisation et codes corrections d'erreur. Bases de la théorie de l'information. Bethe-Peierls et Belief Propagation, applications diverses. Paysages dans l'espace des phases et transition de complexité.
6. Effets collectifs
Modèle d'opinion avec imitation : Ising, Ising en champ aléatoire, transitions de phases. Bouche à oreille et diffusion des innovations, ségrégation. Formation de structures. Percolation et applications diverses.
7. Réseaux
Réseaux divers : réseaux sociaux, internet, communication. Dynamique de formation. Propagation d'épidémies. Effet petit monde. Google. Modèles de coagulation/fragmentation.
8. Finance et économie : méthodes de physiciens I
9. Finance et économie : méthodes de physiciens II
Phénoménologie des marchés financiers – statistique des prix, intermittence. Ordres de grandeur. Bulles et krachs. Modèles simples de rétroaction. Modèles d'agents en interaction. Marchés dérivés : futures, options. Stratégies de couverture. Méthodes d'optimisation fonctionnelles. Black-Scholes : mythe et réalité. « Smile » de volatilité. Offre et demande et mécanismes de formation des prix : microstructure des marchés. Impact et transactions optimales.

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Jean-Philippe BOUCHAUD, Giulio Biroli
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 11 février 2013

PHY564A Systèmes intégrés 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,….
Ce cours se propose d'aborder les techniques les plus modernes de conceptions des circuits à très forte intégration. De manière plus précise, les thématiques abordées seront :
Architecture interne des microprocesseurs
Processeurs RISC et techniques de pipe-line
Hiérarchie mémoire et Mémoires caches
Bus système et Périphériques (Exemple du PIBus)
Norme VCI et micro-réseaux intégrés
Périphériques d'entrée/sortie et accélérateurs matériels
Architectures Multicores à mémoire partagée cohérente
Modélisation et Prototypage Virtuel / SystemC
TP SystemC / SoCLib

Niveau requis
PHY432 – Physique quantique et statistique

Responsable : Alain GREINER, Yvan BONNASSIEUX
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 14 janvier 2013

PHY586 Technologie des réacteurs nucléaires et cycle du combustible

Ce cours présente certains aspects spécifiques de la technologie des réacteurs nucléaires et les principales étapes du cycle du combustible depuis la mine d'uranium jusqu'à la gestion des déchets radioactifs :

Principaux matériaux de structure utilisés pour le coeur et la chaudière des réacteurs nucléaires
Introduction aux dommages d'irradiation par les neutrons sur les matériaux du coeur
Principaux combustibles nucléaires, conditions de fonctionnement et limites technologiques
Introduction au cycle du combustible et à son économie : extraction de l'uranium, fabrication du combustible, passage en réacteur, recyclage du combustible usé et gestion des déchets radioactifs
Principales techniques d'enrichissement de l'uranium
Principaux procédés de traitement et recyclage du combustible usé
Principales techniques de traitement et conditionnement des déchets radioactifs
Recherches pour optimiser le recyclage vers une production réduite de déchets radioactifs et une résistance accrue aux risques de prolifération

Responsable : Frank CARRE, Hervé WILLAIME
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 28 février 2013

PHY566 Terre solide et environnement

Le but de ce cours est d'offrir une vue globale de l'évolution de la Terre depuis sa formation et celle du système solaire, son évolution précoce il y a 4 milliards d'années jusqu'à son évolution plus récente dont les grandes extinctions ou les changements environnementaux sont quelques uns des signes les plus emblématiques. Pour avoir du recul par rapport à tous ces changements il faut pouvoir, par exemple, reconstituer les changements climatiques qu'a connus la Terre au cours de son histoire géologique, comprendre les liens qui existent entre les processus géodynamiques et la composition de l'atmosphère à travers notamment les réactions d'altération chimique, mais aussi avoir des idées sur l'évolution climatique de Mars et donc en partie sur les processus qui font qu'une planète peut acquérir et conserver une atmosphère et une hydrosphère. L'évolution de la Terre doit être mise en perspective de l'évolution planétaire en général. De même, il semble difficile d'avoir une vision claire des questions de pollution des sols et des nappes d'eaux souterraines et des manières d'y remédier ou des questions de stockage de déchets sans connaître ce qu'est un gisement métallifère (ou de pétrole) et les processus géologiques qui ont fait ce gisement.

L'histoire de l'origine et de l'évolution de la Terre est enregistrée dans les compositions minéralogiques, chimiques et isotopiques des roches terrestres et extra-terrestres et toute la difficulté est dans la "lecture" de cette histoire pour arriver à une compréhension et à une modélisation physico-chimique des processus. Ce domaine de recherches a connu des avancées spectaculaires ces dernières années grâce au développement de nouvelles techniques d'analyse donnant accès à des échelles d'étude, que ce soit en résolution spatiale ou en précision, jusqu'à présent hors d'atteinte.

Ce cours présente l'état actuel des recherches et des connaissances sur la formation et l'évolution de la Terre en partant de l'observation des roches terrestres et des météorites et en montrant comment et avec quel degré de confiance les processus physiques et chimiques mis en jeu sont quantifiés. Les petites classes associées au cours permettront à travers de nombreux exemples de faire ce chemin allant de l'observation, et de l'analyse à la modélisation des processus. Des projets plus spécifiques de travail personnel ou une sortie géologique pourraient être organisés pour les élèves le souhaitant.

Responsable : Marc CHAUSSIDON
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 14 janvier 2013

PHY5801 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-ablélienne, règles de Feynman
- Action effective et potentiel effectif
- Si le temps le permet : Preuve de la renormalisation des théories de jauge non-abéliennes

Cours dispensé en Anglais

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

Responsable : Paul WINDEY, Boris PIOLINE
Période : Printemps
Crédits ECTS : 10
Dernière mise à jour : mardi 19 mars 2013

665 Théorie quantique des champs avancée et introduction à la théorie des co

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

Responsable : Boris PIOLINE, Paul WINDEY
Période : Automne
Nombre d'heures : 56
Crédits ECTS : 6
Dernière mise à jour : lundi 07 février 2011

PHY585 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

Responsable : Serena BASTIANI-CECCOTTI
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

PHY500 Troisième année

L'enseignement de base fait place, dans la seconde moitié des études à l'X, à des enseignements plus spécialisés : les programmes d'approfondissement en première et deuxième périodes, puis le stage de recherche de troisième année.

Un catalogue de cours est proposé par le département. Il comprend principalement des cours de physique, mais également des cours dont le thème est à l'interface de la physique avec une autre discipline (biologie, mécanique, informatique, mathématiques, mathématiques appliquées), et enfin des cours proposés par d'autres départements mais dont la thématique donne un éclairage complémentaire aux sujets développés par les physiciens.

Pour les étudiants qui ont une idée précise du secteur de l'industrie, de la technologie ou de la recherche auquel ils souhaitent se préparer (comme par exemple l'énergie, l'environnement, la physique théorique, la biophysique, l'electrical engineering, etc…) le département de physique propose, à travers les programmes d'approfondissement et les thématiques qui les composent, des cursus couvrant la troisième année (année de master M1) et la quatrième année (année de master M2). Ces étudiants peuvent ainsi identifier les enseignements, les domaines de stages et les formations de quatrième année qui sont le mieux adaptés à leur souhait de formation (parfois le nombre des cours recommandés aux premier et deuxième trimestres, est inférieur au nombre minimum de cours requis et l'étudiant pourra compléter son cursus par le choix d'autres cours ayant une certaine pertinence avec ses objectifs).

Dans ce cadre, le Programme d'Approfondissement « Physique » propose trois Parcours Thématiques

généralistes, et deux Parcours Internationaux plus spécialisés (PON et PHE), qui donnent tous accès à un M1 dans la spécialité "Physique et Applications". Le Programme d'Approfondissement "Physique" est décrit en détail sur le site web du département à partir du lien suivant :
http://www.physique.polytechnique.edu/accueil/enseignement/annee-3/pa-physique/

Certains étudiants n'ont pas un projet personnel et professionnel encore complètement fixé, ou ont un projet qui ne s'identifie pas exactement à l'un des programmes d'approfondissement/thématiques existants. D'autres encore souhaitent découvrir les méthodes de modélisation ou d'instrumentation de la physique moderne, pour pouvoir ensuite les utiliser dans un autre domaine qui constitue leur centre d'intérêt principal. Pour tous ces étudiants, l'offre du département de physique permettra d'allier l'acquisition des connaissances qui les préparent à leurs spécialisations de quatrième année et à la connaissance approfondie de certains domaines de la physique moderne. L'offre du département de physique est en effet toujours structurée de sorte que les étudiants puissent suivre les cours de troisième année avec profit, pendant un seul trimestre, ou pendant les deux trimestres à la suite, et choisir le sujet de leur stage de recherche en accord avec leur projet personnel.

La grande majorité des enseignements proposés reposent sur les bases de la physique microscopique enseignées en première et deuxième année.

Les cours de première période (P1) offrent aux étudiants la possibilité de s'initier aux grands domaines de la physique moderne : optique quantique et lasers, physique des solides, particules élémentaires, astrophysique et physique nucléaire, physique des objets biologiques, origine des propriétés mécaniques, matière molle.

Les cours de deuxième période (P2) préparent de façon plus spécifique aux formations spécialisées de quatrième année : masters de recherche en physique fondamentale, en sciences des matériaux, en optique, en géophysique, en astrophysique et à l'interface physique-biologie, introduction aux bases physiques et technologiques de l'électronique et de l'optique industrielles. Dans tous les programmes d'approfondissement, des thèmes variés d'actualité scientifique donnent également lieu à un travail d'approfondissement individuel, théorique ou expérimental, assorti d'un rapport écrit et d'une soutenance orale.

Responsable : Philippe GRANGIER
Période : Printemps
Dernière mise à jour : mardi 03 juillet 2012

PHY583 Trous noirs, etoiles à neutrons et phénomènes associés

Les étoiles à neutrons et les trous noirs sont parmi les astres les plus fascinants rencontrés dans l'Univers. L'étude de la structure de l'espace-temps à leur voisinage, et de leur structure interne dans le cas des étoiles à neutrons, permet de sonder des conditions extrêmes en terme de gravité ou de densité de la matière. Leur formation libère une énergie gravitationnelle énorme qui les associe à des phénomènes explosifs spectaculaires tels les supernovae ou les sursauts gamma. Une fois formés, les étoiles à neutrons et les trous noirs sont des sources de rayonnement puissantes, en particulier dans le domaine

des rayons X et gamma :
rayonnement "pulsar" des étoiles à neutrons, rayonnement associé à l'accrétion de matière arrachée à une étoile compagnon ou à l'environnement, … Dans certains cas, ces sources sont mêmes capables d'éjecter de la matière à des vitesses très proches de celle de la lumière.
Cet enseignement d'approfondissement se propose d'aborder ces différents aspects qui sont au coeur de la thématique de l'astrophysique des hautes énergies.

Responsable : Frédéric DAIGNE
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 09 juillet 2012