

Société Française de Physique

Colloque « L'enseignement de la physique subatomique »

Conservatoire National des Arts et Métiers - 18 & 19 novembre 2010

Session 2 : 18/11/2010

La physique subatomique dans les écoles d'ingénieurs et à l'université

La physique subatomique à l'université

Corinne Augier
Université Claude Bernard Lyon 1
IPNL/IN2P3-CNRS

Plan

- 1- Le programme de physique subatomique à l'université
- 2- La physique subatomique en licence
 - En L1 : SVT, les concours PCEM, PCPM
 - En L2, L3 : au travers d'options
 - Les licences pro vers les métiers du nucléaire
- 3- La physique subatomique en master
 - En M1 : introduction
 - En M2 : spécialisation
 - M2 recherche et M2 pro
- 4- Quelques programmes spécifiques

1- Les programmes « standards » pour la physique subatomique à l'université

En L1 et L2 : physique subatomique

= physique du noyau, radioactivité et applications

A partir du L3 : physique subatomique

= physique du noyau, radioactivité et applications

+ physique neutronique et réacteurs

A partir du M1 : physique subatomique

= introduction à la physique nucléaire,
caractéristiques et comportement des noyaux,
application à l'astrophysique nucléaire

+ introduction à la physique des particules,
« zoologie », lois de conservations, constituants
élémentaires et interactions fondamentales

1- Les programmes « standards » pour la physique subatomique à l'université

En M2, pour les universités avec UMR « IN2P3 » :

La physique subatomique est enseignée dans des masters 2 spécialisés.

Ceci permet de dispenser une formation de haut niveau pour de futurs chercheurs, enseignants-chercheurs, théoriciens ou expérimentateurs, ou futurs ingénieurs dans de grandes entreprises, avec de larges connaissances en physique fondamentale.

Ces formations s'accompagnent toutes de stages en laboratoire (physique expérimentale ou théorique, M2R) ou en entreprise (M2P vers les métiers du nucléaire).

2- La physique subatomique en licence

En L1 : Physique pour les Sciences de la Vie et de la Terre,
Pour les concours PCEM, PCPM (médical, paramédical)

Physique subatomique = applications de la physique nucléaire : globalement déjà fait au lycée !

- notion de noyaux stables, radioactifs
- qu'est-ce qu'une réaction nucléaire ? Comment l'équilibrer ? Quelle est l'énergie disponible dans la réaction (exo ou endoénergétique) ?
- les processus radioactifs : désintégrations α , β^- , β^+ , capture électronique (attention au neutrino !)
- niveaux fondamental et excités (quantification), la désexcitation γ (attention au mélange avec processus radioactif)

2- La physique subatomique en licence

En L1 : Physique pour les Sciences de la Vie et de la Terre,
Pour les concours PCEM, PCPM (médical, paramédical)

Physique subatomique = applications de la physique nucléaire : globalement déjà fait au lycée !

- notions d'activité, période radioactive, constante radioactive
- les applications : datation (carbone 14, potassium-argon, rubidium-strontium, uranium-plomb) ; les traceurs radioactifs et leurs applications en médecine (notion de période biologique et période effective) ;
- interaction rayonnement-matière (principalement pour gammas et rayons X) ; comment se protéger des rayonnements ? notions de dose reçue et dose effective (fonction du rayonnement).

2- La physique subatomique en licence

En L1 : dans des UE spécifiques (ex. : sciences de l'univers, introduction à la radioactivité, ...)

Physique subatomique = applications de la physique nucléaire : globalement déjà fait au lycée !

- Désintégrations radioactives, notions d'activité, période radioactive, constante radioactive
- Application principale pour la datation des roches en astrophysique ou géologie (potassium-argon ou rubidium-strontium)

Rq : la physique subatomique n'est pas au programme de physique générale (mécanique, optique, thermo,...)

Livre conseillé aux enseignants pour assurer une très bonne transition lycée-université pour la subatomique : « Passeport pour les deux infinis » (IN2P3, CEA, Universités) - Dunod

2- La physique subatomique en licence

En L2, L3 : au programme de physique mais presque toujours au travers d'options

Physique subatomique = applications de la physique nucléaire

- les mêmes notions que pour les L1
- + l'interaction rayonnement-matière globale (particules neutres et chargées)
- + fusion, fission, physique neutronique et réacteurs nucléaires, énergie nucléaire et environnement

+ des cours ou options en physique utiles pour comprendre la physique subatomique :

- physique mathématiques et théorie des groupes
- physique ondulatoire et corpusculaire
- la mécanique quantique
- cosmologie et relativité générale

2- La physique subatomique en licence

Les licences pro vers les métiers du nucléaire

Des licences professionnelles tournées vers le développement durable et l'environnement :

Toujours des applications de la physique nucléaire : radioprotection, gestion des déchets nucléaires, physique médicale, etc...

Exemple à Lyon 1 : forte implication du groupe ACE (Aval du Cycle Electro-Nucléaire) dans l'enseignement → vers les métiers du nucléaire.

Leurs thématiques : déchets nucléaires ; étude du combustible des réacteurs de 2ème génération ; les matériaux constitutifs des réacteurs nucléaires du futur (génération IV).

Ouverture, en septembre 2009 à l'UCBL de la licence Professionnelle en alternance RD2: « Radioprotection, Démantèlement et Déchets nucléaires : chargé de projets ».

1^{ère} promotion 2009-2010 : 7 étudiants dont 5 en alternance avec contrats de professionnalisation et 2 en formation initiale.

2^{ème} promotion 2010-2011 : 12 étudiants dont 10 en alternance avec contrats de professionnalisation et 2 en formation initiale.

Contact: rd2@ipnl.in2p3.fr

3- La physique subatomique en master

En M1 : une introduction à la physique nucléaire et à la physique des particules

Souvent en UE obligatoire dans les M1 physique et physique-chimie : cours/TD/TP.

+ des UE spécifiques associées :

- théorie des groupes,
- électrodynamique classique et quantique
- théorie quantique des champs
- physique médicale
- astrophysique et astroparticules (de l'infiniment petit à l'infiniment grand)

3- La physique subatomique en master

En M1 : une introduction à la physique nucléaire et à la physique des particules

Séparation physique nucléaire / physique des particules

Les notions générales :

- masses, énergies, impulsion, relativité restreinte, phénomènes relativistes et ultra-relativistes, unités, référentiels
- niveaux d'énergie des noyaux et particules
- durée de vie d'un phénomène, d'un niveau
- accélérateurs linéaires, collisionneurs, cyclotrons, synchrotrons, section efficace et luminosité, cinématique des réactions et collisions
- les détecteurs et les méthodes de détection

3- La physique subatomique en master

En M1 : une introduction à la physique nucléaire et à la physique des particules

Séparation physique nucléaire / physique des particules

La physique nucléaire :

- les modèles phénoménologiques pour comprendre les caractéristiques du noyau (goutte liquide, modèle de champ moyen, gaz de Fermi, modèle des couches), rayon et densité nucléaires, facteur de forme, désintégrations radioactives, émission alpha, fusion, fission, paraboles de masse

- le lien avec l'astro : astrophysique nucléaire, neutrinos solaires et atmosphériques, les processus solaires

3- La physique subatomique en master

En M1 : une introduction à la physique nucléaire et à la physique des particules

Séparation physique nucléaire / physique des particules

La physique des particules :

- les constituants élémentaires de la matière (quarks et leptons), les interactions fondamentales : bosons intermédiaires et constantes de couplages, la physique hadronique (zoologie des particules), les paramètres du modèle standard (MS) et ses évidences expérimentales, CPT et violations associées, le problème de la masse des neutrinos

- limites du MS et introduction à la physique au-delà du MS (les modèles de grande unification, SUSY, ...)

3- La physique subatomique en master

En M1 : une introduction à la physique nucléaire et à la physique des particules

En général :

- Les étudiants n'ont pas de problème particulier pour comprendre les concepts entre les cours et TD
- Il peut y avoir des problèmes pour la résolution des TD à cause du niveau hétérogène des étudiants en physique mathématique et en mécanique quantique : difficultés pour certains si exercices trop calculatoires et déception pour ceux qui souhaitent faire de la physique théorique si niveau trop faible
- En TP : principalement utilisation de détecteurs de type physique nucléaire (NaI+PM, jonction, diode germanium)

3- La physique subatomique en master

Spécialisation en M2 - 1) Les M2 Recherche

Les M2 recherche en physique subatomique sont associés aux universités ayant des laboratoires UMR de l'IN2P3 ou des laboratoires du CEA.

Pour l'IN2P3 les villes associées sont :

Grenoble (LPSC), Nantes (Subatech), Lyon (IPNL et LMA), Marseille (CPPM), Clermont-Ferrand (LPC), Bordeaux (CENBG), Caen (LPC), Annecy (LAPP + site de Chambéry), Strasbourg (IPHC), Montpellier (LPTA)

En région parisienne, Paris (APC, LPNHE), Palaiseau (LLR), Orsay (IPNL, CSNSM, LAL, IMNC)

3- La physique subatomique en master

Spécialisation en M2 - 1) Les M2 Recherche

Les M2 recherche en physique subatomique permettent de dispenser une formation de haut niveau pour de futurs chercheurs, enseignants-chercheurs, théoriciens ou expérimentateurs, ou futurs ingénieurs dans de grandes entreprises, avec de larges connaissances en physique fondamentale.

Ils reprennent les programmes des M1 en insistant sur la compréhension fine des calculs (nécessite des connaissances plus approfondies en théorie, notamment en théorie quantique des champs, QED et QCD, souvent dispensées en M2), sur les méthodes de détection, simulation et analyse.

3- La physique subatomique en master

Spécialisation en M2 - 1) Les M2 Recherche

On obtient les programmes détaillés des M2 de physique subatomique sur internet à partir des mots-clés:

- subatomique
- nucléaire ou noyaux
- particules
- astroparticules
- cosmologie

Les spécialités offertes vont dépendre des thématiques des laboratoires associés aux différentes écoles doctorales

3- La physique subatomique en master

Spécialisation en M2 - 1) Les M2 Recherche

Après une première partie de tronc commun, les étudiants vont choisir leur spécialité entre :

- **physique nucléaire** (matière nucléaire et matière hadronique, plasma quarks-gluons,...) et applications (neutronique, aval du cycle électro-nucléaire, applications médicales des rayonnements ionisants,...)

- **physique des particules** (constituants élémentaires, interactions, symétries de jauge et violation, modèle standard et au-delà, physique de la beauté, physique des neutrinos,...)

- **physique théorique**

- **physique des accélérateurs**

- **cosmologie et astroparticules**

3- La physique subatomique en master

Spécialisation en M2 - 1) Les M2 Recherche

Quelques parcours recherche de M2 peuvent être plus spécifiquement tournés vers les applications du nucléaire :

Exemple : demande d'habilitation d'une spécialité de M2 **SYVIC** (Synthèse Vieillesse et Caractérisation des matériaux du nucléaire) entre l'INSA de Lyon et l'UCBL (avec des UE du master MANUEN (MAterial science for NUclear ENergy) de Grenoble).
La maquette a été approuvée par J. P. Nabot du CEA qui est l'un des membres du Comité de Formation en Energie Nucléaire (CFEN).

3- La physique subatomique en master

Spécialisation en M2 - 2) Les M2 Pro

Les M2 Pro sont tournés vers l'industrie du nucléaire ou les applications du nucléaire dont les besoins sont très importants pour les prochaines années dans les thématiques :

- Réacteurs nucléaires, énergie nucléaire, démantèlement des centrales,...
- Utilisation médicale des rayonnements ionisants et radioprotection

Exemple : M2 Pro « nuclear engineering » (INSTN/UPS 11)

- Besoin important de techniciens et ingénieurs est exprimé par les acteurs industriels du nucléaire.
- R&D en amont et en support du déploiement industriel se poursuit dans des organismes de recherche nucléaires comme le CEA et dans certaines universités.
- L'Université Paris Sud 11 (Orsay) et l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN) du CEA/Saclay proposent aux étudiants désireux de travailler dans le domaine de l'énergie nucléaire une spécialisation de M2 qui permet soit une insertion professionnelle immédiate à Bac+5, soit une poursuite d'étude et de recherche en thèse de doctorat.
 - en option du M1 de physique fondamentale à Orsay, pour préparer à ce M2 : Génie nucléaire
 - en M2, formation approfondie dans le domaine de la physique des réacteurs nucléaires, permettant d'exploiter les outils existants, de développer et d'installer les réacteurs de troisième génération, de concevoir et de mettre au point les systèmes du futur encore appelés « systèmes intégrés » (génération IV).

Exemple : M2 « Applications et recherches subatomiques » - Parcours Pro RIA « Rayonnements ionisants et applications » (Université de Nantes)

- Le parcours RIA permet l'inscription au concours d'entrée au DQPRM (Diplôme de Qualification en Physique Radiologique et Médicale), qui forme des personnes spécialisées en radiophysique médicale.

- Mission : garantir la qualité et la sécurité dans l'utilisation médicale des rayonnements ionisants. Besoin important de techniciens et ingénieurs est exprimé par les acteurs industriels du nucléaire (radiothérapie et imagerie médicale).

Exemple : Master « nuclear energy » (UPS11/Ecoles de Paris Tech/Ecole Centrale Paris et Supelec/INSTN)

Master complet sur 2 ans proposant une formation couvrant l'ensemble des domaines liés à l'énergie nucléaire.

En M1 : éléments de physique nucléaire, sciences des matériaux, filières énergétiques, gestion de projet, économie de l'énergie,...

En M2, cinq spécialités orientées recherche ou professionnelles :

- Physique et ingénierie des réacteurs nucléaires

- Conception des installations nucléaires

- Exploitation des installations nucléaires

- Cycle du combustible (Ingénierie ou radiochimie)

- Démantèlement et gestion des déchets

4- Quelques programmes spécifiques

Lien avec les écoles d'ingénieurs : un exemple à Orsay (UPS 11) : **Licence 3 et Master « Double Diplôme de Physique Fondamentale d'Orsay »**

Dans le cadre du Magistère de Physique Fondamentale d'Orsay, possibilité d'obtenir la **Licence et le Master de Physique Fondamentale d'Orsay** pour les élèves des Grandes Ecoles de la Région Parisienne.

Certains enseignements sont validés en école, les autres à l'université.

Accord de partenariat signé avec l'Ecole Centrale de Paris et avec l'Institut d'Optique Graduate School, et peut être appliqué aux élèves des autres écoles (Mines, Supélec, ...). Les enseignements de ce module sont dispensés le soir à partir de 18h à l'université.

L'UE de « Mécanique Quantique » est au programme du L3, l'UE de « Noyaux et Particules » est au programme du M1. Incite certains élèves ingénieurs à poursuivre en M2 de physique subatomique !

4- Quelques programmes spécifiques

Les cours/conférences de physique nucléaire ou physique des particules pour les maîtrises des universités hors IN2P3 → programme organisé par l'IN2P3

Permettait un complément au cours « physique atomique et subatomique » donné par des enseignants-chercheurs en physique atomique → ouverture vers les M2 de physique subatomique.

Exemple : « Constituants élémentaires et interactions fondamentales », la physique des particules en 3h.

- pour les étudiants de la maîtrise de Lille (4 ans jusqu'à la mise en place du LMD)
- pour les étudiants de la maîtrise de Poitiers (2 ans)