

*LP41 Fusion, fission**Ancien intitulé : LP45 Le noyau : stabilité, énergie. Applications*

*Rapport du jury 2014 : Leçon 41:* Le nouvel intitulé de cette leçon doit inviter les candidats à réfléchir à la physique sous-jacente aux phénomènes de fusion et de fission nucléaires.

Leçon qui demande une bonne culture en physique nucléaire mais qui doit être traitée dans l'esprit général des leçons de mécanique quantique de l'agreg : une leçon d'introduction où l'on montre que les concepts de base de la mécanique quantique et les raisonnements de la physique générale permettent d'expliquer qualitativement et quantitativement (dans certains cas) les phénomènes et les ordres de grandeurs observés en physique nucléaire, en particulier ceux qui concernent l'existence, la stabilité et l'énergie de cohésion du noyau. Les plus manifestes sont la fusion et la fission.

La démarche est sensiblement la même que dans l'ancienne leçon sur « la cohésion de la molécule et des solides ». Un exemple intéressant de cette démarche est donnée dans le livre de mécanique quantique de J.L. Basdevant (chapitre 19) et dans l'article cité ci-dessous de V. Weisskopf [Weisskopf, 1975] dont J.L. Basdevant s'est inspiré et qu'on retrouve dans le chapitre du livre « Quantique : rudiments » de J.M. Lévy-Leblond et F. Balibar. Il y a aussi dans la leçon un côté vulgarisation scientifique de haut niveau qui n'est pas le moins intéressant.

On n'attend pas bien sûr d'expériences mais on peut apporter beaucoup d'illustrations expérimentales et d'applications.

Du point de vue de la mécanique quantique, la leçon peut être un moyen d'illustrer l'utilisation et les conséquences du principe de Pauli.

Rapport 2004 - Leçon 47 : « Ce nouveau sujet, introduit pour compléter les thèmes abordés à l'oral de l'agrégation, a donné lieu à des exposés souvent attractifs mais un peu trop qualitatifs et descriptifs. Les candidats doivent évidemment avoir des connaissances sur les techniques expérimentales qui permettent d'obtenir des informations sur la taille et la structure interne du noyau. ». Les rapports 2007, 2008, 2009 et 2010 insistent sur les applications, en particulier l'énergie nucléaire.

**Les ingrédients** (à choisir selon ses goûts)

- Les faits élémentaires:

La dimension du noyau, l'expérience de Rutherford (Geiger et Marsden) et les expériences de diffusion de particules,

La composition du noyau et la découverte du neutron (Becker, Bothe, Chadwick, Joliot-Curie),

Carte des noyaux stables, vallée de stabilité,

Masse et énergie de liaisons des noyaux,

Indépendance de charge de l'interaction forte

- Ordres de grandeurs élémentaires : énergie cinétique des nucléons dans le noyau, énergie coulombienne de répulsion, ordre de grandeur de l'énergie d'interaction forte nécessaire pour expliquer la stabilité du noyau.

- Modèles semi-quantitatifs :

Le modèle de la goutte liquide, formule de Weizsäcker, **discussion des différents termes**

Le principe de Pauli et le modèle du gaz de Fermi

**-Le cœur de la leçon** : fusion et fission (application du modèle de la goutte liquide). Application à l'énergie nucléaire

- Quelques ouvertures, applications ou éléments à connaître :
  - Stabilité et instabilité du noyau : radioactivités ( $\alpha$  et  $\beta$  (interaction faible)),
  - Expériences de diffusion de particules sondant la structure des noyaux
  - Interaction et échange de particules : le modèle du méson de Yukawa, masse et portée des interactions (voir Berkeley de Mécanique Quantique)
  - Le modèle en couches et les noyaux magiques,
  - Description en termes de quarks et de gluons
  - Matière nucléaire et astrophysique (étoile à neutrons)

### Exemples de questions

Comment détecte t'on l'existence des isotopes?

Comment mesurer le spin d'un noyau ?

Comment tester et prouver l'invariance de charge de l'interaction forte ?

Qu'est ce qu'une section efficace ?

Qu'appelle t'on « résonance magnétique nucléaire », « noyaux miroirs »?

Pourquoi le « Bineutron » où l' Hélium II n'existent ils pas ?

Pourquoi le neutron est-il stable à l'intérieur d'un noyau alors qu'il se désintègre spontanément à l'état libre ?

Pourquoi le noyau n'est-il pas fait de protons et d'électrons comme on le croyait avant 1930 ?

### Bibliographie

- Balibar, Levy-Leblond « Quantique, rudiments », Masson (en particulier le chapitre 7 : comportements collectifs : quantons identiques et la discussion du principe de Pauli, avec les inégalités de « Heisenberg-Pauli » discutées aussi dans Basdevant et Dalibard « Mécanique Quantique ».

-V. F. Weisskopf, Science **187** (1975) 607-612 « Of atoms, mountains and stars: a study in qualitative physics »

- Luc Valentin “Le monde subatomique” et “ Noyaux et particules “ (chap 1, 2, 4) Hermann ou la version plus ancienne « Physique subatomique : noyaux et particules », en particulier les chapitres 1(méthode d'observation), 2 (généralités sur l'interaction forte) et 5 (l'état fondamental des noyaux stables, le modèle de la goutte liquide et la formule de Weizsäcker).

- autres livres de physique nucléaire : « Introduction à la physique nucléaire » , D. Halliday (Dunod), « Theoretical nuclear physics » Blatt et Weisskopf, « Nuclear forces », B.M. Brink, Pergamon (recueil d'articles originaux commentés).

Gilbert Pietryk, Panorama de la physique, Belin 2007 (plusieurs articles d'astrophysique et physique nucléaire)