

LP 42 : Fusion, fission

Armél JOUAN, Géraud DUPUY

Ancien titre :

- **Le noyau : stabilité, énergie. Applications.** Dans ce cas, mettre l'accent sur les désintégrations, paraboles de masse, faire une application avec la fusion ou la fission.

Ebauche de plan - Niveau : \simeq L3

Introduction : La part du nucléaire dans l'énergie électrique française est d'environ 70 %. De plus c'est un sujet de société, donc il est capital d'en comprendre les ressorts.

Prérequis

- Interactions gravitationnelle et électromagnétique
- Relativité : énergie de masse
- Machines thermiques
- (Mécanique quantique : effet tunnel)

1 Noyau et stabilité

1.1 Noyau et interactions

- Définition noyau A_ZX , Définition A, Z, $N = A - Z$
- Listing des interactions (sur slide):
- Gravitationnelle: attractive entre 2 corps massique, négligeable ici
- Électromagnétisme: attractive ou répulsive entre 2 corps chargé. 10^{37} plus forte que la gravitationnelle pour les noyaux. Rends les noyaux instables si seules présente

- Forte: Très courte portée (10^{-15} m) et très intense (100 fois plus que l'Emag). Elle ne s'intéresse pas à la charge, et donc ferait des noyaux très stables avec juste des protons ou des neutros
- Faible: Très courte portée (10^{-15} m) et peu intense (1000 fois moins que l'Emag). C'est elle qui s'occupe d'harmoniser nombre de neutrons et de protons
- Définition stabilité
- 266 noyaux stables, sur les plus de 3000 connus
- Montrer figure diagonale et mode de désintégration
- Définir énergie de liaison: $B({}_Z^A X) = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - m({}_Z^A X)c^2$, l'énergie qu'il faut fournir pour passer du noyaux au système de nucléon isolé.
- Montrer courbe d'Aston

1.2 Modèle de la goutte liquide

- Définir le modèle de la goutte liquide
- Formule de Bethe-Weizsäcker: $a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_a \frac{(N-Z)^2}{A} + \delta(A)$
- Discuter de chaque terme: Volume, surface, Coulombien, Asymétrie, Appariement (passer un peu vite sur les deux derniers). [4]
- S'aider du code python (1)
- Reprendre la courbe de Aston dans les cas $A > 56$ et $A < 56$

2 Fission

2.1 Réaction de fission

- Définir la réaction de Fission: ${}_Z^A X \longrightarrow {}_{Z_1}^{A_1} X_1 + {}_{Z_2}^{A_2} X_2 + bn + Q$
- Avec Q l'énergie de fission libérée. Pour la fission de l'uranium 200 MeV $\approx 2 \times 10^8$ eV
- Fission spontanée, fission induite. On se concentre sur le second cas

2.2 Fission induite

- Calcul pour un noyau fils préexistant dans le puit de potentiel d'un autre noyau fils préexistant. Le noyau doit obtenir une énergie lui permettant de dépasser une barrière de potentiel ΔE
- Réaction $n + {}_{92}^{235}U \rightarrow {}_{38}^{94}Sr + {}_{54}^{140}Xe + 2n + Q_f$
- Remarque: Il est possible de franchir la barrière par effet tunnel: Fission spontanée
- Calcul de l'énergie cinétique nécessaire à faire la fission induite [6] p 191

2.3 Réacteurs nucléaires et criticité

- Expliquer le principe de réaction en chaîne
- Expliquer critère de criticité: Chaque fission produit 1 neutron efficace. Si moins: La réaction s'étouffe. Si plus: emballement
- Détailler composant: Combustible; Grappe de contrôle en Argent, Bore, ...; Modérateur en graphite ou à eau...; Colporteur d'énergie ; Echangeur...
- insister sur le pas de vapeur dans le primaire
- Ordre de grandeur: 1 tonne d'Uranium 235 = 15000 tonnes de pétroles.

3 Fusion

3.1 Réaction de fusion

- Forme générale de l'équation de réaction
- Difficultés de la fusion : surmonter la répulsion coulombienne (sur diapo)
- Nécessité du confinement (différents modes : gravitationnel, magnétique, inertiel) (sur diapo)

3.2 L'énergie thermonucléaire

- Petit calcul d'énergie thermonucléaire [6] p235

3.3 Réactions nucléaires dans les étoiles (sur diapo)

- Modèle de la formation d'une étoile
- Cycles contraction de l'étoile - fusion et formation de noyaux de plus en plus lourds
- Influence de la masse de l'étoile sur la taille maximale des noyaux formés

Conclusion, ouverture : comparaison des deux procédés de production d'énergie, ouverture vers le projet ITER.

Bibliographie : démonstrations et exemples

- 1 Physique nucléaire appliquée, Frédéric Mayet, de Boeck
- 2 Nuclear and Particle Physics, W.S.C. Williams, Oxford
- 3 Energie nucléaire : Fission et fusion, Pierre Charles, ellipses
- 4 Physique nucléaire, des quarks aux applications, Claude Le Sech, Christian Ngô
- 5 CR LP42 Fabien
- 6 Energie nucléaire: Basdevant, Rich, Spiro

Manipulations, ressources

- (1) Code Python pour la formule de Bethe-Weizsäcker

Notions sur lesquelles se refaire une petite culture :

- Structure et cohésion nucléaire
- Formes de radioactivité et interactions mises en jeu
- Réacteurs nucléaires
- Confinements gravitationnel et magnétique
- Paraboles de masse
- Modèle de la goutte liquide
- Modèle de couches

- Section efficace
- Bases de physique des particules, de relativité
- Effet tunnel pour la radioactivité α
- ODG et chiffres classiques !
- Voir les questions dans le CR de Fabien