

LP-42-Fusion-Fission

I- Le noyau atomique

A- Cohésion du noyau

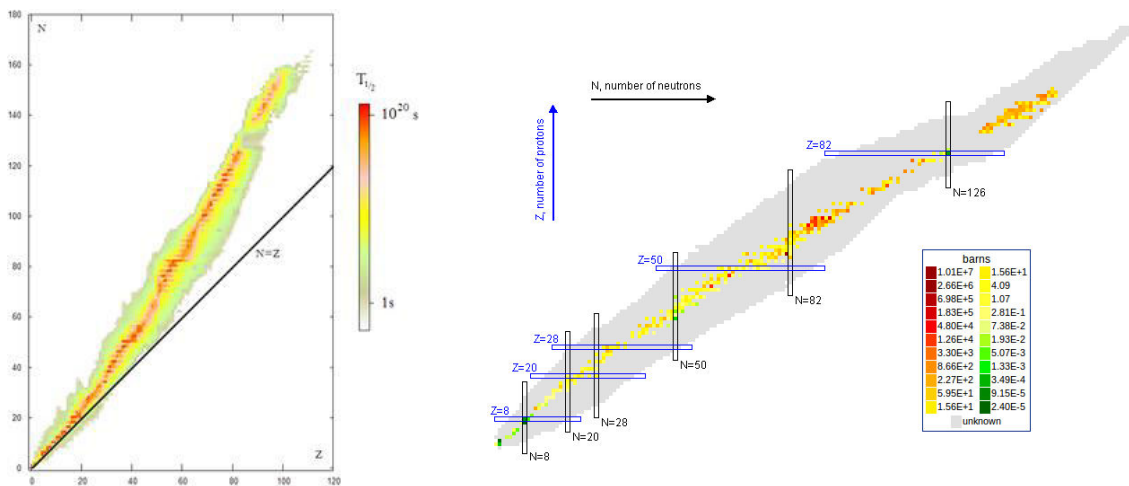
- Dû à l'interaction nucléaire

B- Stabilité des noyaux

- ???

C- Modèle de la goutte liquide

- **Vallée de la stabilité** : Dans une représentation $N = f(Z)$ (ie le nombre de neutrons en fonction du nombre de nucléons pour chaque isotope, on remarque que les isotopes stables sont regroupés sous formes d'une péninsule et îlots dans l'espace (N,Z).



- 1935, Von Weizsacker propose une approche semi-empirique de la masse des noyaux (ie leur énergie de liaison) pour ceux appartenant à la vallée de la stabilité. 1936 : Simplification de Bethe et Bacher. *Formule de masse de Bethe-Weizsacker*.

$$M(A, Z)c^2 = Zm_p c^2 + (A - Z)m_n c^2 - a_v A + a_s A^{\frac{2}{3}} + \frac{a_c Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} + \frac{a_a (A - 2Z)}{A} + \delta$$

5 coefficients.

- On suppose que le noyau est une **goutte liquide** de matière nucléaire. Justification : L'énergie de liaison par nucléon des noyaux varie peu lorsque le nombre de masse est supérieur à 40. De plus, la densité de la goutte reste constante puisque le rayon de la goutte varie comme $A^{1/3}$.
- Si on écrit en fonction de l'énergie de liaison :

$$E_l(A, Z) = a_v A - a_s A^{\frac{2}{3}} - a_c \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} - a_a \frac{(A - 2Z)^2}{A} + \delta$$

- $a_v A$: **Terme de Volume** :
- $a_s A^{\frac{2}{3}}$: **Terme de surface**
- **Terme Coulombien**

- Terme d'asymétrie
- Terme d'appariement

Notes leçon Maria

- **Quels sont les différents types de radioactivité ?** Alpha, beta – et beta +.
- Quels sont les mécanismes physiques sous-jacent à chaque type de radioactivité alpha. Exemple de fission spontanée. Radioactivité beta quel type de mécanisme ça fait intervenir ? Quelles sont les interactions en jeux ? Radioactivité gamma. Quel type de particules émises ? Photon ?
- Interaction nucléaire forte ? Comment on modélise l'interaction forte ? Exemple de potentiel d'interaction qui sert à modéliser l'interaction forte. Yukawa.
- Y a-t-il d'autres types d'interaction de l'interaction faible ? Responsable de la radioactivité beta. 31'45
- Diagramme d'Asron : réexpliquer avec des arguments énergétiques. Comment se passe un mécanisme de fission et de fusion. I
- Intérêt de la fusion par rapport à la fission ? 33'00
- Asron : On part de l'hydrogène on monte jusqu'au fer. Réaction exothermique. L'énergie de liaison se stabilise autour du fer. Pourquoi il existe des éléments plus lourds que le fer ? Il faut invoquer d'autres mécanismes pour enrichir en nucléon. Ce n'est pas par nucléosynthèse.
- **Section efficace** : Comment on définit la section efficace ?
- **Mécanisme de fonctionnement des centrales nucléaires ?** Pourquoi il y a un circuit primaire ou circuit secondaire ? 38''
- **Pour la fusion** : Le critère de Lawson. Cf.lien
- Enlever des choses et rajouter d'autres choses et pas rester qualitatif. Il faut montrer que l'on connaît un peu plus la physique nucléaire.
- Présenter radioactivité alpha comme mécanisme de fission :
- Basdevant Rich (!)
- L'histoire de l'intégration gravitationnelle. C'est pas la peine. Commencer bille entête par l'interaction forte. Présenter l'interaction forte, ce que l'on sait. Montrer ce fameux potentiel de Yukawa qui permet de mesurer le potentiel d'interaction forte. Il y a un mur. La longueur caractéristique est femtomètre.
- L'interaction faible est a mentionner. A l'origine de la radioactivité beta. Transmuter un proton en neutron ou neutron en proton. Transformer un carbone en oxygène et oxygène en carbone.
- Courbe d'asron, prendre le temps de la commenter. L'énergie libérée par interaction est bcp plus importante pour la fusion. L'interaction coulombienne bloque les réaction de fusion

- Diagramme de stabilité. A passer vite. Elle s'écarte de la loi $n=Z$. On peut mettre plus de neutron car non soumis à la répulsion électrostatique. Les noyaux plus stables que d'autres nombre magique. Hors sujet.
- Le modèle de la goutte liquide. Sceptique à ce niveau là. Prendre un peu de temps pour l'expliquer. Casse gueule de rentrer la dedans. Si trop rapide, on sera cuisiner. Terme d'asymétrie et parité. Je vous encourage pas la dedans. Dans les commentaires nouveaux. Ils ont abandonné l'idée.
- Passer plus de temps sur la physique d'interaction forte potentiel Yukawa pour remplir la première partie sur les généralités
- Fission spontanée induite ok. Exemple pris dans le sech et ngo. Il est bien. 55'00. Autre exemple plus physique c'est la désintégration alpha dans un gros noyau. L'association de deux protons et deux neutrons stables (modèle de couche). C'est la particule alpha. Par effet tunnel, il y a franchissement de la barrière et émission spontanée. Illustration intéressante. Présenter comme exemple de fission spontanée (traitée dans la leçon effet tunnel).
- La fission induite : C'est bien car réaction nucléaire. Différence entre noyau fissile fertile (à zapper). Mentionner qq part que U238 et U235. L'un stable, l'autre pas. 58'00
- Parler des réactions en chaîne pour centrale nucléaire
- Phrase gênante : Energie totale libérée. « Les fragments étant excités ils se desexcitent par radioactivité beta et gamma » pas correct à enlever
- Différent type de réacteur : ne pas rentrer au niveau de détail. Mentionner les réacteurs à eau pressurisé. Les accidents nucléaires (ne pas trop détailler cette partie)

- **1'00** : Les barres de contrôle à en parler. Le reste non.
- **Transition** : Fusion nucléaire car produit pas radioactif mais en pratique des électrons rapide qui se balade partout donc de la radioactivité qui traîne donc pas si propre que ça.
- 1'04 : Fusion dans le soleil alors que 15 e6K. Il arrive à produire ce qu'il faut.
- 1'05 : Fusion au cœur des étoiles. Réaction bilan : Ce n'est pas comme cela que ça se passe. C'est une suite de réaction de fusion. Celle où on fusionne deux protons pour produire deutérium c'est la plus difficile car ce n'est pas de la fusion. Cette réaction fait intervenir l'interaction faible. Cette réaction limite le nombre de réaction de fusion au centre du soleil (ne pas forcément en parler). Les autres réactions sont des vraies réactions de fusion. Au centre des étoiles : temps de confinement infini. 1'07'30
- Les fusions successives au centre des étoiles. Les noyaux d'hélium vont former les atomes de carbone ; Qui se produit à température bcp plus élevée. Les atomes en jeu sont bcp plus chargés donc compenser l'inter électrostatique. On arrive jusqu'au pique du fer ; C'est la nucléosynthèse du fer. Qui permet d'obtenir des éléments jusqu'au fer. Au delà ; Radioactivité beta, capture électronique spallation **1'09'00**.
- Fusion contrôlée des tokamak (projet iter à mentionner même si plomb dans l'aile) écrire le critère de lawson qui permet d'avoir le critère pour avoir un bilan énergétique positif du bilan de fusion. **1'12'19**. Si on n'arrive pas à maintenir la température minimale...
- Ecrire le critère de lawson avant les deux fusions : Soit densité importante des particules et on confinement très court. Ou inversement (tokamak) **1'13'00**
- Conclusion : Ouverture. L'astrophysique nucléaire synthèse des éléments lourds. Médecine nucléaire. Application concrète des mécanismes de fusion et de fission.
- Interaction faible a évoquer mais pas de potentiel. Potentiel de Yukawa donne la longueur caractéristique d'interaction.

Notes Basdevant :

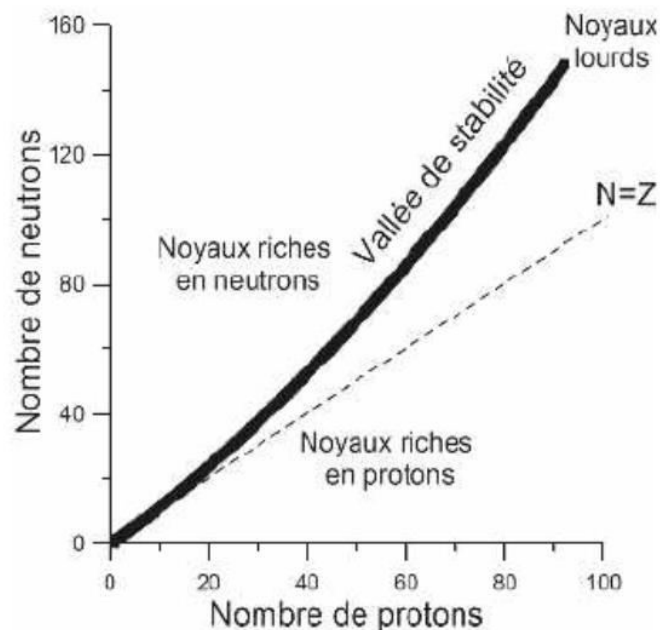
- Interaction forte (=forces nucléaires) vs interaction électromagnétique (répulsive)
- Energie de liaison par nucléon : de l'ordre du MeV $\approx 8 \text{ MeV}$ C'est 1 millions de fois plus que les énergies de liaisons atomiques $\sim 1 \text{ eV}$ (100 kJ/mol)
- Energie de masse des nucléons $\approx 940 \text{ MeV}$. Donc énergie de liaison c'est 1% de l'énergie de masse.
- Hélium 4 : $N = 2, Z = 2$, donc $A = 4$: C'est la particule alpha
- Réaction nucléaire : fait intervenir l'interaction forte et électromag
- Interaction faible : les neutrons peuvent être transformée en proton et vice versa. Souvent présence d'un neutrino ou d'un antineutrino. Cette interaction est à l'origine de la désintégration « bêta ». Transformation de proton en neutron
- Rayon nucléaire : C'est intuitif. $R = r_0 A^{1/3}$. On reconstitue la densité de proton en faisant interagir les noyaux avec des électrons.
- Energies de liaison : Attention suivant la convention adoptée elle est positive ou négative. La différence s'explique par les effets stabilisant des forces nucléaires (ie interaction forte)
$$B(A, Z) = Nm_n c^2 + Zm_p c^2 - m(A, Z)c^2$$
- **Courbe de l'énergie de liaison par nucléon** : Permet de comprendre l'origine de la fusion et de la fission.

On constate que B/A croît avec A dans les noyaux légers, puis atteint un maximum très large vers $A \simeq 55 - 60$ dans la région du fer, et redescend doucement en fonction de A au delà. Cela nous indique immédiatement que de l'énergie peut être libérée par la « fusion » de noyaux légers en des noyaux plus lourds, jusqu'au fer, ou par la « fission » de noyaux lourds en des noyaux plus légers.

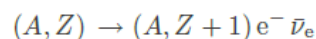
- Le principe de la mesure des masses repose sur la spectroscopie de masse : étude des trajectoires dans un champ magnétique.
- **Forces nucléaires (aspect qualitatif)**: Les forces nucléaires sont *attractives, intenses* (cf. plus haut). Portée : qq fm (10^{-15} m).
- **Energie de liaison et Inégalité de schrodinger** :

En première approximation, un noyau comportant A nucléons (protons + neutrons) peut être considéré comme une sphère de dimension $r_0 A^{1/3}$, avec $r_0 \sim 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$. On peut considérer – en raison du principe de Pauli – que chaque nucléon est, dans le noyau, confiné dans une sphère de rayon r_0 . Puisque $\Delta x \sim r_0$, on doit avoir $\Delta p \sim \hbar/r_0$, ce qui correspond à une impulsion $\sim 140 \text{ MeV}/c$. Ces nombres sont tout à fait compatibles avec les valeurs expérimentales (on mesure typiquement $200 \text{ MeV}/c$). L'énergie cinétique moyenne d'un nucléon est $E_c = \Delta p^2/2m_p$, où m_p est la masse du proton (ou du neutron), ce qui donne $E_c \sim 10 \text{ MeV}$. Puisque les nucléons sont liés dans le noyau, leur énergie potentielle (négative) est supérieure en valeur absolue à E_c , soit $|\langle V \rangle| \geq 10 \text{ MeV}$, et l'énergie de liaison ($V + E_c$) est également de l'ordre de quelques MeV. C'est bien l'ordre de grandeur mesuré : pour des noyaux pas trop petits ($A \geq 20$), on observe que l'énergie de liaison par nucléon est *grosso modo* constante de l'ordre de 8 MeV .

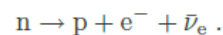
- **Potentiel de Yukawa :** $V(r) = \frac{g\hbar c}{r} \exp(-\frac{r}{r_0})$. $r_0 = 1,4 \text{ fm}$
En théorie quantique des champs, force = échange de particules virtuelles. $r_0 = \text{longueur d'onde Compton } \frac{\hbar}{mc}$. Cela correspond à des particules de masses 140 MeV. Ce sont les méson π .
- **Le modèle de la goutte liquide permet d'exprimer l'énergie de liaison à l'aide d'un modèle phénoménologique.** Ce qui est intéressant c'est quand on calcule $\frac{dE_l}{dZ|A}$ pour trouver le nombre de proton qui maximise l'énergie de liaison. Alors on trouve une « droite de stabilité ». Si le rapport neutron/proton s'éloigne de cette droite, alors le noyau est susceptible de se désintégrer \rightarrow radioactivité.



- **Radioactivité β^- :** Si le nombre de neutron est trop grand par rapport au nombre de



qui est l'équivalent nucléaire de la désintégration du neutron :

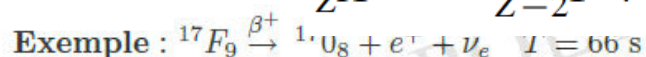
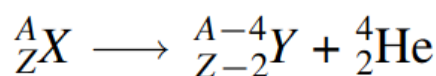


neutron (cf. à gauche de la vallée de stabilité) alors radioactivité β^-

En revanche, si le nombre de neutron est trop faible devant le nombre de proton c'est la radioactivité β^+ . $(A, Z) \rightarrow (A, Z - 1) e^+ \nu_e$

L'interaction qui permet de changer un proton en neutron et réciproquement est l'interaction faible.

- **Radioactivité alpha :**



- Animation vallée de la stabilité : <https://www.youtube.com/watch?v=VZHpAwSGYZE>
-