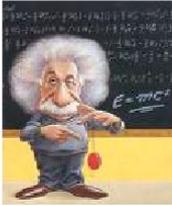
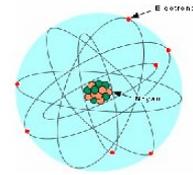


Activités sur l'énergie nucléaire



NOYAU, MASSE ET ENERGIE



I - Composition et cohésion du noyau atomique

Le noyau atomique est composé de **nucléons** (protons+neutrons). Le **proton** a une charge positive comparativement au **neutron** qui n'a pas de charge électrique. Ce dernier a une masse légèrement supérieure à celle du proton de l'ordre de 1/1400 et d'environ 56 875 fois supérieure à celle d'un électron.

Les nucléons se comportent comme de petites balles dures de $2,5 \cdot 10^{-15}$ m de diamètre. Leur masse connue, qui est environ égale à celle de l'atome l'hydrogène, est de $1,6 \cdot 10^{-27}$ kg, ce qui leur donne une densité très élevée.

A l'intérieur du noyau existe des forces répulsives d'origine électrostatique.

La cohésion du noyau est due à d'autres forces attractives appelées forces nucléaires ou interaction forte.

A faible distance l'intensité de ces forces est très importante devant les forces de gravitation ou les forces électrostatiques.

Activité 1

Le tableau ci-dessous, on donne les masses de quatre atomes et celles de leurs noyaux :

Atome ou noyau	Symbole	Masse du noyau (10^{-27} kg)	Masse de l'atome (10^{-27} kg)
Hélium 4	${}^4_2\text{He}$	6,6447	6,6465
Carbone 12	${}^{12}_6\text{C}$	19,9211	19,9266
Carbone 14	${}^{14}_6\text{C}$	23,2476	23,2531
Uranium 235	${}^{235}_{92}\text{U}$	390,1989	390,3021

1- Comparer les masses des atomes cités dans le tableau avec celles de leurs noyaux. Conclure.

2- a. Quels nombres de particules désigne-t-on par les nombres Z et A dans le symbole noyaux cités.

b. Pourquoi appelle-t-on Z, nombre de charge et A, nombre de masse du noyau ou de l'atome ?

c. Est-ce que le nombre de charge Z d'un noyau peut être différent du numéro atomique de l'élément correspondant ?

3. Qu'est-ce qui différencie les noyaux de carbone cités dans le tableau ?

4. Malgré la répulsion due aux forces électrostatiques s'exerçant entre les protons, le noyau est un édifice stable de protons et de neutrons. Expliquer le caractère répulsif de cette interaction électrique ainsi que la cohésion du noyau.

II- Unités usuelles de masse et d'énergie en physique nucléaire

- Dans le système international d'unités la masse s'exprime en kilogramme (kg) et l'énergie s'exprime en joule (J).

- En physique nucléaire, on utilise fréquemment, comme unité de masse, l'**unité de masse atomique** notée **u**.

Une unité de masse atomique correspond au douzième ($\frac{1}{12}$) de la masse de l'atome de

carbone : $1u = \frac{\text{masse de carbone}}{12}$

Comme **unité d'énergie**, on utilise fréquemment, comme unité d'énergie, l'**électronvolt (eV)**.

Activité 2

- 1- Montrer que $1u=1,66.10^{-27}Kg$.
- 2- La masse du noyau de chlore $^{35}_{17}Cl$ est $m=34,956u$ exprimer cette masse en kg.
- 3- En physique nucléaire, on utilise fréquemment, comme unité d'énergie, l'électronvolt (eV), exprimer en joule 1ev et 1 MeV

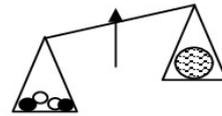
III- La relation d'équivalence entre la masse et l'énergie

III-1 Défaut de masse du noyau

Activité 3

La masse du noyau d'hélium 4_2He est $m= 4,002\ 602\ u$.

- 1- Calculer en u la masse des 4 nucléons (séparés) du noyau.
- 2- Comparer la somme des masses des nucléons séparés à celle du noyau.



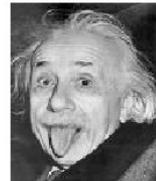
On donne : $m_p = 1,007277\ u$ et $m_N = 1,008665\ u$.

3- Cette différence de masse est appelée défaut de masse du noyau elle est noté par Δm . Déduire définition du défaut de masse d'un noyau atomique. Exprimer Δm en fonction de m_p , m_N , m_x , Z et A .

- 4- Le défaut de masse peut-il être négatif ?

III-2 La relation d'équivalence entre la masse et l'énergie : L'énergie de masse

En 1905, Einstein pose les bases d'une théorie qui devait révolutionner la science : la théorie de relativité. Cette théorie bouleversa les conceptions sur l'espace et le temps et formula l'équivalence de la masse et de l'énergie :



Toute particule, même au repos, possède, du seul fait de sa masse m, une énergie potentielle E_0 , appelée énergie de masse ou énergie de repos, donnée par :

$$E_0 = m.c^2$$

avec **c** est la célérité de la lumière dans le vide

E_0 est en joule (J) - m est en kilogramme (kg) - c est en mètre par seconde ($m.s^{-1}$)

Remarque: Si la particule est en mouvement par rapport au référentiel terrestre, alors son énergie totale E est la somme de son énergie de masse $m.c^2$ et de son énergie cinétique E_c :

$$E = m.c^2 + E_c$$

Conséquence : Tout défaut de masse est équivalent variation à une variation d'énergie d'énergie ΔE donnée par l'expression :

$$\Delta E = \Delta m.c^2$$

Activité 4

Pour Einstein, la masse est une énergie potentielle. Si l'énergie s'exprime en MeV, la masse s'exprime en $\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$.

1- Montrer que $1\text{u}=931,5\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$

2- Calculer MeV l'énergie de repos ou l'énergie de masse du noyau d'hélium.

IV- La stabilité du noyau

IV-1 Energie de liaison d'un noyau

Activité 4 : Energie de liaison du noyau d'hélium.

Considérons la transformation nucléaire suivante :



Dans l'état initial le noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ est au repos dans le référentiel terrestre. Son énergie de masse initiale est : $m({}^4_2\text{He})\cdot\text{c}^2$

Dans l'état final on a les 4 nucléons isolés, au repos dans le référentiel terrestre. Leur énergie de masse finale est : $m(4 \text{ nucléons séparés})\cdot\text{c}^2$

1- Calculer la variation d'énergie au cours de cette transformation de l'état initiale à l'état finale.

2- Quelle quantité d'énergie E_ℓ faut-il fournir à un noyau d'hélium au repos pour le dissocier en 4 nucléons séparés au repos.

3- Montrer que $E_\ell = \Delta m \cdot \text{c}^2$

4- E_ℓ est appelée l'**énergie de liaison** du noyau. Dédurre de ce qui précède une définition de l'énergie de liaison d'un noyau.

Remarque : Lorsque le noyau se dissocie, la masse augmente de Δm et l'énergie de $\Delta m \cdot \text{c}^2$.

E_ℓ : énergie de liaison du noyau (en J)
 Δm : défaut de masse du noyau (en kg)
 c : célérité de la lumière dans le vide (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

IV-2 Energie de liaison par nucléon

Définition: L'énergie de liaison par nucléon d'un noyau notée $E_{\ell/A}$ est le quotient de son énergie de liaison par le nombre de ses nucléons (A) .

$$E_{\ell/A} = \frac{E_\ell}{A}$$

Activité 5 : Calculer l'énergie de liaison par nucléon du noyau d'hélium.

L'énergie de liaison par nucléon $E_{l/A}$ permet de comparer la stabilité des noyaux entre eux. Plus l'énergie de liaison par nucléon est grande, plus le noyau est stable.

Activité 6 : L'énergie de liaison de l'uranium 238 est de 1801,5 MeV. Comparer la stabilité du noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ à celle du noyau d'uranium ${}^{238}_{92}\text{U}$.

IV-3 Courbe d'Aston :

La courbe d'Aston représente $E_{l/A}$ en fonction de A (nombre de nucléons)

Elle permet de visualiser facilement les noyaux les plus stables, ceux-ci se trouvent au bas du graphe comme le noyau de fer (A entre 20 et 195)

Les noyaux instables peuvent évoluer de 2 façons :

Ø Les noyaux lourds peuvent se casser en 2 noyaux légers appartenant au domaine de stabilité. C'est la fission.

Ø Certains noyaux légers peuvent "fusionner" pour former un noyau plus gros et stable. C'est la fusion.

