EXERCICE III - LE LMJ (LASER MÉGAJOULE) (4 points)
Bac S 2011 Métropole

Le laser mégajoule (LMJ), qui sera l'un des deux plus gros lasers au monde, est en construction sur le site du CESTA, près de Bordeaux.
Ce sera l'une des deux seules machines du genre capable de produire de l'énergie à partir de la réaction de fusion de l'hydrogène.
Ainsi, lorsqu'il sera opérationnel en 2014, ce gigantesque dispositif dimensionné pour accueillir 240 faisceaux laser pourra délivrer une énergie globale de 1,8 mégajoule.
La chambre d'expérience (**figure 1**), percée d'ouvertures pour laisser passer les faisceaux laser, aura un diamètre de 10 m. À l'intérieur, une bille de 2,4 mm de diamètre (**figure 2**), remplie d'un mélange de deutérium et de tritium solidifié de masse m = 300 µg sera fixée dans une cavité en or par des fils de soie d'araignée. Les faisceaux du LMJ convergeront alors sur cette cavité-cible pour déclencher la réaction de fusion nucléaire.

D'après *Les Défis du CEA*

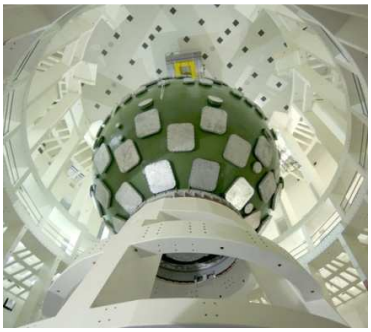


Figure 1. Chambre d'expérience

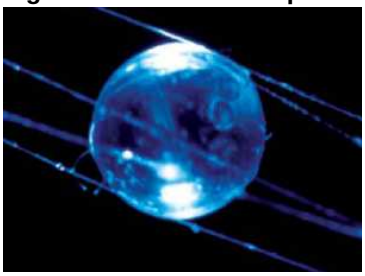


Figure 2. Cible

L'objectif de cet exercice est de comparer l'énergie fournie par le laser mégajoule à celle libérée par la réaction de fusion dans la cible.

Données :

- célérité de la lumière dans le vide : $c = 2{,}998 \times 10^{8}$ m.s^{-1} ;
- constante de Planck : $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J.s ;
- électron-volt : 1eV = $1{,}602 \times 10^{-19}$ J ;
- unité de masse atomique : 1u = $1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg.

particule ou noyau	neutron	proton	deutérium	tritium	hélium 3	hélium 4
symbole	$^{1}_{0}$n	$^{1}_{1}$H	$^{2}_{1}$H	$^{3}_{1}$H	$^{3}_{2}$He	$^{4}_{2}$He
masse (en u)	m_n = 1,00866	m_p = 1,00728	2,01355	3,01550	3,01493	4,00150
énergie de liaison (MeV)			2,22	8,48		28,29

1. Lasers et énergie reçue par la cible

Le choix s'est porté sur des lasers à verre dopé au néodyme de longueur d'onde λ_1 = 1050 nm.
1.1. Lorsque le faisceau laser entre dans la chambre d'expérience, un dispositif triple la fréquence de l'onde lumineuse.

1.1.1. En déduire la valeur de la longueur d'onde λ_2 du laser dans la chambre d'expérience.

1.1.2. Dans quels domaines du spectre électromagnétique se situent les rayonnements de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 ?

1.2. Après le triplement de fréquence, chaque faisceau laser produit une énergie E_{laser} = 7,5 kJ.
Par un calcul, montrer que la valeur de l'énergie E_{LMJ}, délivrée au niveau de la cible par l'ensemble des faisceaux lasers composant le LMJ, est en cohérence avec le texte introductif.

1.3. On admet que le LMJ est capable de délivrer l'énergie E_{LMJ} en une durée Δt = 5,0 ns.
En déduire la valeur de la puissance moyenne P_{LMJ} correspondante.

2. Réaction de fusion deutérium-tritium dans la cible

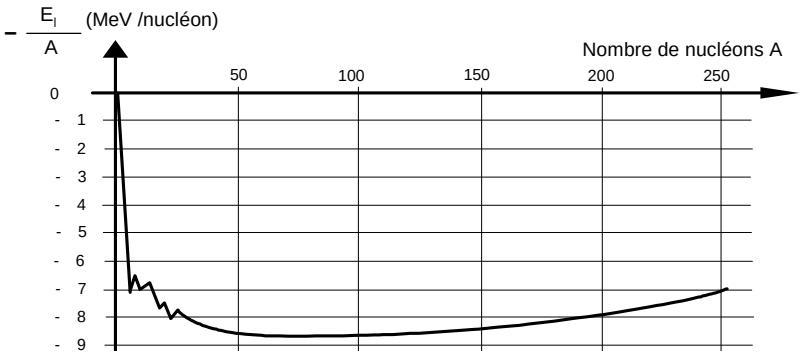
2.1. Pour provoquer la fusion, on met en jeu deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium.
La réaction deutérium-tritium produit un noyau, un neutron et de l'énergie.

2.1.1. Donner la composition des noyaux de deutérium et de tritium. Qu'appelle-t-on noyaux isotopes ?

2.1.2. Écrire la réaction de fusion entre un noyau de deutérium et un de tritium en précisant les lois utilisées.

2.2. Énergie de liaison d'un noyau

2.2.1. La courbe d'Aston ci-contre représente l'opposé de l'énergie de liaison par nucléon en fonction du nombre de nucléons.
En se référant à l'axe des abscisses, dans quelle partie de cette courbe se trouvent les noyaux susceptibles de fusionner ?



2.2.2. Donner la signification physique et l'expression de l'énergie de liaison $E_\ell\left({}^{A}_{Z}X\right)$ d'un noyau ${}^{A}_{Z}X$ de masse $m\left({}^{A}_{Z}X\right)$ en fonction de A, Z, m_p, m_n, $m\left({}^{A}_{Z}X\right)$ et c.

2.2.3. A partir de l'expression précédente, exprimer la masse $m\left({}^{A}_{Z}X\right)$ en fonction de A, Z, m_p, m_n, $E_\ell\left({}^{A}_{Z}X\right)$ et c.

2.2.4. En déduire les expressions des masses $m\left({}^{4}_{2}He\right)$, $m\left({}^{2}_{1}H\right)$ et $m\left({}^{3}_{1}H\right)$.

2.3. Énergie libérée lors de la réaction de fusion

2.3.1. Exprimer l'énergie libérée $|\Delta E|$ lors de la réaction de fusion deutérium-tritium en fonction des masses des noyaux et des particules mis en jeu.

2.3.2. Montrer que l'expression de l'énergie libérée $|\Delta E|$ en fonction des énergies de liaison est donnée par : $|\Delta E| = \left|E_\ell\left({}^{4}_{2}He\right) - E_\ell\left({}^{2}_{1}H\right) - E_\ell\left({}^{3}_{1}H\right)\right|$. Calculer sa valeur en MeV.

3. Bilan énergétique dans la cible

3.1. Sachant que le mélange est équimolaire, montrer que le nombre de noyaux N de deutérium (ou de tritium) présents dans la microbille est $N = 3{,}59 \times 10^{19}$.

3.2. En déduire l'énergie totale E_{tot} produite par la réaction de fusion dans la cible. La comparer à l'énergie E_{LMJ} fournie par le laser mégajoule.