Exercice III : LE LMJ (LASER MEGAJOULE) (4 points)

1. Lasers et énergie reçue par la cible

1.1.1. $\lambda_1 = \frac{c}{\nu_1}$ soit $\nu_1 = \frac{c}{\lambda_1}$

La fréquence triple alors $\lambda_2 = \frac{c}{\nu_2} = \frac{c}{3\nu_1} = \frac{c}{3\frac{c}{\lambda_1}} = \frac{c}{\frac{3c}{\lambda_1}} = c.\frac{\lambda_1}{3.c} = \frac{\lambda_1}{3}$

$\lambda_2 = \frac{1050}{3}$ = **350 nm**

1.1.2. λ_1 > 800 nm donc rayonnement infrarouge

λ_2 < 400 nm donc rayonnement ultraviolet

1.2. Chaque laser produit une énergie E_{laser} = 7,5 kJ, le texte d'introduction indique la présence de 240 lasers.

E_{LMJ} = 240 E_{laser}

$E_{LMJ} = 240 \times 7{,}5 = 1{,}8\times10^3$ kJ = **1,8 MJ** on retrouve la valeur annoncée de 1,8 mégajoule.

1.3. $E_{LMJ} = P_{LMJ}.\Delta t$

Soit $P_{LMJ} = \frac{E_{LMJ}}{\Delta t}$

$P_{LMJ} = \frac{1{,}8\times10^6}{5{,}0\times10^{-9}} = 3{,}6\times10^{14}\ J.s^{-1} = 3{,}6\times10^{14}$ W (= $3{,}6\times10^2$ TW)

2. Réaction de fusion deutérium-tritium dans la cible

2.1.1. Composition des noyaux de deutérium et de tritium :

Deutérium ^2_1H : Z = 1 donc 1 proton et A–Z = 1 donc 1 neutron

Tritium ^3_1H : 1 proton et deux neutrons

Ces deux noyaux sont isotopes car ils possèdent le même nombre de proton mais des nombres de neutrons différents.

2.1.2. $^2_1H + ^3_1H \rightarrow ^A_ZX + ^1_0n$

Conservation du nombre de nucléons : 2 + 3 = A + 1 ainsi A = 5 – 1 = 4

Conservation du nombre de charges : 1 + 1 = Z + 0 ainsi Z = 2

Le noyau produit est de l'hélium : $^2_1H + ^3_1H \rightarrow ^4_2He + ^1_0n$.

2.2. Énergie de liaison d'un noyau

2.2.1. Les noyaux susceptibles de fusionner sont de petits noyaux qui se situent dans la zone où A est petit, approximativement pour A < 20.

2.2.2. L'énergie de liaison est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau pour le dissocier en ses nucléons isolés et au repos.

$E_\ell\left(^A_ZX\right)$ = (défaut de masse) . c²

$E_\ell\left(^A_ZX\right)$ = (somme des masses des nucléons – masse du noyau) . c²

$E_\ell\left(^A_ZX\right) = \Delta m.c^2 = [Z.m_p + (A - Z).m_n - m\left(^A_ZX\right)].c^2$

2.2.3. $\frac{E_\ell\left(^A_ZX\right)}{c^2} = Z.m_p + (A - Z).m_n - m\left(^A_ZX\right)$

$m\left(^A_ZX\right) = Z.m_p + (A - Z).m_n - \frac{E_\ell\left(^A_ZX\right)}{c^2}$

2.2.4. $m({}^{4}_{2}He) = 2.m_p + 2.m_n - \dfrac{E_\ell({}^{4}_{2}He)}{c^2}$

$m({}^{2}_{1}H) = m_p + m_n - \dfrac{E_\ell({}^{2}_{1}H)}{c^2}$

$m({}^{3}_{1}H) = m_p + 2.m_n - \dfrac{E_\ell({}^{3}_{1}H)}{c^2}$

2.3 Énergie libérée lors de la réaction de fusion : ${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$

2.3.1. $|\Delta E| = |m({}^{4}_{2}He) + m({}^{1}_{0}n) - m({}^{3}_{1}H) - m({}^{2}_{1}H)|.c^2$

2.3.2. On utilise les expressions obtenues en 2.2.4.,

$|\Delta E| = |2.m_p + 2.m_n - \dfrac{E_\ell({}^{4}_{2}He)}{c^2} + m_n - (m_p + 2.m_n - \dfrac{E_\ell({}^{3}_{1}H)}{c^2}) - (m_p + m_n - \dfrac{E_\ell({}^{2}_{1}H)}{c^2})|.c^2$

$|\Delta E| = |2.m_p + 2.m_n - \dfrac{E_\ell({}^{4}_{2}He)}{c^2} + m_n - m_p - 2.m_n + \dfrac{E_\ell({}^{3}_{1}H)}{c^2} - m_p - m_n + \dfrac{E_\ell({}^{2}_{1}H)}{c^2}|.c^2$

$|\Delta E| = |-\dfrac{E_\ell({}^{4}_{2}He)}{c^2} + \dfrac{E_\ell({}^{3}_{1}H)}{c^2} + \dfrac{E_\ell({}^{2}_{1}H)}{c^2}|.c^2$

$|\Delta E| = |-E_\ell({}^{4}_{2}He) + E_\ell({}^{3}_{1}H) + E_\ell({}^{2}_{1}H)|$

$|\Delta E| = |-(E_\ell({}^{4}_{2}He) - E_\ell({}^{3}_{1}H) - E_\ell({}^{2}_{1}H))| = |E_\ell({}^{4}_{2}He) - E_\ell({}^{3}_{1}H) - E_\ell({}^{2}_{1}H)|$

$|\Delta E| = |28{,}29 - 8{,}48 - 2{,}22|$

$|\Delta E|$ = 17,59 MeV

3. Bilan énergétique dans la cible

3.1. $m = m_D + m_T$ où m_D représente la masse de deutérium dans l'échantillon et m_T la masse de tritium dans l'échantillon.

Le mélange étant équimolaire le nombre N de noyaux de tritium est égal au nombre N de noyaux de deutérium.

$m = N.\ m({}^{2}_{1}H) + N.\ m({}^{3}_{1}H)$ où $m({}^{2}_{1}H)$ est la masse d'un seul noyau de deutérium et $m({}^{3}_{1}H)$ la masse d'un seul noyau de tritium.

$m = N.(\ m({}^{2}_{1}H) + m({}^{3}_{1}H))$

alors $N = \dfrac{m}{m({}^{2}_{1}H) + m({}^{3}_{1}H)}$

L'énoncé indique que la masse du mélange est $m = 300\ \mu g = 300\times10^{-6}\times10^{-3}$ kg

$N = \dfrac{300\times10^{-6}\times10^{-3}}{(2{,}01355 + 3{,}01550)\times1{,}66054\times10^{-27}} = 3{,}59\times10^{19}$ noyaux

3.2. $E_{tot} = N.|\Delta E|$

$E_{tot} = 3{,}59\times10^{19}\times17{,}59 = 6{,}31481\times10^{20}$ MeV $= 6{,}31481\times10^{20}\times10^{6} = 6{,}31481\times10^{26}$ eV

$E_{tot}(J) = E_{tot}(eV)\times1{,}602\times10^{-19}$

$E_{tot}(J) = 6{,}31481\times10^{26}\times1{,}602\times10^{-19} = 1{,}01\times10^{8}$ J

$E_{tot}(MJ) = \dfrac{1{,}01\times10^{8}}{10^{6}}$ = **101 MJ**

$E_{LMJ} = 1{,}8$ MJ

$E_{LMJ} < E_{tot}$

On récupère une énergie plus grande que l'énergie dépensée.