

## TD de physique nucléaire

SMP5

série 2

Exercice 1

- Montrer que la désintégration  $\alpha$  pour le  $^{236}_{94}\text{Pu}$  est possible.
- Calculer l'énergie cinétique des particules  $\alpha$  émises.
- Calculer l'énergie de recul du noyau fils.

Données :  $M(^4_2\text{He})=4.002603$  ,  $M(^{236}_{94}\text{Pu})=236.0460071$  ,  $M(^{232}_{92}\text{U})=232.037156$

Exercice 2

Déterminer si l'actinium-225 ( $^{225}_{89}\text{Ac}$ ) peut se désintégrer par émission  $\alpha$  et/ou  $\beta^-$ .  
Masses atomiques :  $^{225}_{89}\text{Ac}$  (225.023229)  $^{221}_{87}\text{Fr}$  (221.014254)  $^{225}_{90}\text{Th}$  (225.023951)  
 $^4_2\text{He}$ (4.002603) ( $u_{\text{ma}}=931.5\text{MeV}/c^2$ )

Exercice 3

La désintégration  $\beta^-$  du nucléide  $^6_2\text{He}$  produit le  $^6_3\text{Li}$ .  
Sachant que l'énergie cinétique maximale des électrons émis vaut 1.983 MeV, calculer la masse du noyau de l' $^6_2\text{He}$ .

Où donne : masse du noyau de  $^6_3\text{Li}$  :  $m(^6_3\text{Li}) = 6.015121 \text{ u}$  ;  
Masse de l'électron :  $0.511 \text{ MeV}/c^2$

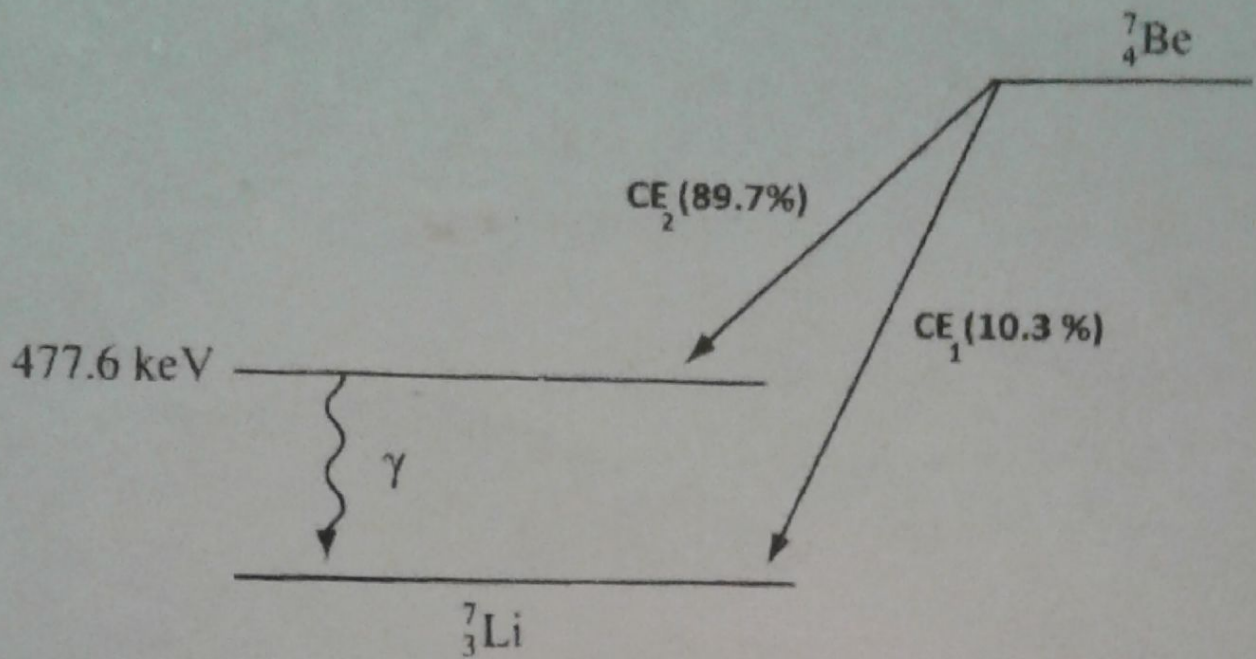
Exercice 4

- Expliquer brièvement le principe de désintégration d'un noyau par capture électronique.
- Montrer que le  $^7\text{Be}$  ne peut pas se désintégrer par émission  $\beta^+$
- La figure ci-dessous présente la désintégration par capture électronique du  $^7\text{Be}$  vers le niveau fondamental et vers l'état excité  $E^*=477.6\text{keV}$  du  $^7\text{Li}$ 
  - Calculer la chaleur de désintégration par capture électronique du  $^7\text{Be}$
  - Donner l'énergie et l'intensité du rayonnement gamma émis.
- Calculer l'énergie des neutrinos émis

On donne :

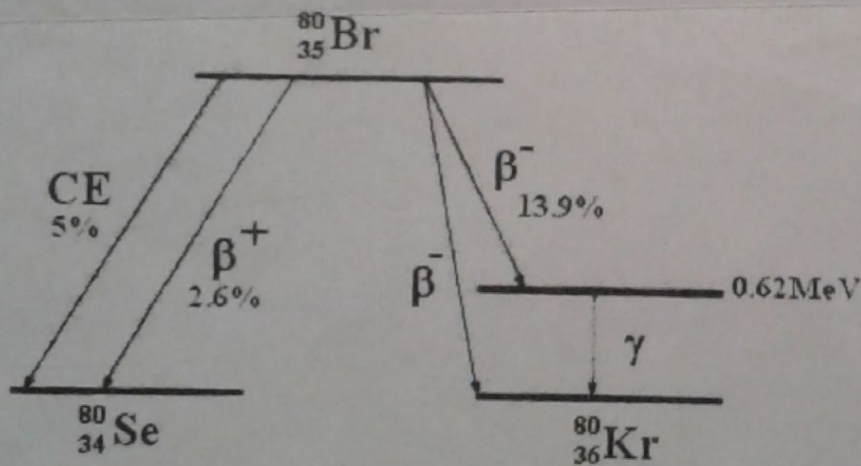
$$M(^7\text{Be}) = 7,016929 \text{ , } M(^7\text{Li}) = 7,016004$$





### Exercice 5

Le schéma de désintégration du  ${}^{80}_{35}\text{Br}$  est le suivant :



- 1- Calculer les énergies cinétiques maximales des  $\beta^-$  émis par le  ${}^{80}_{35}\text{Br}$ .
- 2- Sachant que son  $T_{\beta^+}^{\text{max}} = 0.848 \text{ MeV} = 0.848 \text{ MeV}$ , Calculer la masse atomique du  ${}^{80}_{34}\text{Se}$ .
- 3- Calculer les énergies des électrons émis par conversion interne.

$$M({}^{80}_{36}\text{Kr}) = 79.916378, \quad M({}^{80}_{35}\text{Br}) = 79.918529, \quad m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$$

Energies de liaison des électrons de  ${}^{80}_{36}\text{Kr}$  :

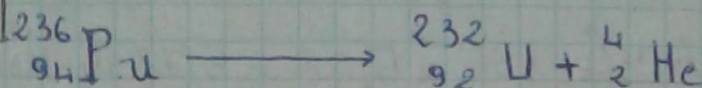
$$E_L(\text{K}) = 14.32 \text{ keV}$$

$$E_L(\text{L}) = 1.92 \text{ keV}$$



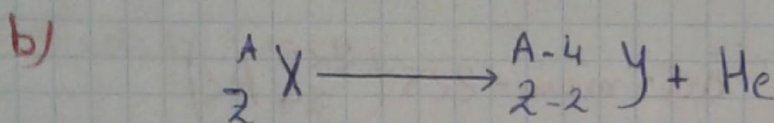
# Série n° 2

Ex 1°



$$\begin{aligned} a) Q_\alpha &= [M({}_{94}^{236}\text{Pu}) - M({}_{92}^{232}\text{U}) - M({}_2^4\text{He})] \cdot c^2 \\ &= (236,0460071 - 232,037156 - 4,002603) \text{ u} c^2 \\ &= 5,2201051 > 0 \end{aligned}$$

désintégration  $\alpha$  de  ${}_{94}^{236}\text{Pu}$  est possible



énergie de masse :	$m_X c^2$	$m_Y c^2$	$m_\alpha c^2$
énergie d'excitation :	0	$E^*$	0
énergie cinétique :	0	$T_Y$	$T_\alpha$

≠ Conservation d'énergie  $\Sigma(E_{\text{tot}})_i = \Sigma(E_{\text{tot}})_f$

$$m_X c^2 = m_Y c^2 + E^* + T_Y + m_\alpha c^2 + T_\alpha$$

$$m_X c^2 - m_Y c^2 - m_\alpha c^2 - E^* = T_Y + T_\alpha$$

$$Q_\alpha - E^* = T_Y + T_\alpha$$

$$Q_\alpha^* = T_Y + T_\alpha$$

≠ Conservation de quantité de mouvement

$$\vec{P}_X = \vec{P}_Y + \vec{P}_\alpha = 0 \quad (X \text{ en repos})$$

$$\vec{P}_Y = -\vec{P}_\alpha \Rightarrow P_Y = P_\alpha$$

$$2 m_Y T_Y = 2 m_\alpha T_\alpha$$

$$T_\alpha = \frac{m_Y}{m_\alpha} T_Y$$

$$T_Y = \frac{m_\alpha}{m_Y} T_\alpha$$

$$Q_\alpha^* = \frac{m_\alpha}{m_Y} T_\alpha + T_\alpha$$

$$= \left(1 + \frac{m_\alpha}{m_Y}\right) T_\alpha$$

$$Q_\alpha^* = \frac{m_Y + m_\alpha}{m_Y} T_\alpha \longrightarrow T_\alpha = \frac{m_Y}{m_Y + m_\alpha} Q_\alpha^* = \frac{A-4}{A} Q_\alpha^*$$



$$T_y = \frac{m_\alpha}{m_\alpha + m_y} T_\alpha \approx \frac{4}{A} Q_\alpha^*$$

Énergie cinétique des particules  $\alpha$  de  $^{236}_{94}\text{Pu}$

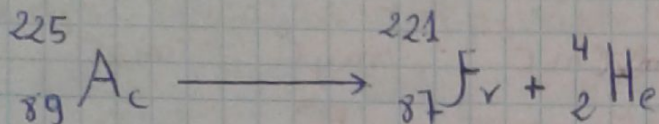
$$T_\alpha \approx \frac{A-4}{A} Q_\alpha^* = \frac{232}{236} \times 5,82 = 5,7214 \text{ MeV avec } (E^* = 0)$$

c) Énergie de recul du noyau fils

$$T_L = \frac{4}{A} \times Q^* = \frac{4}{236} \times 5,82 = 0,098 \text{ MeV}$$

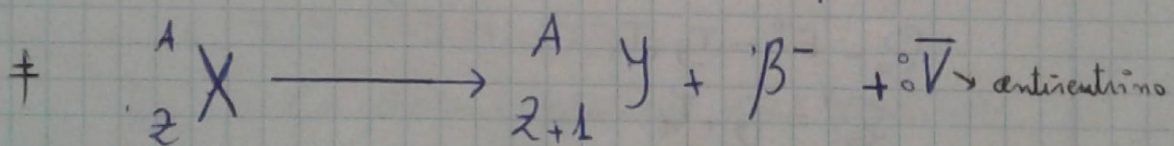
**Ex 29**

L'actinium-225 ( $^{225}_{89}\text{Ac}$ )



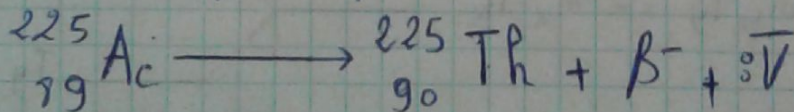
$$\begin{aligned} Q_\alpha &= [M(^{225}_{89}\text{Ac}) - M(^{221}_{87}\text{Fr}) - M(^4_2\text{He})] c^2 \\ &= (225,023229 - 221,014254 - 4,002603) \text{ u} c^2 \\ &= 5,935518 \text{ MeV} > 0 \end{aligned}$$

La désintégration  $\alpha$  de  $\text{Ac}$  est possible.



$$\begin{aligned} Q_\beta &= m_X c^2 - m_Y c^2 - m_{\bar{e}} c^2 \\ &= \mathcal{M}_X c^2 - \mathcal{M}_Y c^2 \end{aligned}$$

La désintégration  $\beta^-$  est possible si  $Q_\beta > 0$

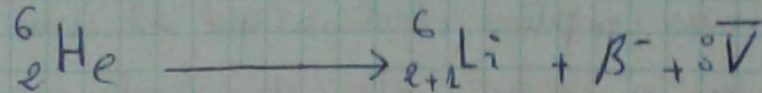


$$\begin{aligned} Q_{\beta^-} &= [\mathcal{M}(^{225}_{89}\text{Ac}) - \mathcal{M}(^{225}_{90}\text{Th})] \text{ u} c^2 \\ &= (225,023229 - 225,023951) \text{ u} c^2 \\ &= -0,672543 \text{ MeV} \end{aligned}$$

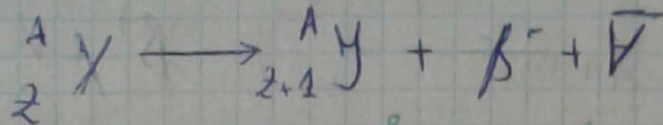


La désintégration  $\beta^-$  de  $A_c$  est impossible.

Ex 3°



$$(T_{\beta^-})_{\max} = 1,983 \text{ MeV}$$



E. masse :  $m_X c^2$        $m_Y c^2$        $m_{e^-} c^2$       0

E. excitation : 0       $E^*$       0      0

E. Cinétique : 0       $T_Y$        $T_{\beta^-}$        $T_{\bar{\nu}}$

Conservation d'énergie

$$m_X c^2 = m_Y c^2 + E^* + T_Y + T_{\beta^-} + m_{e^-} c^2 + T_{\bar{\nu}}$$

$$m_X c^2 - m_Y c^2 - m_{e^-} c^2 = E^* = T_Y + T_{\beta^-} + T_{\bar{\nu}}$$

$$Q_{\beta^-} - E^* = T_Y + T_{\beta^-} + T_{\bar{\nu}}$$

$$Q_{\beta^-}^* = T_Y + T_{\beta^-} + T_{\bar{\nu}} \quad (T_Y \approx 0)$$

$$Q_{\beta^-}^* = T_{\beta^-} + T_{\bar{\nu}}$$

$$T_{\beta^-}/_{\max} = Q_{\beta^-}^* = M({}^A_Z\text{X}) c^2 - M({}^A_{Z+1}\text{Y}) c^2$$

$$T_{\beta^-}/_{\max} = [m({}^6_2\text{He}) - m({}^6_3\text{Li}) - m_{e^-}] c^2$$

$$m({}^6_2\text{He}) = 1,983 \text{ MeV}/c^2 + 6,015121 \text{ u} + 0,511 \text{ MeV}/c^2$$

$$= \frac{1}{931,5} \text{ u} \cdot \text{MeV} [1,983 + 0,511] + 6,015121 \text{ u}$$

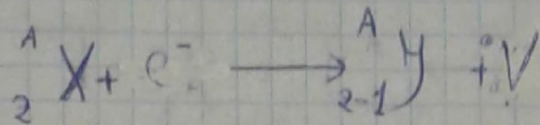
$$m({}^6_2\text{He}) = 6,017794 \text{ u}$$



# Ex 4

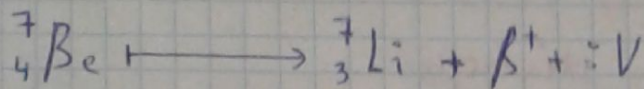
1°

une capture électronique est une réaction nucléaire qui a un excès de proton, capte un électron (généralement de la couche) et transforme un proton en neutron.



2°

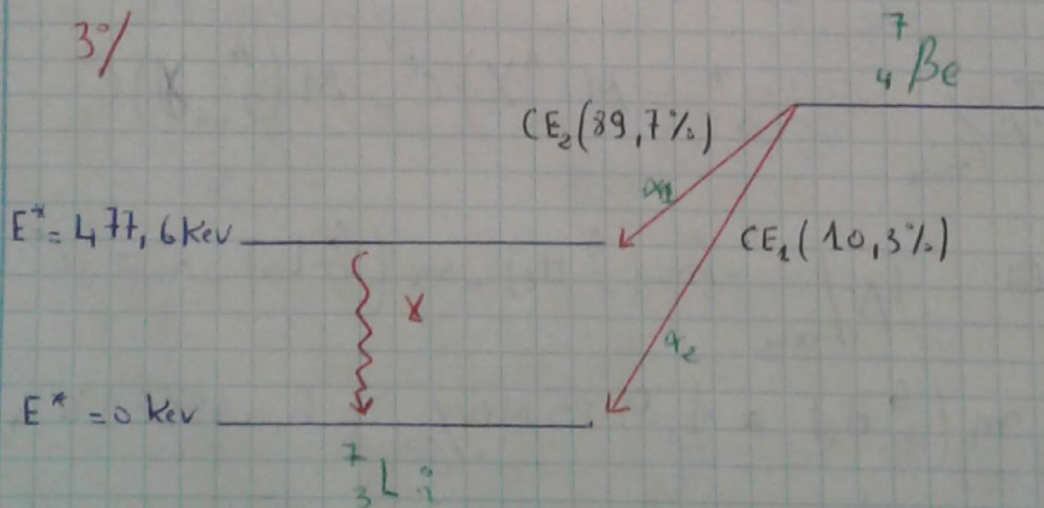
désintégration  $\beta^+$  :  ${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z-1} Y + \beta^+ + \nu$    
 neutrino



$$\begin{aligned} Q_{\beta^+} &= M({}^7_4 \text{Be})c^2 - M({}^7_3 \text{Li})c^2 - 2m_e c^2 \\ &= (7,016929 - 7,016004) \times 931 \text{ MeV} - 2 \times 0,511 \text{ MeV} \\ &= -0,1603625 \text{ MeV} < 0 \end{aligned}$$

d'où désintégration  ${}^7_4 \text{Be}$  par émission  $\beta^+$  est impossible.

3°



a)

$$\begin{aligned} Q_{CE} &= M({}^7_4 \text{Be})c^2 - M({}^7_3 \text{Li})c^2 \\ &= (7,016929 - 7,016004) \text{ u} \times 931 \text{ MeV} \\ &= 0,8616375 \text{ MeV} \end{aligned}$$



b) Énergie du rayonnement  $\gamma$  émis

$$E_{\gamma} = E_i^* - E_f^* \quad \text{état excité vers un état moins excité jusqu'à l'état fondamental}$$

$$E_{\gamma} = 4,77,6 - 0 = 4,77 \text{ KeV}$$

Intensité du rayonnement  $\gamma$  émis

$$I_{\gamma} = I_{\alpha_L} = 59,7 \%$$

$$1 \text{ KeV} = 10^{-3} \text{ MeV}$$

c)

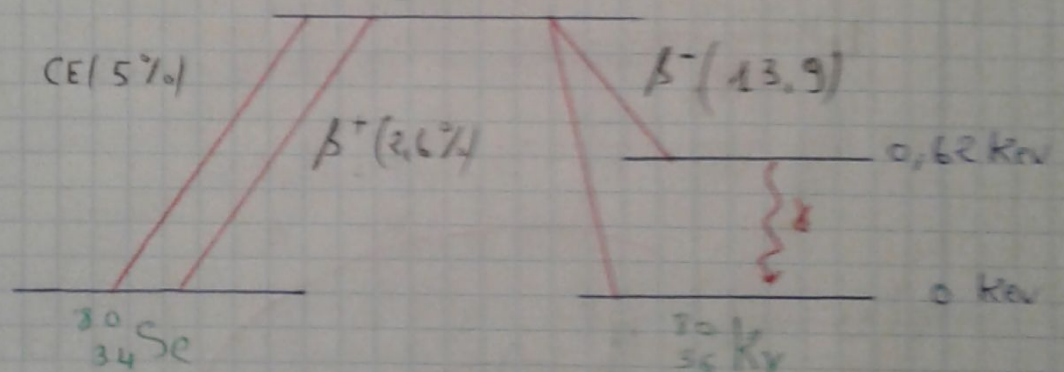
$$Q_{\beta^-} - E^* = T_{\nu}$$

$$T_{\nu} = Q_{\beta^-} - 0 \Rightarrow T_{\nu} = Q_{\beta^-} = 0,36 \text{ MeV}$$

$$T_{\nu} = Q_{\beta^-} - 4,77,6 \times 10^{-3} \Rightarrow T_{\nu} = 0,3724 \text{ MeV}$$

EX 5%

La schéma de désintégration du  $^{90}_{35}\text{Br}$  est le suivant



1°) Énergie cinétique maximale des  $\beta^-$

a) état fondamental  $T_{\beta^-/\text{max}} = Q_{\beta^-} = M(^{90}_{35}\text{Br})c^2 - M(^{90}_{36}\text{Kr})c^2 - E^*$

$$= (79,915529 - 79,916315) \text{ u} \cdot 931,494 \text{ MeV/u}$$

$$= 2,003656 \text{ MeV}$$

a) état excité  $T_{\beta^-/\text{max}} = Q_{\beta^-}^* = Q_{\beta^-} - E^*$

$$= 2,003656 - 0,62$$

$$= 1,383656 \text{ MeV}$$



2°/ Sachant que son  $T_{\beta^+}/_{\max} = 0,848 \text{ MeV}$   
calculer la masse  $M(^{90}_{34}\text{Se})$

$$\begin{aligned} T_{\beta^+}/_{\max} &= Q_{\beta^+}^* = Q_{\beta^+} + E_{\nu} \\ &= (M(^{90}_{35}\text{Br}) - M(^{90}_{34}\text{Se}) - 2m_e)c^2 \\ M(^{90}_{34}\text{Se}) &= -\frac{1}{c^2} T_{\beta^+}/_{\max} + M(^{90}_{35}\text{Br}) - 2m_e c^2 \\ &= -0,848 \text{ MeV}/c^2 + 79,913529 \text{ u} - 2 \times 0,511 \text{ MeV}/c^2 \\ &= 79,91654 \text{ u} \end{aligned}$$

3°/

$$T_e(K) = 620 - E_e(K) = 620 - 14,32$$

$$T_e(K) = 605,68 \text{ KeV}$$

$$T_e(L) = 620 - E_e(L) = 620 - 1,92$$

$$T_e(L) = 618,08 \text{ KeV}$$

