

## Examen final

### Module : Physique Atomique & Nucléaire

#### Exercice 1 (8 pts):

- Rappeler la définition de l'excès de masse  $\delta(A, Z)$  d'un nucléide de nombre de masse  $A$  et de nombre atomique  $Z$ .
- Pour le nucléide  ${}_Z^AX$ , exprimer en fonction de  $A$ , de  $Z$  et de  $\delta(A, Z)$  les quantités suivantes:
  - la masse atomique  $\mathcal{M}$ .
  - la masse nucléaire  $M$ .
  - l'énergie de liaison nucléaire  $B(A, Z)$
  - l'énergie de séparation de neutron  $S_n$ .
  - l'énergie de séparation de proton  $S_p$ .
- Calculer pour le  ${}_{46}^{105}\text{Pd}$ : la masse atomique  $\mathcal{M}$ , la masse nucléaire  $M$ , l'énergie de liaison  $B(A, Z)$  (en MeV) et les énergies de séparations de neutron  $S_n$  et de proton  $S_p$  (en MeV).

On donne les excès de masse des nucléides suivants:

$$\begin{aligned} {}_{46}^{104}\text{Pd} &: \delta(104, 46) = -0.095969 \text{ uma} & {}_{46}^{105}\text{Pd} &: \delta(105, 46) = -0.094918 \text{ uma} \\ {}_{45}^{104}\text{Rh} &: \delta(104, 45) = -0.093348 \text{ uma} & {}_{45}^{105}\text{Rh} &: \delta(105, 45) = -0.094309 \text{ uma} \end{aligned}$$

#### Exercice 2 (7 pts):

En générale, seuls les noyaux lourds ont tendance à se désintégrer **spontanément** par émission alpha.

- Ecrire l'équation de désintégration alpha d'un nuclide  ${}_Z^AX$ .
- Ecrire la loi de conservation de l'énergie en termes des énergies de liaison des noyaux impliqués.

Pour un nombre de masse  $A \gg 1$ , on montre que l'énergie de liaison  $B(A, Z)$  d'un noyau  ${}_Z^AX$  peut être approximer par:

$$B(A, Z) = a.A - b.A^2 \quad (a = 9.402 \text{ MeV}, b = 7.7 \times 10^{-3} \text{ MeV})$$

- Donner l'expression du bilan énergétique  $Q$  d'une telle désintégration alpha. Quelle condition doit être satisfaite sur  $Q$  pour que cette désintégration soit **spontanée**.
- Sachant que l'énergie de liaison de la particule alpha est **28.3** MeV, montrer que la désintégration alpha n'est énergétiquement possible que pour  $A > 153$ .

#### Exercice 3 (5 pts):

Une ancienne boîte scellée a été trouvée indiquée pour contenir un alliage composé à **parts égales en masses** de deux métaux A et B. Ces deux métaux sont radioactifs, avec des demi-vies respectives de  $t_{1/2}^A = 12$  ans et  $t_{1/2}^B = 18$  ans. En ouvrant la boîte, on a constaté qu'elle contenait 0.55 kg de A et 2.20 kg de B.

- Déterminer l'âge de l'alliage. (*les masses molaires de A et B sont supposées égales*)

## Final Exam

### Atomic & Nuclear Physics

#### Exercise 1 (8 pts):

- Recall the definition of the mass excess  $\delta(A, Z)$  of a nuclide of mass number  $A$  and atomic number  $Z$ .
- For the nuclide  ${}^A_ZX$ , express in terms of  $A$ ,  $Z$  and  $\delta(A, Z)$  the following quantities:
  - Atomic mass  $\mathcal{M}$ .
  - Nuclear mass  $M$ .
  - Nuclear binding energy  $B(A, Z)$
  - Neutron separation energy  $S_n$ .
  - Proton separation energy  $S_p$ .
- Calculate for  ${}^{105}_{46}\text{Pd}$ : the atomic mass  $\mathcal{M}$ , the nuclear mass  $M$  and (in MeV) the binding energy  $B(A, Z)$ , the neutron separation energy  $S_n$  and proton separation energy  $S_p$ .

We give mass excesses of the following nuclides:

$$\begin{aligned} {}^{104}_{46}\text{Pd} &: \delta(104, 46) = -0.095969 \text{ uma} & {}^{105}_{46}\text{Pd} &: \delta(105, 46) = -0.094918 \text{ uma} \\ {}^{104}_{45}\text{Rh} &: \delta(104, 45) = -0.093348 \text{ uma} & {}^{105}_{45}\text{Rh} &: \delta(105, 45) = -0.094309 \text{ uma} \end{aligned}$$

#### Exercise 2 (7 pts):

In general, only heavy nuclei tend to disintegrate **spontaneously** through alpha decay.

- Write down the nuclear alpha decay equation for a nuclide  ${}^A_ZX$ .
- Write down the energy conservation law in terms of the binding energies of the involved nuclei.

For a mass number  $A \gg 1$ , we show that the binding energy  $B(A, Z)$  of a nucleus  ${}^A_ZX$  can be approximated by:

$$B(A, Z) = a.A - b.A^2 \quad (a = 9.402 \text{ MeV}, \quad b = 7.7 \times 10^{-3} \text{ MeV})$$

- Give the Q-energy balance expression of such alpha decay. What condition must be satisfied on  $Q$  for this decay to be **spontaneous**.
- Knowing that the binding energy of the alpha particle is **28.3** MeV, show that alpha decay is energetically possible only for  $A > 153$ .

#### Exercise 3 (5 pts):

An old sealed box was found to contain an alloy composed of **equal parts in mass** of two metals A and B. These two metals are radioactive, with half-lives of  $t_{1/2}^A = 12$  years and  $t_{1/2}^B = 18$  years respectively. When the box was opened, it was found to contain 0.55 kg of A and 2.20 kg of B.

- Determine the age of the alloy (*the molar masses of A and B are assumed to be equal*).

---

|               |   |                                           |                                                                       |
|---------------|---|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| proton mass   | : | $m_p = 1.007\,277 \text{ uma}$            |                                                                       |
| neutron mass  | : | $m_n = 1.008\,665 \text{ uma}$            | atomic mass unit : $1 \text{ uma} \times c^2 = 931.5 \text{ MeV}/c^2$ |
| electron mass | : | $m_e = 5.4858 \times 10^{-4} \text{ uma}$ |                                                                       |