

# M1 Physique : UE Physique Atomique et Nucléaire Année 2025-2026

Travaux Dirigés 4 : Le modèle de la goutte  
liquide : Formule semi-empirique de masse.

Date : 09/02/2026

Ex. 1 **Isobares  $A = 22$  et compétition des termes du modèle de la goutte liquide**

On considère deux noyaux isobares de nombre de masse  $A = 22$  :

$${}_{10}^{22}\text{Ne} (Z = 10, N = 12) \quad \text{et} \quad {}_{11}^{22}\text{Na} (Z = 11, N = 11).$$

Bien que le neutron soit plus massif que le proton, l'atome  ${}_{11}^{22}\text{Na}$  est expérimentalement plus lourd que  ${}_{10}^{22}\text{Ne}$ . Masse de  ${}_{11}^{22}\text{Na} = 21,99443755(14)\text{u}$ . Masse de  ${}_{10}^{22}\text{Ne} = 21,991385114(19)\text{u}$ . Le but de cet exercice est de comprendre ce résultat à l'aide du modèle de la goutte liquide.

Utiliser la formule semi-empirique de la masse écrite sous la forme

$$M(A, Z) = Z m_H + (A - Z) m_n - \frac{B(A, Z)}{931.5}, \quad (1)$$

où les masses sont en unités de masse atomique (u), les énergies en MeV,  
et

$$1 \text{ u } c^2 = 931.5 \text{ MeV}.$$

L'énergie de liaison est décomposée en termes :

$$B(A, Z) = f_V + f_S + f_C + f_A + f_P, \quad (2)$$

avec

$$f_V = a_V A, \quad (3)$$

$$f_S = -a_S A^{2/3}, \quad (4)$$

$$f_C = -a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}, \quad (5)$$

$$f_A = -a_A \frac{(A-2Z)^2}{A}, \quad (6)$$

$$f_P = \delta(A, Z). \quad (7)$$

On utilisera les valeurs numériques :

$$a_V = 15,8 \text{ MeV}, \quad a_S = 18,3 \text{ MeV}, \quad a_C = 0.71 \text{ MeV}, \quad a_A = 23.2 \text{ MeV}, \quad a_P = 12.0 \text{ MeV},$$

et

$$(m_n - m_H)c^2 \simeq 0.782 \text{ MeV}.$$

Le terme d'appariement vaut

$$\delta(A, Z) = \begin{cases} +a_P A^{-1/2} & \text{pair-pair,} \\ 0 & \text{pair-impair,} \\ -a_P A^{-1/2} & \text{impair-impair.} \end{cases}$$

### Questions

- (a) Expliquer pourquoi les termes  $f_V$  et  $f_S$  ne contribuent pas à la différence de masse entre les deux noyaux.
- (b) Calculer la contribution  $\Delta M_{f_0}$  due au terme

$$f_0 = Zm_H + (A - Z)m_n$$

lors du passage de  $Z = 10$  à  $Z = 11$ .

- (c) Calculer la variation du terme coulombien  $f_C$ , puis la contribution correspondante  $\Delta M_{f_C}$ .
- (d) Calculer la variation du terme d'asymétrie  $f_A$ , puis la contribution  $\Delta M_{f_A}$ .
- (e) Calculer le terme d'appariement  $f_P$  pour  ${}^{22}_{10}\text{Ne}$  et  ${}^{22}_{11}\text{Na}$ , puis la contribution  $\Delta M_{f_P}$ .
- (f) En déduire la variation totale de masse  $\Delta M = M(22, 11) - M(22, 10)$ . Quel atome est prédit plus lourd ? Comparer avec les masses mesurées expérimentalement.