

# Interaction neutron matière

## Convertir l'énergie (MeV) des neutrons en vitesse (km/s)

- 2 MeV - neutron rapide
- 1 keV - neutron épithermique
- 0.25 eV - neutron thermique / lent

```
In [1]: # Ec=0.5 * m * v^2
```

```
eV_to_J = 1.60218e-19
```

```
def vitesse_depuis_energie(energie_eV):  
    masse_neutron_kg = 1.675e-27  
    energie_joules = energie_eV * eV_to_J  
    vitesse = (2 * energie_joules / masse_neutron_kg) ** 0.5  
    return vitesse
```

```
print("Energie {:.2f} MeV  Vitesse {:.2e} km/s".format(2.0, vitesse_depuis_energie(2.0e6)/1e3))  
print("Energie {:.2f} keV  Vitesse {:.2e} km/s".format(1.0, vitesse_depuis_energie(1e3)/1e3))  
print("Energie {:.2f} eV   Vitesse {:.2e} km/s".format(0.25, vitesse_depuis_energie(0.25)/1e3))
```

```
Energie 2.00 MeV  Vitesse 1.96e+04 km/s  
Energie 1.00 keV  Vitesse 4.37e+02 km/s  
Energie 0.25 eV   Vitesse 6.92e+00 km/s
```

## Cinématique de réaction

On considère la désintégration alpha du polonium 210. On donne les masses des noyaux :

Polonium 210 : 210.0857 u

Particule  $\alpha$  : 4.0015 u

Plomb 206 : 206.0789 u

Calculer l'énergie W mise en jeu dans la réaction (on supposera qu'elle apparaît uniquement sous forme d'énergie cinétique).

En supposant le noyau de polonium initialement au repos et en appliquant les lois de la mécanique classique, exprimer les énergies cinétiques du noyau d'hélium et du noyau de plomb en fonction de W et des masses des noyaux. Faire l'application numérique

```
In [2]: import numpy as np  
masse_polonium_u = 210.0857  
masse_alpha_u = 4.0015  
masse_plomb_u = 206.0789  
  
u_to_MeV = 931.5 # 1 u = 931.5 MeV/c^2  
u_to_kg = 1.66054e-27 # 1 u = 1.66054e-27 kg
```

```
# Po -> Pb + alpha
```

```
W = (masse_polonium_u - (masse_plomb_u + masse_alpha_u)) * u_to_MeV
```

```
print("Energie libérée lors de la désintégration du Polonium-210 : {:.2f} MeV".format(W))
```

```
vitesse_alpha_m_s = np.sqrt(2 * W * eV_to_J * 1e6 / ((masse_alpha_u + masse_alpha_u**2 / masse_plomb_u) * u_to_kg))  
vitesse_plomb_m_s = (masse_alpha_u / masse_plomb_u) * vitesse_alpha_m_s
```

```
print("Vitesse de l'alpha : {:.2e} km/s".format(vitesse_alpha_m_s / 1e3))  
print("Vitesse du plomb : {:.2e} km/s".format(vitesse_plomb_m_s / 1e3))
```

```
print("Energie cinétique alpha {:.2e} MeV".format(0.5*masse_alpha_u*u_to_kg*vitesse_alpha_m_s**2/eV_to_J*1e-6))  
print("Energie cinétique Plomb {:.2e} MeV".format(0.5*masse_plomb_u*u_to_kg*vitesse_plomb_m_s**2/eV_to_J*1e-6))
```

```
Energie libérée lors de la désintégration du Polonium-210 : 4.94 MeV  
Vitesse de l'alpha : 1.53e+04 km/s  
Vitesse du plomb : 2.97e+02 km/s  
Energie cinétique alpha 4.84e+00 MeV  
Energie cinétique Plomb 9.40e-02 MeV
```

$$m_{\alpha} v_{\alpha} + m_{\text{Pb}} v_{\text{Pb}} = 0 \quad m_{\alpha} v_{\alpha}^2 + m_{\text{Pb}} v_{\text{Pb}}^2 = 2W$$

$$\Rightarrow v_{\alpha} = \sqrt{\frac{2W}{m_{\alpha} + \frac{m_{\alpha}^2}{m_{\text{Pb}}}}} \quad \text{et} \quad v_{\text{Pb}} = \frac{m_{\alpha}}{m_{\text{Pb}}} v_{\alpha}$$

La vitesse du plomb est inférieure à la vitesse de la particule alpha car il y est plus lourd à déplacer.

On considère la réaction de fusion:  $\text{H}_2 + \text{H}_3 \rightarrow \text{He}_4 + \text{n}$

A partir des énergies de liaison par nucléon : 1.11 MeV pour le deutérium, 2.83 MeV pour le tritium et 7.07 MeV pour la particule  $\alpha$ ,

trouver quelle est l'énergie mise en jeu par la réaction. Montrer que le neutron part avec une énergie de 14 MeV (on suppose D et T initialement au repos)

```
In [3]: energie_liaison_deuterium_MeV = 1.11
energie_liaison_tritium_MeV = 2.83
energie_liaison_alpha_MeV = 28.30

masse_neutron_u = 1.00866491588 # Masse d'un neutron en u

W_fusion = (energie_liaison_alpha_MeV - (energie_liaison_deuterium_MeV + energie_liaison_tritium_MeV))
print("Energie libérée lors de la fusion {:.2f} MeV".format(W_fusion))

vitesse_alpha_fusion_m_s = np.sqrt(2 * W_fusion * eV_to_J * 1e6 / ((masse_alpha_u + masse_alpha_u**2 / masse_neutron_u) * masse_alpha_u))
vitesse_neutron_m_s = (masse_alpha_u / masse_neutron_u) * vitesse_alpha_fusion_m_s
print("Vitesse de l'alpha issu de la fusion {:.2e} km/s".format(vitesse_alpha_fusion_m_s / 1e3))
print("Vitesse du neutron issu de la fusion {:.2e} km/s".format(vitesse_neutron_m_s / 1e3))

Energie libérée lors de la fusion :24.36 MeV
Vitesse de l'alpha issu de la fusion :1.54e+04 km/s
Vitesse du neutron issu de la fusion :6.10e+04 km/s
```

## Calculez l'énergie de séparation du dernier neutron pour l'U235 et l'U238

Comparez à la barrière de fission

U235 : 6.1 MeV

U238 : 6.6 MeV

```
In [4]: # 1N-Z    N    Z    A    EL    O    MASS EXCESS    BINDING ENERGY/A    BETA-DECAY ENERGY
# 51 143  92 235 U    40918.782    1.116    7590.9151    0.0048 B-    -124.2619    0.8524 235
# 52 144  92 236 U    42444.582    1.112    7586.4854    0.0047 B-    -933.5116    50.4152 236
# 54 146  92 238 U    47307.732    1.492    7570.1262    0.0063 B-    -146.8652    1.2006 238
# 55 147  92 239 U    -n    50572.668    1.502    7558.5624    0.0063 B-    1261.6634    1.4935 239

energie_u235_MeV = 7.5909151
energie_u236_MeV = 7.5864854
Z_u235 = 235
Z_u236 = 236

Sn=energie_u236_MeV*Z_u236-energie_u235_MeV*Z_u235

print("U235 -> U236 Energie de separation Sn {:.3f} MeV".format(Sn))

energie_u238_MeV = 7.5701262
energie_u239_MeV = 7.5585624
Z_u238 = 238
Z_u239 = 239

Sn=energie_u239_MeV*Z_u239-energie_u238_MeV*Z_u238

print("U238 -> U239 Energie de separation Sn {:.3f} MeV".format(Sn))

U235 -> U236 Energie de separation Sn 6.546 MeV
U238 -> U239 Energie de separation Sn 4.806 MeV
```

Sn(U235) est supérieur à la barrière de fission donc avec une particule à vitesse nulle, l'U235 peut réagir alors que pour l'U238 il faut une vitesse tel que l'énergie cinétique vaut la différence entre la barrière et Sn.

Donner les chaleurs dégagées dans les réactions suivantes et dire si elles sont endo ou exo thermiques

$n + {}^{10}_5\text{B} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^7_3\text{Li}$  \$ avec B(10,5)=64.75 MeV; B(4,2)=28.30 MeV; B(7,3)=39.24 MeV

$n + {}^{16}_8\text{O} \rightarrow p + {}^{16}_7\text{N}$  \$ avec B(16,8)=127.62 MeV ; B(16,7)=117.98 MeV

$n + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow p + {}^{14}_6\text{C}$  \$ avec B(14,7)=104.66 MeV; B(14,6)=105.28 MeV

$n + {}^6_3\text{Li} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^4_2\text{He}$  \$ avec B(6,3)=32.00 MeV; B(3,1)=8.48 MeV; B(4,2)=28.30 MeV

$n + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{236}_{92}\text{U}$  \$ avec B(235,92)=1783.870 MeV ; B(236,92)=1790.415 MeV

$n + {}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{239}_{92}\text{U}$  \$ avec B(238,92)=1801.695MeV ; B(239,92)=1806.501MeV

```
In [5]: # Q = B finale - B initiale
print("Q1 = {:.2f} MeV".format(28.3+39.24-64.75))
print("Q2 = {:.2f} MeV".format(117.98-127.62))
print("Q3 = {:.2f} MeV".format(105.28-104.66))
print("Q4 = {:.2f} MeV".format(28.3+8.48-32.00))
print("Q5 = {:.2f} MeV".format(1790.415-1783.870))
print("Q6 = {:.2f} MeV".format(1806.501-1801.695))

print("Si Q>0 réaction exothermique, Si Q<0 réaction endothermique sinon réaction élastique")
```

Q1 = 2.79 MeV

Q2 = -9.64 MeV

Q3 = 0.62 MeV

Q4 = 4.78 MeV

Q5 = 6.55 MeV

Q6 = 4.81 MeV

Si  $Q > 0$  réaction exothermique, Si  $Q < 0$  réaction endothermique sinon réaction élastique

Il y a que Q2 qui est endothermique