

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 α : 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_poloniuim_u = 210.0857
masse_alpha_u = 4.0015
masse_plumb_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_poloniuim_u - (masse_plumb_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_plumb_u)*u_to_kg)
vitesse_plumb_m_s = (masse_alpha_u / masse_plumb_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_plumb_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_plumb_u*u_to_kg*vitesse_plumb_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

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

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

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: $H_2 + H_3 \rightarrow He_4 + n$

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 α ,

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))
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 : 6.6MeV

```
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

$\$ n + ^{10}_5B \rightarrow ^{4}_2He + ^{7}_3Li$ \$ avec B(10,5)=64.75 MeV; B(4,2)=28.30 MeV; B(7,3)=39.24 MeV
 $\$ n + ^{16}_8O \rightarrow ^{16}_8O$ \$ avec B(16,8)=127.62 MeV ; B(16,7)=117.98 MeV
 $\$ n + ^{14}_7N \rightarrow ^{14}_7N$ \$ avec B(14,7)=104.66 MeV; B(14,6)=105.28 MeV
 $\$ n + ^{6}_3Li \rightarrow ^{3}_1H + ^{4}_2He$ \$ avec B(6,3)=32.00 MeV; B(3,1)=8.48 MeV; B(4,2)=28.30 MeV
 $\$ n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{236}_{92}U$ \$ avec B(235,92)=1783.870 MeV ; B(236,92)=1790.415 MeV
 $\$ n + ^{238}_{92}U \rightarrow ^{239}_{92}U$ \$ avec B(238,92)=1801.695 MeV ; B(239,92)=1806.501 MeV

```
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