

## TD2 : Dualité onde-particule et radioactivité

1. Dans le cadre d'une expérience de diffraction, on envoie un faisceau d'électrons vers une ouverture de petite taille. Les électrons vont tous à la même vitesse  $v = 20\% c_0$  où  $c_0$  est la célérité de la lumière dans le vide.

- a) Quelle est la quantité de mouvement de chaque électron ?
- b) On peut considérer ce faisceau monocinétique comme une onde de matière. Quelle en est la longueur d'onde ?

2. L'énergie d'ionisation d'un atome  $E_{\text{ion}}$  est l'énergie minimale nécessaire pour arracher un électron de la couche la plus superficielle. Pour le lithium on a  $E_{\text{ion}}(\text{Li}) = 2,33 \text{ eV}$ .

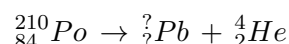
- a) Quelle est la fréquence  $\nu_0$  minimale d'une lumière monochromatique ionisant le lithium ?
- b) À quelle longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$  cela correspond-il ? À quelle couleur ?

3. Le brome  $^{77}\text{Br}$  est un matériau radioactif utilisé en imagerie médicale. Il se désintègre en sélénium  $^{77}\text{Se}$ .

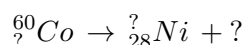
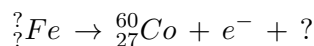
- a) Les espèces  $^{77}\text{Br}$  et  $^{77}\text{Se}$  sont-elles des isotopes ?
- b) Écrivez l'équation de désintégration du brome 77 en sélénium. De quel type de radioactivité s'agit-il ? Quelle est l'interaction fondamentale qui intervient ? (*Données* :  $Z(\text{Br}) = 35$  et  $Z(\text{Se}) = 34$ )

4. Complétez les équations nucléaires suivantes. Indiquez s'il s'agit de nucléosynthèse, radioactivité  $\alpha$ ,  $\beta$  ou  $\gamma$ ; et quelle interaction fondamentale intervient.

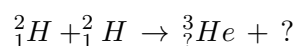
- a) (Le polonium 210 est présent à l'état de traces dans la nature. On en fabrique aussi par transmutation pour obtenir des sources radioactives puissantes.)



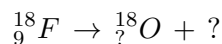
- b) (Le fer 60 issu des supernovæse retrouve dans les planètes, astéroïdes, comètes... dont on peut estimer l'âge d'après les proportions de fer 60, cobalt 60 et nickel 60.)



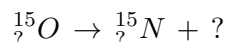
- c) (Une autre des réactions se produisant au cœur du Soleil.)



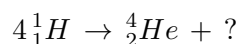
- d) (L'oxygène 18 est un isotope stable. Le fluor 18, produit à partir d'oxygène 18 par la réaction inverse de celle ci-dessous, est utilisé en imagerie médicale – plus exactement le procédé de tomographie.)



- e) (L'oxygène 15 est aussi utilisé en tomographie.)



5. La lumière émise par le Soleil vient des réactions de fusion thermonucléaires qui s'y produisent, notamment :



- a) Complétez l'équation de cette réaction.
- b) La puissance lumineuse émise par le Soleil est d'environ  $P_{\text{lum}} \simeq 3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$ . Calculez la perte de masse correspondante, par seconde.
- c) Le Soleil est âgé d'environ 4,6 milliards d'années. Calculez la masse perdue par rayonnement depuis sa naissance, et comparez-la à la masse actuelle du Soleil :  $M_{\odot} = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ .

6. Un laser utilisé en TP au lycée émet en continu, avec une puissance  $P = 1 \text{ mW}$ , une lumière monochromatique de une longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 633 \text{ nm}$ .

a) Combien de photons ce laser émet-il par seconde ?

b) À combien de moles de photons cela correspond-il ?

Dans le cadre du projet européen Extreme Light Infrastructure (ELI), un laser à Décharge Électrique Impulsionnelle (DEI) a été construit. Ce laser émet des impulsions de durée minimale  $\Delta t = 1.10^{-12} \text{ s}$  avec une puissance  $P' = 200.10^9 \text{ MW}$ . La longueur d'onde moyenne (dans le vide) de la lumière quasi-monochromatique émise est  $\lambda' = 1000 \text{ nm}$ .

c) Combien de photons ce laser émet-il pendant une impulsion ? Combien de moles de photons cela représente-t'il ?

d) S'il émettait en continu, combien de photons émettrait-il par seconde ? Combien de moles de photons cela fait-il ?

On estime que le flux moyen de photons solaires reçu sur Terre (ensoleillement moyen) est d'une mole de photons par seconde pour une surface de  $300 \text{ m}^2$ .

e) Calculez la surface équivalente à l'émission du laser de lycée, c'est-à-dire la surface ensoleillée recevant autant de photons solaires par seconde que ce qu'émet le laser de lycée.

f) Calculez la surface équivalente pour un laser de type ELI émettant en continu. Comparez à la surface de la Terre (le rayon terrestre moyen vaut  $R_T = 6,37.10^3 \text{ km}$ ).

7. L'activité radioactive  $A$  en un lieu donné est le nombre de désintégrations par seconde, comptées en ce lieu. Elle est mesurée en Becquerel (Bq).

Le radon 222 est un gaz radioactif, inodore et incolore, présent à l'état naturel, principalement dans les régions granitiques. Le radon est la 2e cause d'apparition du cancer du poumon, après le tabac. On mesure sa concentration en Becquerel (Bq) par  $\text{m}^3$  d'air. Le seuil de précaution est  $400 \text{ Bq.m}^{-3}$  et le seuil d'alerte  $1000 \text{ Bq.m}^{-3}$ .

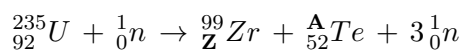
Pour mesurer l'activité du radon dans une pièce, on prélève  $120 \text{ mL}$  d'air et on compte le nombre  $n_d$  de désintégrations ayant lieu pendant la durée  $\Delta t = 500 \text{ s}$ . On trouve  $n_d = 73$  désintégrations.

a) Déterminer l'activité  $A$  de l'échantillon.

b) La concentration en radon 222 dans la pièce où l'on a effectué le prélèvement est-elle dangereuse ?

8. Dans une centrale nucléaire, le combustible utilisé est un mélange d'uranium 238 (majoritaire) et d'uranium 235. L'énergie provient de la fission de l'uranium 235 (réaction exothermique). L'uranium 238 n'est pas fissile.

Considérons la réaction suivante, fission de l'uranium 235 bombardé par des neutrons :



a) Déterminez les valeurs de  $A$  et  $Z$  dans cette équation. Cette réaction peut-elle donner naissance à une réaction en chaîne ?

b) Calculez la variation de masse occasionnée par cette réaction, en déduire l'énergie dégagée. On donne les masses des noyaux et du neutron ( $10^{-27} \text{ kg}$ ) :  $m({}^{235}\text{U}) = 390,2996$  ;  $m({}^{99}\text{Zr}) = 164,2547$  ;  $m({}^{134}\text{Te}) = 222,3650$  ;  $m(\text{n}) = 1,67493$ .

c) Calculez le nombre d'atomes d'uranium dans  $1 \text{ g}$  d'uranium 235.

d) Déduisez-en l'énergie libérée par  $1 \text{ g}$  d'uranium 235.

e) Le pouvoir calorifique moyen du charbon est de  $20 \text{ kJ.g}^{-1}$ . Calculez la masse de charbon qui fournirait la même quantité d'énergie que  $1 \text{ g}$  d'uranium 235.

f) Le zirconium 99 est instable, il se désintègre au cours d'une réaction  $\beta^-$ , donnant le noyau de niobium  $\text{Nb}$ . Écrivez l'équation de la désintégration.