

## I. Largeur d'une fente

- Cet exercice décrit une expérience utilisant une lumière de couleur rouge, émise par un laser, de longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 633 \text{ nm}$ .

### 1. Expérience

- On place perpendiculairement au faisceau lumineux et à quelques centimètres du laser, une fente fine et verticale de largeur  $a$ . Un écran situé à une distance  $D$  de la fente, montre des taches lumineuses réparties sur une ligne horizontale. La tache centrale plus lumineuse que les autres, est la plus large (**voir figure 1 de la feuille annexe**).

1.1. Quel phénomène subit la lumière émise par le laser dans cette expérience ? Que peut-on en conclure par analogie avec les ondes mécaniques ?

1.2. L'angle  $\theta$  (de la figure 1) est donné par la relation :  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  (1)

1.2.1 Que représente cet angle  $\theta$  ?

1.2.2 Préciser les unités de chaque terme intervenant dans cette relation.

1.3. Exprimer  $\theta$  en fonction de la largeur  $\ell$  de la tache centrale et de la distance  $D$  (2).

L'angle  $\theta$  étant faible, on pourra utiliser l'approximation  $\tan\theta \approx \theta$  avec  $\theta$  en radians.

1.4. En utilisant les relations (1) et (2), montrer que la largeur  $a$  de la fente s'exprime par la relation :

$$a = \frac{2 \cdot \lambda \cdot D}{\ell}$$

1.5. Calculer  $a$ . **On donne** :  $\ell = 38 \text{ mm}$  et  $D = 3,00 \text{ m}$ .

## II. Temps de demi-vie et constante de temps

### 1. Temps de demi-vie

- Le thorium  $^{230}\text{Th}$  est utilisé dans la datation des coraux et concrétions carbonatées ainsi que dans la datation des sédiments marins et lacustres. Dans un échantillon de « thorium 230 », on appelle  $N(t)$  le nombre de noyaux de thorium présents à chaque date  $t$  et  $N_0$  celui des noyaux présents à la date  $t_0 = 0 \text{ an}$ . On a

représenté sur **la feuille réponse** la courbe donnant le rapport  $\frac{N(t)}{N_0} = f(t)$

1.1. Le noyau  $^{230}\text{Th}$  est un émetteur  $\alpha$  et se désintègre pour donner du  $^{88}\text{Ra}$ . Indiquer ce que représente  $\alpha$  et écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondante, en précisant les lois utilisées (le noyau de radium est obtenu dans un état non excité)

1.2. Donner la définition du temps de demi-vie  $t_{1/2}$ .

Déterminer graphiquement le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  en utilisant la courbe de **la feuille annexe** et en expliquant succinctement la méthode utilisée.

1.3. Parmi les grandeurs suivantes, quelle est la seule grandeur qui fait varier le temps de demi-vie ?

- L'âge de l'échantillon de noyaux
- La quantité initiale de noyaux.
- La température
- La nature des noyaux

### 2. Constante de temps

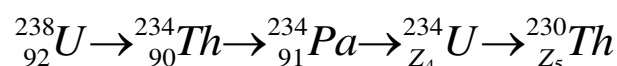
2.1. Déterminer graphiquement la constante de temps  $\tau$  (en années). La construction graphique doit apparaître sur la courbe de **la feuille réponse**

Déduire de la valeur de  $\tau$  la valeur de la constante radioactive  $\lambda$  en  $\text{an}^{-1}$ .

2.2. Donner l'expression mathématique de la loi de décroissance radioactive

2.3. Calculer, à partir de la demi-vie  $t_{1/2}$ , la constante radioactive  $\lambda$  en  $\text{an}^{-1}$ . Comparer avec la valeur du 2.1. et expliquer l'écart éventuellement observé.

2.4. Le thorium  $^{230}\text{Th}$  fait partie de la famille radioactive de l'uranium  $^{238}\text{U}$ . Une famille radioactive est composée d'un ensemble de noyaux radioactifs, tous issus d'un noyau initial instable qui, de père en fils, par désintégrations successives conduisent à un noyau stable, ici le « plomb 206 ». L'« uranium 238 », dissous à l'état de traces dans l'eau de mer, produit des atomes de « thorium 230 » suivant les réactions nucléaires suivantes :



Donner les valeurs de  $Z_4$  et  $Z_5$ , en les justifiant, et indiquer le type de radioactivité pour les deux premières transformations.

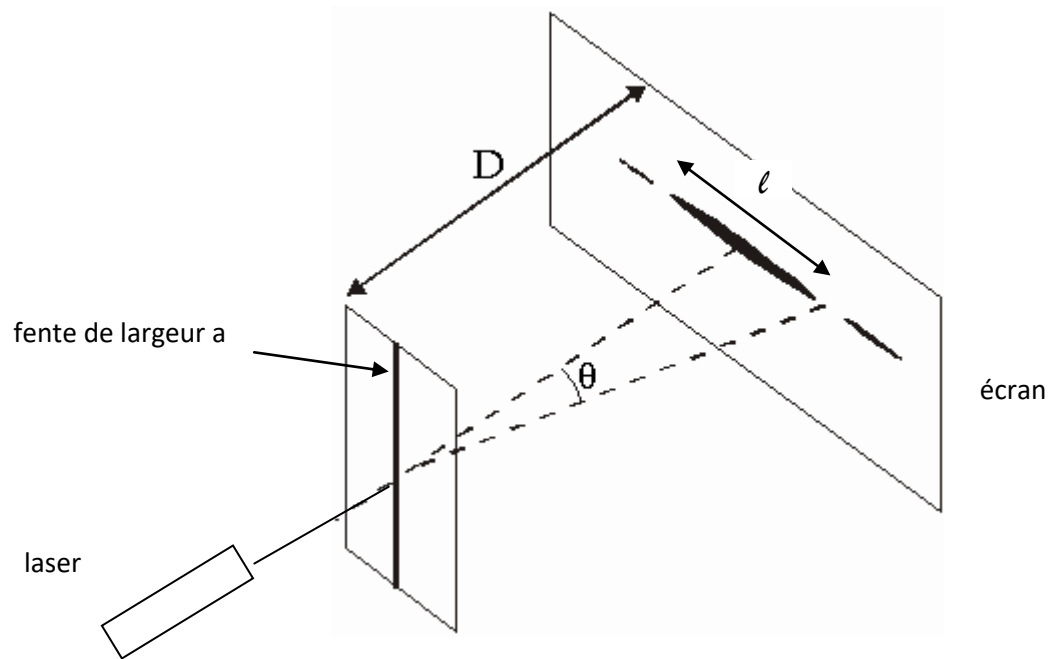
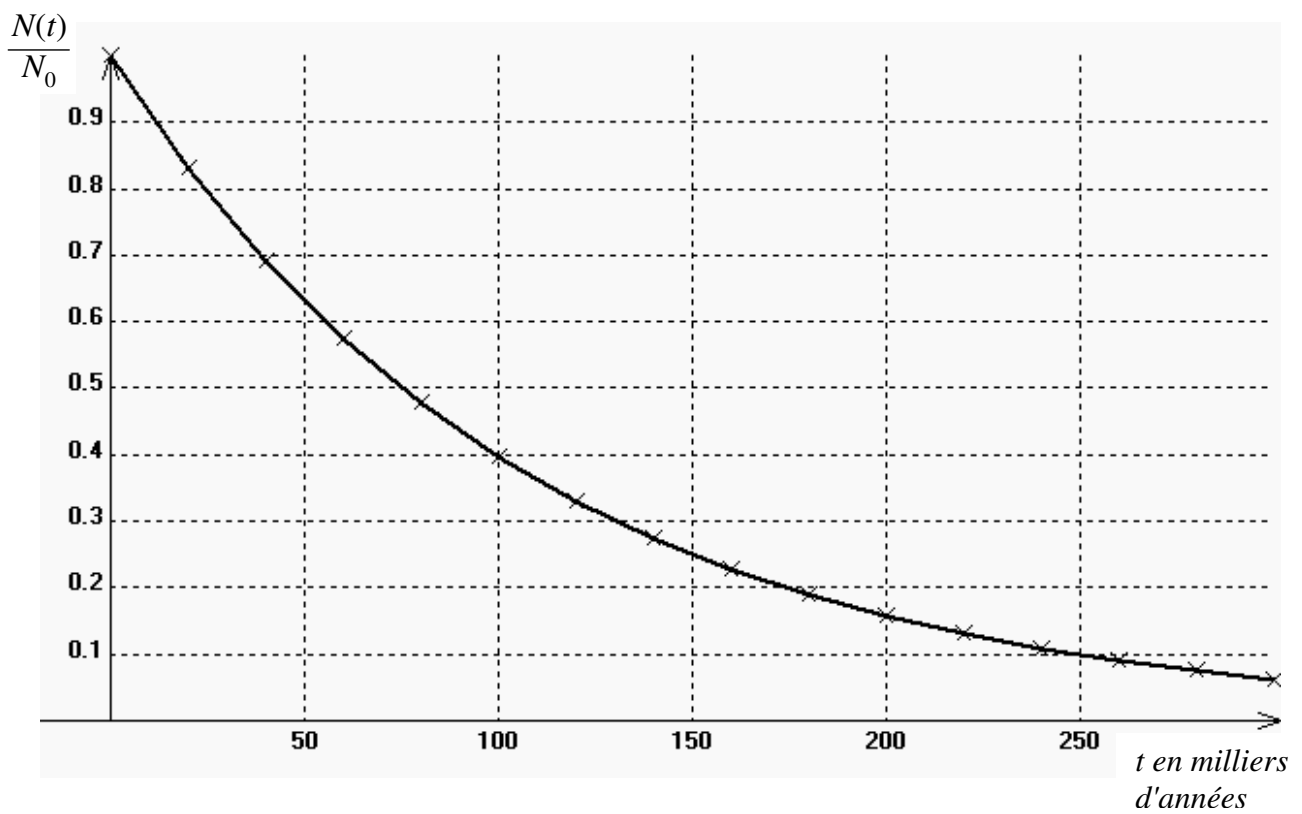


FIGURE N°1



## Correction

### A propos de la lumière

#### Première expérience

Le phénomène mis en évidence dans cette expérience est la **diffraction**. Par analogie avec la diffraction des ondes mécaniques, on peut dire que la lumière possède un **caractère ondulatoire**.

L'angle  $\theta$  (de la figure 1) est donné par la relation :  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  (relation (1))

En l'absence du phénomène de diffraction, le rayon lumineux se propagerait en ligne droite. En réalité, après passage par la fente fine, la lumière se propage en formant des cônes lumineux qui forment des taches sur l'écran. L'angle  $\theta$  représente la **demi-largeur angulaire** de la tache centrale de diffraction.  $\theta$  s'exprime en radians (rad) ;  $\lambda$  longueur d'onde s'exprime en mètres (m) ; a largeur de la fente s'exprime en mètres (m).

Dans le triangle (ABC), rectangle en B on a  $\tan \theta = \frac{\ell}{2D} \approx \theta$  relation (2) car  $\theta$  est petit

$$\theta \approx \frac{\ell}{2D} \text{ et } \theta = \frac{\lambda}{a} ; \text{ d'où } \frac{\ell}{2D} = \frac{\lambda}{a} \text{ soit } a = \frac{2 \cdot \lambda \cdot D}{\ell} ;$$

$$a = \frac{2 \times 633 \times 10^{-9} \times 3,00}{38 \times 10^{-3}} = 10 \times 10^{-5} \text{ m}$$

### Temps de demi-vie et constante de temps

#### Temps de demi-vie

${}_{90}^{230}\text{Th} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{88}^{226}\text{Ra}$  ; On applique les lois de conservation de Soddy :

conservation du nombre de nucléons donc  $230 = 4 + A$  soit  $A = 226$

le nombre de protons ou le nombre de neutrons ne se conserve pas toujours, par contre le nombre de nucléons se conserve toujours

conservation du nombre de charge donc  $Z = 2 + 88$  soit  $Z = 90$

On obtient l'équation suivante :  ${}_{90}^{230}\text{Th} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{88}^{226}\text{Ra}$

$\alpha$  est un noyau d'hélium. *Ne pas dire atome, puisqu'en nucléaire on raisonne en terme de noyaux.*

Le temps de demi-vie est la **durée** au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans un échantillon se sont désintégrés.

Donc à  $t = t_{1/2}$ , on a  $N(t_{1/2}) = N_0 / 2$  Soit  $N(t_{1/2})/N_0 = 0,5$

Graphiquement, on cherche la date pour laquelle pour  $N(t) / N_0 = 0,5$ , on trouve que  $t_{1/2} = 7,5 \times 10^4$  années.

Le temps de demi-vie est caractéristique de la **nature des noyaux**. Il est indépendant des autres paramètres.

#### Constante de temps

Il faut tracer la tangente à  $t = 0$  ; cette tangente coupe l'axe des temps pour  $t = \tau$

soit  $\tau \approx 120$  milliers d'années =  $1,2 \times 10^5$  ans

La constante radioactive  $\lambda$  est l'inverse de la constante de temps  $\tau$  :

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{1,2 \times 10^5} \approx 8,3 \times 10^{-6} \text{ an}^{-1}$$

Loi de décroissance radioactive :  $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda \cdot t}$

$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$  soit  $\lambda = \frac{\ln(2)}{7,5 \times 10^4}$  ;  $\lambda = 9,2 \times 10^{-6} \text{ an}^{-1}$ . L'écart entre les deux valeurs obtenues vient du tracé de la tangente qui est imprécis.

Pour répondre à cette question, on applique les lois de conservation de Soddy :

1<sup>ère</sup> transformation :  ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{X}$  d'où  $238 = 234 + A$  soit  $A = 4$ ;  $92 = 90 + Z$  soit  $Z = 2$

${}_2^4\text{X}$  est donc un noyau d'hélium  ${}_2^4\text{He}$ , la **première désintégration est de type  $\alpha$** .

2<sup>ème</sup> transformation :  ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{234}\text{Pa} + {}_Z^A\text{X}$  d'où  $234 = 234 + A$  soit  $A = 0$ ;  $90 = 91 + Z$  soit  $Z = -1$

${}_Z^A\text{X}$  est un électron  ${}_{-1}^0\text{e}$ , la **seconde désintégration est du type  $\beta^-$** .

Accès à  $Z_4$  et  $Z_5$  : Un élément chimique est caractérisé par son numéro atomique  $Z$ .

Le noyau  ${}_{92}^{234}\text{U}$  appartient à l'élément uranium, donc  $Z_4 = 92$ .

Le noyau  ${}_{90}^{230}\text{Th}$  appartient à l'élément thorium, donc  $Z_5 = 90$ .

