

## IMRT3 : DEVOIR 4 : 0809

### Q1 : QCM: compléter le tableau par V pour Vrai et F pour Faux

#### Données :

nombre d'Avogadro :  $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

célérité de la lumière :  $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 931,49 \text{ MeV}/c^2$

masse du proton :  $m_P = 1,007 82 \text{ u}$

niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène :

$$E_1 = -13,6 \text{ eV}$$

$$E_2 = -3,4 \text{ eV}$$

constante de Planck :  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

charge élémentaire :  $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

masse de l'électron :  $m_e = 5,48 \times 10^{-4} \text{ u}$

masse du neutron :  $m_N = 1,008 66 \text{ u}$

$$E_3 = -1,5 \text{ eV}$$

$$E_4 = -0,85 \text{ eV}.$$

- Les états d'énergie d'un électron sont définis par quatre nombres quantiques. On peut affirmer que :
  - le nombre quantique magnétique  $m$  varie par valeurs entières de  $-n$  à  $+n$
  - le nombre quantique secondaire  $l$  varie par valeurs entières de  $0$  à  $n-1$
  - deux électrons appariés ont leurs quatre nombres quantiques identiques
  - le nombre quantique de spin  $s$  est demi-entier
- À partir de l'écriture suivante  ${}^{131}_{53}\text{I}^-$  on peut déduire que :
  - le nombre de nucléons de ce nucléide est 131
  - la masse d'un atome de cet isotope de l'iode est environ  $2,2 \times 10^{-22} \text{ g}$
  - il y a 53 électrons dans le nuage électronique de cet ion
  - il y a 131 neutrons dans ce noyau.
- La longueur d'onde d'un photon vaut 1,75 pm.
  - son énergie vaut 0,113 pJ
  - sa masse vaut  $1,26 \times 10^{-30} \text{ kg}$
  - il peut donner lieu à une réaction de matérialisation au voisinage d'un noyau.
  - son énergie vaut 7,1 MeV
- Le retour à l'état fondamental d'un atome d'hydrogène depuis le troisième état excité peut s'accompagner :
  - de l'émission d'un photon de 10,2 eV
  - de l'émission d'un photon de 15,8 eV
  - de l'émission d'un photon de longueur d'onde  $\lambda = 97,3 \text{ nm}$
  - de l'émission d'un photon d'énergie  $2,18 \times 10^{-18} \text{ J}$
- L'énergie moyenne de liaison par nucléon de la particule  $\alpha$  est 7,07 MeV/nucléon.  
La masse de la particule  $\alpha$  est
  - 4,002 58 u
  - 4,063 5 u
  - 4,032 98 u
  - 4,025 39 u.
- Lors d'une réaction nucléaire spontanée, l'émission  $\beta^-$  :
  - s'accompagne de l'émission d'un neutrino
  - provient des électrons des couches profondes (K essentiellement)
  - provient de la transformation d'un neutron du noyau en un proton
  - provient de la transformation d'un proton du noyau en un neutron
- La demi-vie ou période radioactive de l'iode 131 est de 8,04 jours.
  - sa constante radioactive est de  $0,124 \text{ jour}^{-1}$
  - sa constante radioactive est de  $1,0 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$
  - la totalité de l'iode 131 aura disparu au bout de 16,08 jours
  - au bout de 24,1 jours, il ne reste que le huitième des noyaux d'iode 131

## Q2 : Cyclotron.

Données :

Masse du proton :  $m_P = 1,007\ 82\ u$

Champ magnétique  $B = 2,0\ T$

charge élémentaire :  $e = 1,602 \times 10^{-19}\ C$

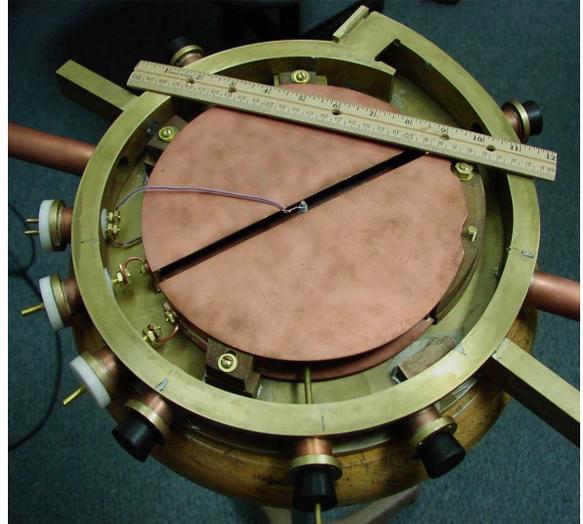
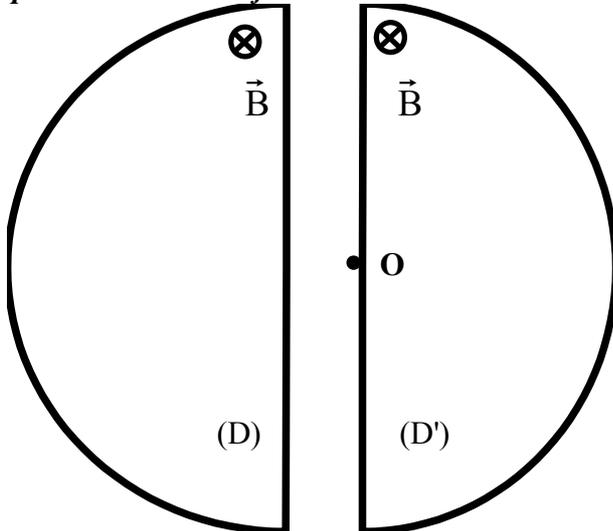
$1\ u = 1,660\ 538\ 86(28) \times 10^{-27}\ kg$

amplitude de la tension alternative  $U = 20\ kV$

Un cyclotron est constitué de deux boîtes semi-cylindriques (les dees) de rayon  $R = 12,5\ cm$  à l'intérieur desquelles on établit un champ magnétique  $\vec{B}$ .

Dans l'espace compris entre ces deux boîtes on établit une tension alternative  $u$  d'amplitude  $U$ .

Des protons  $H^+$  sont injectés en  $O$  avec une vitesse négligeable.



- On suppose que la tension est maximale et que les protons arrivant en  $O$  sont attirés par le dee (D).
  - 1.1. Préciser le signe de la différence de potentiel  $U_D - U_{D'}$ .
  - 1.2. Calculer leur énergie cinétique  $E_{C1}$  lorsqu'ils arrivent en (D).
  - 1.3. En déduire leur vitesse  $v_1$  à leur arrivée en (D). Représenter celle-ci sur le schéma.
  - 1.4. Donner l'expression de la force à laquelle sont soumises les particules à leur entrée en (D). Calculer sa valeur et représenter celle-ci sur le schéma.
- 2.1. Donner les caractéristiques caractéristiques du mouvement et la forme de la trajectoire des protons dans le dee.
  - 2.2. Exprimer le rayon  $R_1$  de leur trajectoire en fonction de  $B$ ,  $m$ ,  $q$  et  $U$  et le calculer.
  - 2.3. Donner l'expression littérale et calculer la durée de passage des protons dans (D).
- Les protons à leur sortie de (D), sont accélérés par la tension alternative  $u$ , dont on suppose à nouveau qu'elle a atteint sa valeur maximale.
  - 3.1. Préciser le signe de la différence de potentiel  $U_D - U_{D'}$  pour que les protons soient effectivement accélérés.
  - 3.2. Donner l'expression littérale et calculer la nouvelle énergie cinétique des protons à leur entrée en (D').
  - 3.3. Donner les caractéristiques du mouvement et la forme de la trajectoire dans (D').
  - 3.4. Donner l'expression littérale et calculer la durée du mouvement des particules dans (D').
- Établir l'expression de la fréquence de la tension alternative  $u$ , de manière à ce qu'elle accélère les protons de manière optimale ; calculer celle-ci.
- Donner l'expression littérale de l'énergie cinétique  $E_{Cn}$  des protons lorsqu'ils ont effectué  $n$  passage (y compris le premier) entre les deux dees ; en déduire l'expression littérale de la vitesse  $v_n$  des protons en fonction de  $n$  et  $B$ ,  $m$ ,  $q$  et  $U$ .
  - 5.1. Établir l'expression générale du rayon de la trajectoire  $R_n$  en fonction de  $n$  et de  $R_1$  (calculé dans la question 1)
  - 5.2. Déterminer le nombre  $n$  de passages qu'ont effectués les protons entre les dees ; en déduire leur énergie cinétique à leur sortie du cyclotron.

## Problème : Autour du cobalt.

La vitamine B12 contient du Cobalt dont l'isotope 57 est utilisé comme traceur dans le test de Schilling, permettant de déceler un taux bas de cette vitamine ; elle est hydro soluble et se retrouve dans l'urine.

Le cobalt 57, sous forme de chlorure de cobalt, est également utilisé pour étalonner les gamma caméras.

données :

masse atomique du cobalt 57 : 56,93629138 u

masse atomique du fer 57 : 56,93539400 u

demi vie du Cobalt 57 : 271,8 jours.

1 Ci =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq

Nombre d'Avogadro :  $6,02 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>.

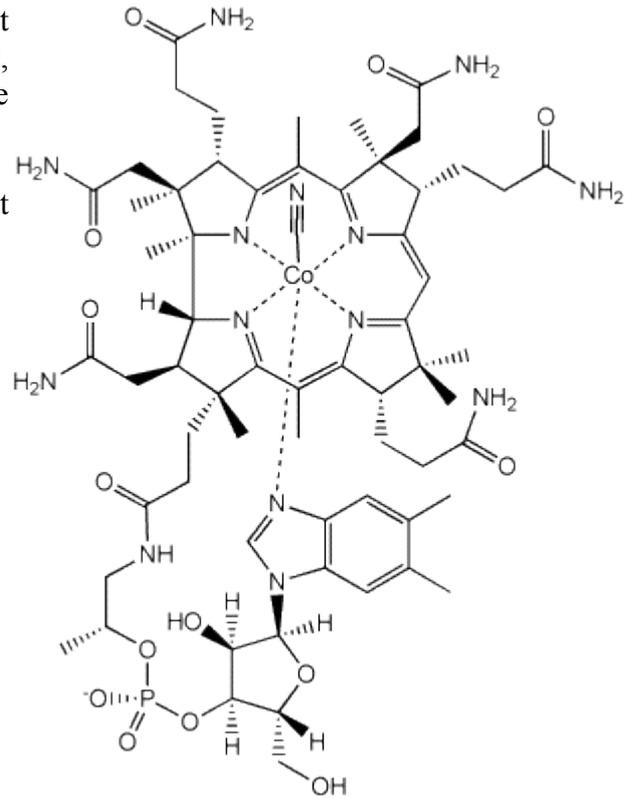
Constante de Planck :  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  J.s

Célérité de la lumière :  $c = 2,998 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>

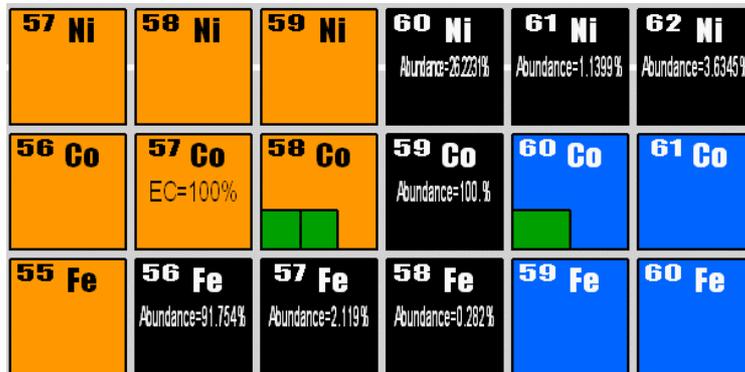
Charge élémentaire :  $e = 1,602 \times 10^{-19}$  C

Unité de masse atomique : 1 u = 931,49 MeV/c<sup>2</sup>

Masse de l'électron :  $m_e = 9,109 \times 10^{-31}$  kg  
 $= 5,48 \times 10^{-4}$  u



Extraits du diagramme {N,Z} de la classification des nucléides (d'après l'AMDC)



Extraits de la classification périodique

24 <b>Cr</b> Chrome	25 <b>Mn</b> Manganèse	26 <b>Fe</b> Fer	27 <b>Co</b> Cobalt	28 <b>Ni</b> Nickel	29 <b>Cu</b> Cuivre	30 <b>Zn</b> Zinc	31 <b>Ga</b> Gallium
---------------------------	------------------------------	------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	-------------------------	----------------------------

## 1. L'élément Cobalt (Z = 27)

1.1. Donner la structure du nuage électronique de l'élément cobalt ; Préciser sa place (ligne, colonne) dans la classification périodique (à 18 colonnes).

1.2. Donner la composition des noyaux des 5 isotopes du cobalt apparaissant sur le diagramme {N,Z} de la classification des nucléides.

1.3. Le Cobalt ne possède qu'un seul élément stable alors que le Fer et le Nickel en présentent au moins trois chacun ; proposer une explication.

1.4. Le cobalt 58 et le cobalt 60 sont instables.

Donner leur(s) mode(s) de désintégration et écrire les équations des réactions de désintégration correspondantes en précisant les lois utilisées ; donner les noms de tous les produits formés.

1.5. Le Cobalt 57 est produit en bombardant une cible de Nickel 60 avec un faisceau de protons ; écrire l'équation de cette synthèse nucléaire, notée Ni-60 (p, $\alpha$ ) Co-57, en précisant le nom des autres particules formées.

## 2. Modes de désintégration du Cobalt 57.

2.1. Le Cobalt 57 peut, a priori, se désintégrer par émission d'une particule  $\beta^+$  ou par capture électronique. Donner les deux équations correspondantes.

2.2. Calculer les énergies disponibles pour ces deux modes de désintégration et en déduire pourquoi, dans le diagramme {N,Z} de la classification des nucléides, est portée l'annotation EC = 100% dans la case du Cobalt 57.

## 3. Désintégration par capture électronique du Cobalt 57.

3.1. Décrire avec précision le processus de capture électronique ; en particulier, expliquer sous quelle forme on retrouve l'énergie disponible de la réaction.

3.2. *Le spectre d'énergie des photons émis par la source radioactive est donné ci-après.*

*On observe en particulier des photons dont les longueurs d'onde sont :*

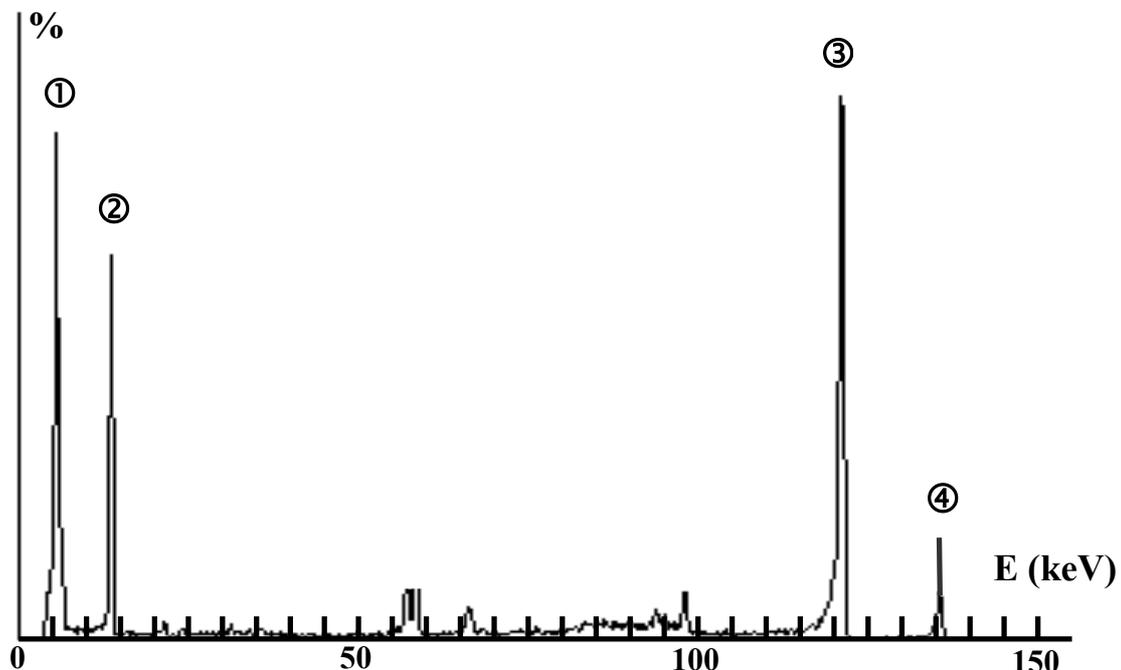
*194,5 pm*

*86,25 pm*

*10,18 pm*

*9,109 pm*

Calculer les énergies de ces photons (en J et en keV) et identifier sur le spectre d'énergie les pics correspondants.



3.3. *On donne les niveaux d'énergie internes du fer (en eV).*

*K : 7112*

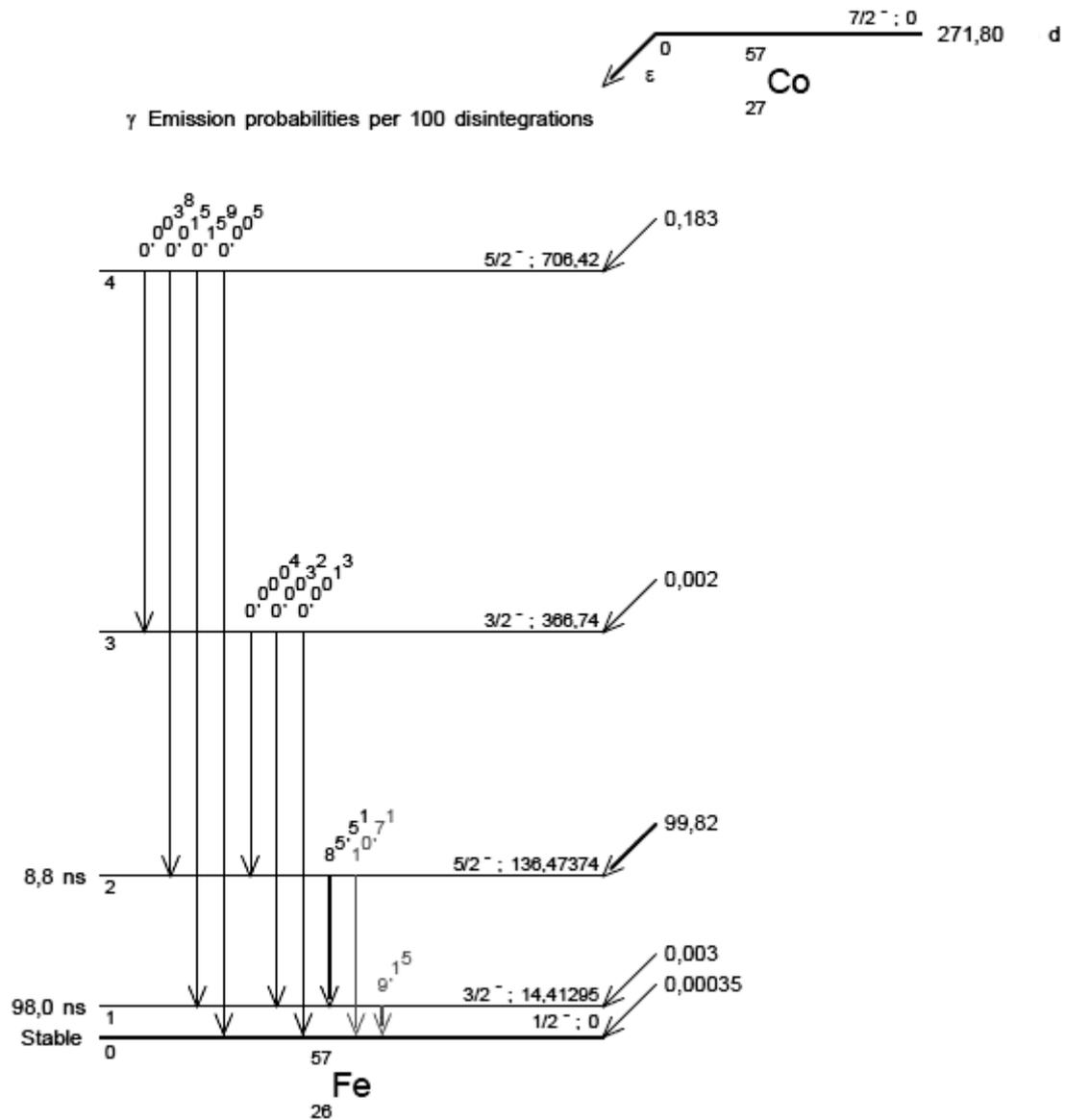
*L<sub>I</sub> : 844,6*

*L<sub>II</sub> : 719,9*

*L<sub>III</sub> : 706,8*

Calculer les énergies des raies  $K_{\alpha 2}$  et  $K_{\alpha 3}$  du fer en expliquant à quel phénomène physique elles correspondent ; à l'aide de ces résultats, interpréter l'existence d'un des pics observés sur le spectre d'énergie.

3.4. Le schéma de désintégration du Cobalt 57 (d'après le BIPM) est donné ci après.  
 En exploitant ce schéma (on peut annoter celui-ci), interpréter l'existence des trois autres pics observés sur le spectre d'énergie.



**4. Conservation des sources de cobalt 57.**

4.1. Calculer la constante radioactive du Cobalt 57.

*Une source étalon a une activité de 400 kBq.*

4.2. Calculer la durée nécessaire pour que l'activité de cet échantillon soit réduit de 10%.

Calculer l'activité de l'échantillon au bout d'un an.

4.3. Test de Schilling.

*Ce test a pour but d'étudier le fonctionnement de la vitamine B 12 dans l'organisme.*

*Pour cela, on donne au patient 2 capsules contenant de la vitamine B 12, l'une radioactive, l'autre non radioactive (ceci est possible grâce au cobalt contenu dans la molécule de vitamine B 12).*

*La mesure, dans les urines émises pendant vingt-quatre heures, du taux d'excrétion des deux sortes de vitamine B 12, permet de différencier les malades ayant des problèmes d'absorption de la vitamine B 12, par rapport à ceux qui n'en ont pas.*

Expliquer pourquoi il n'est pas nécessaire de prendre en compte la décroissance radioactive de la source pour l'exploitation de ce test.

Au cours de ce test, on injecte une dose de 1  $\mu\text{Ci}$  au patient.

Calculer le nombre de noyaux radioactifs contenus dans cette dose puis la masse de Cobalt radioactif correspondante.

**5. Stockage des sources de Cobalt.**

Les échantillons sont stockés dans des récipients en plomb.

La masse volumique du plomb vaut  $\rho = 11,34 \text{ g.cm}^{-3}$

Le graphe montre l'évolution du coefficient d'atténuation massique du plomb avec l'énergie des photons.

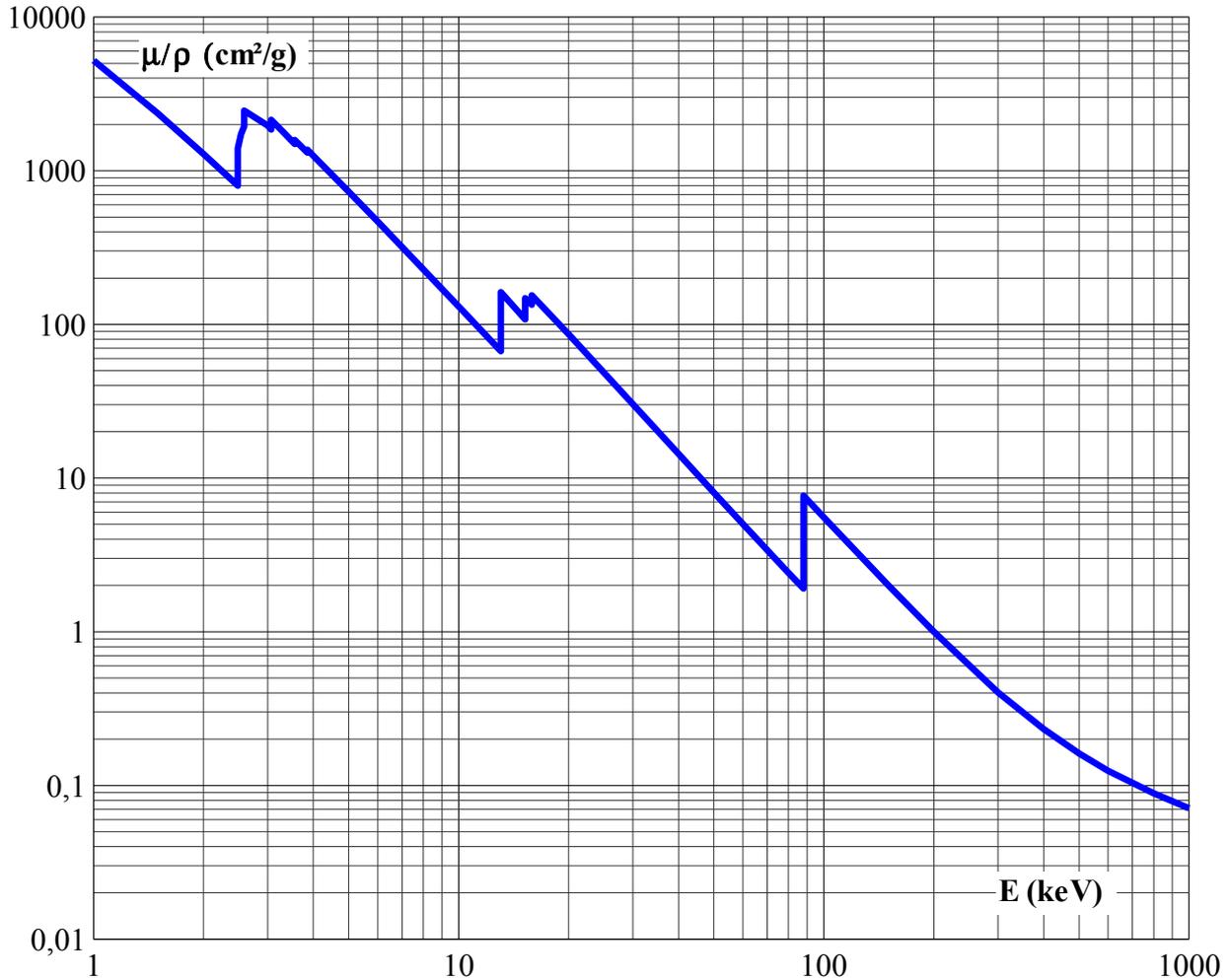
5.1. Quel type d'interaction existe-t-il entre le plomb et des photons d'énergies comprises entre 1 keV et 1 MeV ? Justifier la réponse

5.2. En exploitant le graphe, montrer que le coefficient d'atténuation linéique du plomb, pour des photons de 120 keV, vaut  $\mu = 38 \text{ cm}^{-1}$ .

5.3. Définir, établir l'expression et calculer la couche de milliatténuation du plomb pour ce type de rayonnement.

5.4. Les sources sont stockées dans des récipients de 10 mm d'épaisseur.

Cette épaisseur est elle suffisante pour protéger l'utilisateur de tous les rayonnements émis par l'échantillon ? Justifier la réponse.



	1	2	3	4	5	6	7
a							
b							
c							
d							