

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CHIMISTE

Sciences physiques

SESSION 2016

Durée : 2 heures

Coefficient : 3

Matériel autorisé :

Sont autorisées toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n° 99-186 du 16/11/99).

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 6 pages, numérotées de 1 à 6.**

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE		Session 2016
SCIENCES PHYSIQUES	Code Sujet : 16-CHPHY-P	Page 1 sur 6

AUTOUR DE L'IMAGERIE MEDICALE

Ce sujet comporte 2 exercices indépendants, le premier s'intéresse au principe de fonctionnement d'un tomodensitomètre et le second étudie un produit de contraste à base d'iode permettant d'améliorer la qualité des images.

EXERCICE 1 : ÉTUDE D'UN TOMODENSITOMETRE

La tomodensitométrie de l'abdomen, ou scanner abdominal, est une technique d'imagerie médicale permettant d'obtenir une image en coupe de l'abdomen, à l'aide de rayons X.

Données valables pour tout l'exercice :

Charge fondamentale : $e = 1,60 \times 10^{-19}$ C

Masse de l'électron : $m = 9,11 \times 10^{-31}$ kg

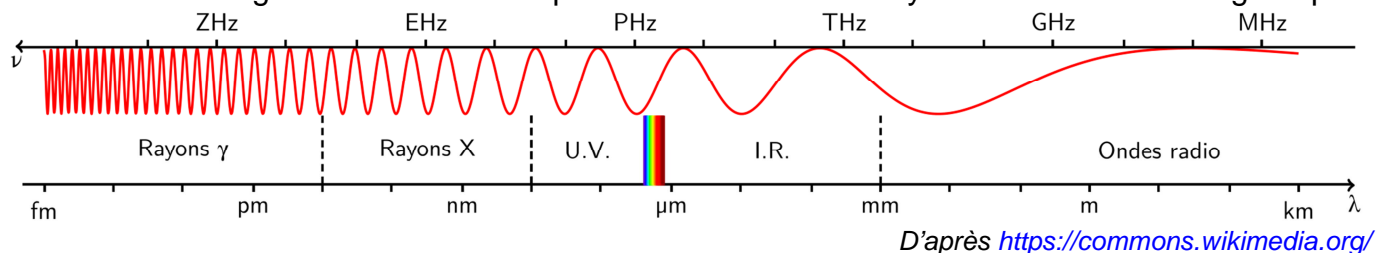
Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ mol⁻¹

Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ m².kg.s⁻¹

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8$ m.s⁻¹

Correspondance entre l'électronvolt et le joule : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J

Intervalles de longueurs d'onde correspondant aux différents rayonnements électromagnétiques



1. Production des rayons X

Les rayons X sont produits dans un tube à rayons X.

Dans une enceinte sous vide, les électrons émis par un filament chauffé sont accélérés vers une cible sous l'action d'une haute tension de valeur $U = 45,0$ kV.

Deux phénomènes expliquent cette production de rayons X :

- le freinage des électrons par les atomes de la cible qui entraîne un **rayonnement continu**, dit de freinage, dans le domaine des rayons X,
- l'excitation puis la désexcitation des atomes de la cible qui entraînent l'**émission des photons X** de fluorescence.

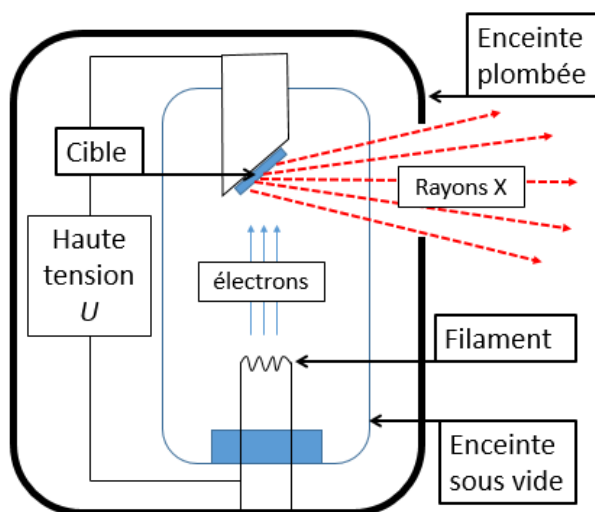


Figure 1. Schéma simplifié d'un tube à rayons X

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE		Session 2016
SCIENCES PHYSIQUES	Code Sujet : 16-CHPHY-P	Page 2 sur 6

- 1.1 Expliquer la raison pour laquelle l'émission des électrons se fait nécessairement sous vide.
- 1.2 En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, montrer que l'énergie gagnée par un électron en arrivant sur la cible est $\Delta E = eU$.
- 1.3 Déterminer l'expression de la vitesse des électrons au niveau de la cible, en fonction de e , U et m , la masse de l'électron. On supposera nulle la vitesse des électrons émis par le filament.
- 1.4 Dans le cas particulier du freinage des électrons par les atomes de la cible où l'énergie de chaque l'électron est totalement convertie en rayonnement X :
- 1.4.1. déterminer l'énergie E_X des photons du rayonnement X émis ;
- 1.4.2. établir l'expression suivante reliant la longueur d'onde λ_X du rayonnement X émis à la tension accélératrice U du tube à rayon X :
- $$\lambda_X = \frac{hc}{eU}$$
- 1.4.3. ce rayonnement émis est-il bien dans le domaine des rayons X ?
- 1.4.4. les longueurs d'onde des photons du rayonnement continu émis lors du freinage, dans le cas général, sont-elles supérieures ou inférieures à cette valeur ? Justifier.
- 1.5 **Risques liés aux examens médicaux**
- 1.5.1. Expliquer l'origine des risques liés à certains diagnostics médicaux, comme la tomographie.
- 1.5.2. Préciser les moyens de protection pouvant être mis en œuvre pour se protéger des rayonnements, notamment par le radiologue.

2. Absorption des rayons X et obtention d'une image

Les rayons X sont plus ou moins absorbés selon leur énergie et la densité des tissus de l'organisme. Les rayons X transmis sont ensuite reçus par un capteur relié à un ordinateur. L'image obtenue lors d'un scanner abdominal est présentée ci-dessous. Les photons X sélectionnés pour produire cette image ont une longueur d'onde λ_0 telle que : $\lambda_0 = 1,5 \times \lambda_X$.

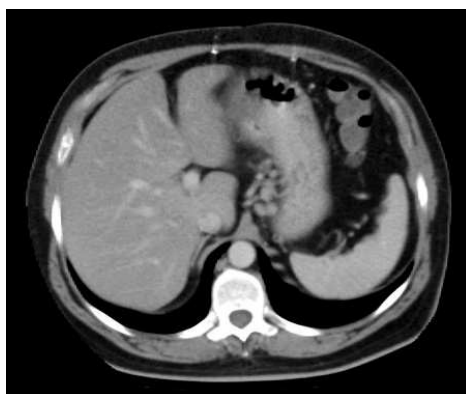


Figure 2. Vue en coupe de l'abdomen. Image libre de droit : <http://www.radpod.org/>.
Il s'agit d'une image en négatif : les parties les plus claires correspondent à celles du capteur qui ont reçu le moins de photons.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE		Session 2016
SCIENCES PHYSIQUES	Code Sujet : 16-CHPHY-P	Page 3 sur 6

Les rayons X sont absorbés par la matière en fonction de la nature de la matière et de l'épaisseur de matière traversée. La loi d'évolution du flux φ de rayons X en fonction de l'épaisseur x de matière traversée est :

$$\varphi = \varphi_0 \times \exp(-\mu x)$$

avec φ flux de rayons X transmis
 φ_0 flux de rayons X incident
 μ coefficient d'atténuation linéique de la matière (en cm^{-1})
 x l'épaisseur de matière traversée (en cm)

On donne les coefficients d'atténuation linéique de l'os μ_{os} et du muscle μ_{muscle} pour des faisceaux de photons X d'énergie 30 keV:

μ_{os} (en cm^{-1})	1,6
μ_{muscle} (en cm^{-1})	0,38

- 2.1 Peut-on utiliser ces valeurs de coefficients d'atténuation avec les photons X, de longueur d'onde λ_0 , sélectionnés pour produire l'image lors du scanner abdominal ?
- 2.2 Calculer le rapport de transmission $\frac{\varphi}{\varphi_0}$ du faisceau de rayons X après avoir traversé 1 cm de muscle.
- 2.3 Calculer le rapport de transmission $\frac{\varphi}{\varphi_0}$ du faisceau de rayons X après avoir traversé 1 cm d'os.
- 2.4 En déduire, sur l'image vue en coupe de l'abdomen, à quelle partie du corps humain correspond la zone la plus claire. Justifier.

EXERCICE 2 : ETUDE D'UN PRODUIT DE CONTRASTE IODE (PCI)

Afin d'améliorer la qualité des images lors d'une radiographie ou d'un scanner, on injecte au patient un produit de contraste à base d'iode (PCI). Ce produit absorbe fortement les rayons X grâce à l'iode qui possède un numéro atomique élevé. Injecté par voie veineuse ou artérielle, ce produit permet de « blanchir » un réseau vasculaire ou certains organes.

Le produit injecté doit répondre à un cahier des charges bien précis. Il doit, entre autres, présenter une viscosité proche de celle du sang afin de pouvoir se propager facilement dans l'ensemble du corps humain.

Données valables pour tout l'exercice :

Viscosité dynamique du sang humain à 37°C : $\eta = 4 \pm 2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Masse volumique du sang à 37 °C : $\rho_{\text{sang}} = 1,06 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Symboles et numéros atomiques de quelques noyaux :

Indium : ${}_{49}\text{In}$; Etain : ${}_{50}\text{Sn}$; Antimoine : ${}_{51}\text{Sb}$; Tellure : ${}_{52}\text{Te}$

Temps de demi-vie de l'iode 123 : $T_{1/2} = 13,2 \text{ heures}$

1. Détermination de la viscosité du produit de contraste à base d'iode (PCI)

Afin de déterminer la viscosité du PCI on utilise un viscosimètre à capillaire, appelé viscosimètre d'Ostwald.

1.1 La viscosité dynamique η

Donner la relation entre la viscosité dynamique η , la contrainte de cisaillement τ et la vitesse de cisaillement D .

1.2 Evolution de la viscosité du PCI avec la température.

On étudie l'évolution de la viscosité du PCI avec la température. Pour cela, on plonge le viscosimètre dans une cuve thermostatée afin de déterminer la viscosité du liquide à différentes températures.

La variation de la viscosité η avec la température T suit une loi du type :

$$\eta = A \times \exp\left(\frac{B}{T}\right), \text{ avec } T \text{ en K} \quad (1)$$

Les valeurs expérimentales de viscosité mesurées pour le PCI sont les suivantes :

θ (°C)	η (Pa.s)
10,0	$5,21 \times 10^{-3}$
15,0	$4,64 \times 10^{-3}$
20,0	$4,16 \times 10^{-3}$
25,0	$3,74 \times 10^{-3}$
30,0	$3,38 \times 10^{-3}$
35,0	$3,06 \times 10^{-3}$
40,0	$2,77 \times 10^{-3}$

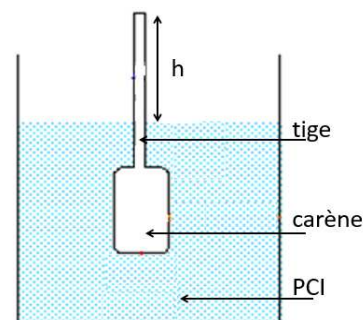
- 1.2.1. Déterminer les variables X et Y permettant de linéariser la loi (1).
- 1.2.2. Vérifier, à l'aide d'une régression linéaire, que les valeurs expérimentales données vérifient bien la loi (1).
- 1.2.3. Déterminer la valeur des coefficients A et B. Préciser leur unité.
- 1.2.4. Ce produit de contraste répond-il au cahier des charges ?

2. Masse volumique du PCI

On souhaite mesurer la masse volumique ρ_{PCI} du produit de contraste. Pour cela, on utilise un densimètre qui est un instrument ayant la forme d'un réservoir (carène) lesté dans le fond et surmonté d'une tige scellée munie d'une échelle graduée.

La tige de forme cylindrique a une section $S = 2,00 \text{ cm}^2$ et une longueur $l = 7,00 \text{ cm}$. La carène a un volume $V_C = 30,0 \text{ cm}^3$. Le densimètre a une masse totale de $m_d = 25,0 \text{ g}$.

On plonge le densimètre dans le PCI et on observe qu'une hauteur $h = 4,80 \text{ cm}$ de la tige émerge.



- 2.1 Exprimer le volume V_{PCI} de PCI déplacé par l'introduction du densimètre en fonction de V_C , h , l et S .
- 2.2 Effectuer le bilan des actions mécaniques s'exerçant sur le densimètre lorsqu'il est à l'équilibre dans le PCI. On négligera l'action de l'air sur le densimètre.
- 2.3 Modéliser ces actions mécaniques par des forces et les représenter sur un schéma.
- 2.4 Écrire la condition d'équilibre du densimètre et en déduire que l'expression de la masse volumique ρ_{PCI} du PCI est donnée par l'expression suivante :

$$\rho_{PCI} = \frac{m_d}{V_C + (l - h) \times S}$$

- 2.5 Comparer la valeur de la masse volumique du PCI à celle du sang.

3. Autre utilisation de l'iode en imagerie médicale

L'iode est aussi utilisé comme traceur lors de certains examens médicaux. L'iode ^{123}I , radioactif, émet un rayonnement qui permet de suivre, à la trace, le parcours du traceur dans le corps du patient.

- 3.1 La capture d'un électron par un atome d'iode ^{123}I entraîne après désintégration la formation d'un atome Y et d'un atome d'hélium. On observe par ailleurs l'émission d'un photon gamma d'énergie 159 keV et de photons X d'énergie $3,52 \text{ keV}$, $27,47 \text{ keV}$ et $30,99 \text{ keV}$.
 - 3.1.1. Écrire l'équation de la réaction correspondant à la capture d'un électron et nommer l'atome Y formé. Préciser les lois utilisées.
 - 3.1.2. Les niveaux d'énergie K, L et M de l'atome Y formé sont : $E_K = -31,81 \text{ keV}$; $E_L = -4,34 \text{ keV}$; $E_M = -0,82 \text{ keV}$. Justifier ces valeurs.
- 3.2 Avant un examen médical, on injecte par voie intraveineuse une dose d'iode ^{123}I radioactif d'activité $A_0 = 7,0 \text{ MBq}$ à un patient. L'activité A au début de l'examen n'est plus que de $6,2 \text{ MBq}$.
 - 3.2.1. Calculer le nombre d'atomes radioactifs d'iode ^{123}I injectés au patient.
 - 3.2.2. Calculer la durée entre l'injection et le début de l'examen.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE		Session 2016
SCIENCES PHYSIQUES	Code Sujet : 16-CHPHY-P	Page 6 sur 6