



**Tutorat physique : Séance n°2 ; acoustique, atomistique, laser et ondes EM (fait par C. Voyant)**

**Calculettes inutiles. Pour chaque question, indiquer quelles sont toutes les propositions exactes et uniquement les propositions exactes.**

Données numériques :

Cte de Planck  $\sim 6.10^{-34}$  UI (unité internationale)

Charge élémentaire  $\sim 1.5.10^{-19}$  C

$\log(2) \sim 0.3$

**QCM 1**

Soit un faisceau homogène de photons d'énergie 3eV.

a) sa longueur d'onde correspondante est  $\sim 400$  nm ( $\pm 5\%$ )

Vrai, il suffit d'utiliser la formule  $E=hc/\lambda$  par exemple. Il est impératif de connaître cette formule ainsi que celles faisant intervenir la fréquence, la période et la pulsation. Il est aussi impératif de connaître les gammes d'énergie liées aux photons visibles ( $\sim 1-3$ eV ;  $\sim 800-400$ nm ; du rouge vers le bleu)

b) l'énergie de chaque photon est de  $\sim 4.5.10^{-19}$  J ( $\pm 5\%$ )

Vrai, car pour passer d'une énergie en eV à une énergie en Joule, il suffit de multiplier par la charge de l'électron  $E[J]=E[eV].1.5.10^{-19}$ . Pour savoir de quel côté il faut multiplier par q, il suffit de se rappeler que l'eV est une unité très faible, c'est l'énergie emmagasinée par un électron lorsque ce dernier est soumis à une différence de potentiel de 1V. Le Joule lui est une énergie plus macroscopique, il correspond par exemple à l'énergie libérée lors de 1 seconde de rayonnement par une ampoule de 1W (de nombreux photons visibles sont émis). Plus théoriquement on peut utiliser la formule liant l'énergie potentielle électrostatique d'une charge électrique q baignant dans un potentiel électrique V,  $E=q.\Delta V$  (en SI, q est la charge en Coulomb, le potentiel électrique en Volt et l'énergie est en Joule). Si l'on considère le cas d'un électron soumis à une ddp de 1V, alors  $\Delta V=1V$ ,  $q=1,5.10^{-19}$  C et l'énergie vaut donc  $1,5.10^{-19}$  J, ou 1eV d'après la définition de cette quantité. Pour s'entraîner, déterminer la dimension du volt dans le système SI.

c) ce type de rayonnement pourrait être utilisé pour les traitements de radiothérapie

Faux, car trop peu énergétique, il faut à minima des photons de 1MeV (CDA dans l'eau de 10cm) pour pouvoir atteindre des cellules tumorales de type adénocarcinome

prostatique, mammaire... le rayonnement de 3eV se situe à la frontière des UV et du visible (arrêt dans l'épiderme et le derme).

d) ce type de rayonnement pourrait être utilisé pour les acquisitions radiologiques

Faux, car trop peu énergétique, ce n'est même pas un rayonnement ionisant ( $E < 13.6\text{eV}$ ), les énergies en radiodiagnostic sont de l'ordre de 20-140KV

e) ce type de rayonnement pourrait être utilisé en ophtalmologie

Vrai, cas du laser à excimère utilisable en chirurgie oculaire et qui émet dans le proche UV. Il faut connaître l'ordre de grandeur des photons visibles (1-3 eV) savoir que 1eV correspond au rouge et 3eV correspond au bleu.

## QCM 2

Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont données par  $E_n(\text{eV}) = \frac{-14}{n^2}$

a) dans son état fondamental, l'électron de l'atome d'hydrogène a une énergie nulle

Faux dans son état fondamental il a une énergie  $E_1 = -14\text{eV}$ . Une énergie nulle correspond à la limite entre l'état électronique lié et libre. Les énergies négatives sont quantifiées, elles correspondent aux énergies des photons une fois liés à un noyau. Chaque énergie correspond à une couche du cortège électronique (K, L, M...). Une énergie positive correspond à un électron qui n'est plus lié aux nucléons du noyau, cette énergie est en fait l'énergie cinétique de ce dernier ( $1/2.m.v^2$  dans le cas non relativiste). L'atome d'hydrogène est le simple il n'est composé que d'un proton et d'un électron.

b) au niveau  $n=2$ , l'énergie vaut 1eV

Faux, cela correspond à -3.5eV

c) un photon d'énergie 15eV ne peut pas provoquer l'ionisation de l'atome d'hydrogène

Faux, il le pourra car son énergie est supérieure à l'énergie d'ionisation

d) en passant du niveau 2 au niveau 1, l'atome émet un photon d'énergie 10eV ( $\pm 1\text{eV}$ ) donnant un aspect rouge à l'émission

Faux, on aura bien une énergie de  $\sim 10\text{ eV}$  ( $\pm 10\%$ , e.g.  $\pm 1\text{eV}$ ), mais cela ne correspond pas à du rouge, on est beaucoup plus énergétique (UV).

e) en passant du niveau 3 au niveau 2, l'atome émet un photon d'énergie 2eV ( $\pm 1\text{eV}$ ) visible par l'œil humain

Vrai, c'est un photon visible

## QCM 3

Soient des différents niveaux d'énergie de l'atome de sodium ( $Z=11$ ) :

$$E_1 = -1072\text{eV}, E_2 = -63\text{eV}, E_3 = -0.7\text{eV},$$

Quelles sont les énergies des photons de fluorescence pouvant être émis après ionisation de la couche K du sodium (en eV) ?

- 1- 63
- 2- 1009
- 3- 510
- 4- 62.3
- 5- ~1071

- a) 1,2,3      b) 1,2,4      c) 3,4,5      d) 2,3,5      e) 2,4,5

$Z$  est le nombre de protons du noyau. Comme il n'est pas question dans l'énoncé d'ion mais d'atome « simple », on le considère globalement neutre (donc 11 électrons dans le cortège) et dans son état fondamental. De plus, chaque couche correspond à une valeur différente du nombre quantique principale  $n$ , et le nombre d'électrons pouvant se trouver sur chacune varie en  $2.n^2$ . Ainsi pour la couche K, on aura 2 électrons, L 8 électrons, M 18 électrons....

Pour répondre à cet exercice il faut considérer deux cas de figure, une transition de la couche 2 à la couche 1 suivant d'une autre de la couche 3 à la couche 2, ou bien une transition de la couche 3 à la couche 1 directement.

Notons que parallèlement à ce type de rayonnement il existe une désexcitation par émission d'électrons Auger. Pour comprendre ce phénomène il faut considérer que le photon de fluorescence va ioniser un électron d'une couche superficielle. L'énergie du photon doit être supérieure à l'énergie de liaison de l'électron (le surplus d'énergie devient l'énergie cinétique de l'électron). Vu la vitesse des photons et les distances les séparant des électrons, ce phénomène est quasi instantané.

### QCM 4-a

Soient des différents niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène :

$$E_1 = -13.6\text{eV}, E_2 = -3.4\text{eV}, E_3 = -1.5\text{eV}, E_4 = -0.85\text{eV}$$

Parmi les photons suivants quels sont ceux capables d'exciter cet atome, sachant que l'électron peut se situer sur K, L, ou M (en eV) ?

- 1- 13.6
- 2- 10.2
- 3- 2
- 4- 1.9
- 5- 0.85

- a) 1,2,3,4,5      b) 1,2,3,4      c) 2,3,4      d) 2,4      e) 2,3,5

Pour l'excitation il faut que l'énergie du photon incident soit exactement égale à la différence d'énergie des couches initiales et finales. Il faut faire un schéma des couches électronique et représenter les 6 transitions possibles (1->2,3,4 puis 2->3,4 et 3->4). L'absorption du photon incident doit être totale, les chocs de type Compton qui permettrait à des photons d'énergie quelconque d'exciter les électrons du cortège ne sont pas possibles à ces énergies.

### QCM 4-b

Toujours selon le même modèle, parmi les photons suivants quels sont ceux capables d'ioniser cet atome sachant que l'électron peut se situer sur K, L, M ou N (en eV) ?

- 1- 17
- 2- 13.5
- 3- 3.4
- 4- 1.9
- 5- 0.85

- a) 1,2,3,4,5    b) 1,2,3,4    c) 2,3,4    d) 2,4    e) 2,3,5

L'ionisation est le phénomène qui permet à un élément de passer d'un état stable X à un état ionisé  $X^+ + e^-$ . Il suffit que le photon incident ait une énergie supérieure à celle de liaison de l'électron pour que le phénomène ait lieu (couche de valence ou profonde). Avec un photon de 0.85 eV l'énergie cinétique de l'électron émis serait nulle, il ne se déplacerait donc pas. On peut considérer que dans ce cas précis il serait réintégré au cortège instantanément. S'agissant d'un cas limite la réponse a aurait pu être tolérée.

### QCM 5

Soit une onde EM de pulsation  $\omega$  et d'amplitude  $E_0$  représentée par l'équation de propagation suivante  $\vec{E} = E_0 \cdot (\vec{u}_x \cdot \cos(-\vec{k} \cdot \vec{r} + \omega t) + \vec{u}_y \cdot \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} - \varphi))$ . Le vecteur position est quant à lui défini par  $\vec{r} = r \cdot \vec{u}_r = x \cdot \vec{u}_x + y \cdot \vec{u}_y + z \cdot \vec{u}_z$ .

a) quand  $\varphi=0$ , la polarisation est linéaire, et quand  $\varphi=\pi/2$ , la polarisation est circulaire

Vrai, il faut bien faire attention à la différence qu'il existe entre direction de propagation (sens et direction de  $\vec{k}$ ) et polarisation (sens et direction de  $\vec{E}$ ).

Une des méthodes consiste à faire le calcul pour  $\vec{r} = \vec{0}$ , on a pour :

$-\varphi=0$ ,  $E_x = E_0 \cdot \cos(\omega t)$  et  $E_y = E_0 \cdot \cos(\omega t)$ . Ceci est l'équation paramétrique d'un segment de droite reliant le point de coordonnées  $(E_0, E_0, 0)$  et le point de coordonnées  $(-E_0, -E_0, 0)$ . L'extrémité du vecteur champ électrique décrit donc un segment.

$-\varphi=\pi/2$ ,  $E_x = E_0 \cdot \cos(\omega t)$  et  $E_y = E_0 \cdot \sin(\omega t)$ . Ceci est l'équation paramétrique d'un cercle de centre  $(0,0,0)$  et de rayon  $E_0$ . L'extrémité du vecteur champ électrique décrit donc un cercle.

b) quand  $\varphi \neq 0$  et  $\varphi \neq \pi/2$  la polarisation est elliptique

Faux, car pour  $\varphi=2\pi$  ou  $\varphi=-\pi/2$ , la polarisation n'est pas elliptique, faire le calcul.

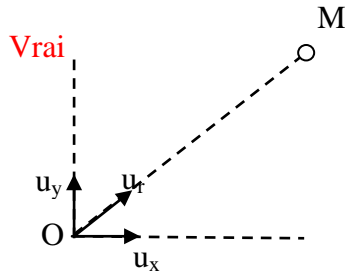
c) si  $k_x$  et  $k_y$  (les projections du vecteur d'onde suivant les axes  $\vec{u}_x$  et  $\vec{u}_y$ ) sont nuls, alors la direction de l'onde est colinéaire à celle de la polarisation

Faux, car  $\vec{k} = k \cdot \vec{u}_z = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \vec{u}_z$  donc l'onde se propage suivant  $\vec{u}_z$ , mais la polarisation n'est pas forcément linéaire, et encore moins suivant cet axe, même avec  $\varphi=0$ .

d) on a  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

Faux, on a  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ . Se rappeler que  $r = \sqrt{\vec{r} \cdot \vec{r}}$ , il est important de savoir calculer analytiquement un produit scalaire.

e) si  $z = 0$  et que l'on note  $\theta$ , l'angle entre  $\vec{u}_x$  et  $\vec{u}_r$ , alors, on peut dire que  $x = r \cdot \cos(\theta)$ ,  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  et  $\frac{y}{x} = \tan(\theta)$



$\vec{OM} = r \cdot \vec{u}_r = x \cdot \vec{u}_x + y \cdot \vec{u}_y$ , donc on a  $x / r = \cos(\theta)$  et  $y / r = \sin(\theta)$ , donc  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ , de plus, comme  $\tan(\theta) = \sin(\theta) / \cos(\theta)$ , on a  $\frac{y}{x} = \tan(\theta)$

## QCM 6

Quelles sont les affirmations exactes

1) l'impédance acoustique s'exprime en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Vrai, c'est une définition du cours, il faut connaître au moins une formule du type  $Z = \rho c$ , et appliquer l'équation aux dimensions ( $[Z] = [L][T]^{-1}[M][L]^{-3} = [M][L]^{-2}[T]^{-1}$ ). Essayer d'appliquer le même type d'approche avec la puissance et l'intensité acoustique. On n'oubliera pas qu'une pression est une énergie volumique (énergie divisée par un volume), et que le watt est énergie divisée par un temps. Pour aller plus loin, il est possible d'étendre la dualité onde-corpuscule à la propagation acoustique (voir les phonons)

2) un phénomène est périodique s'il se reproduit, identique à lui-même, au bout d'un certain temps, appelé période

Vrai, c'est la définition de la périodicité. Il faut connaître les différentes formules liant période, fréquence, longueur d'ondes et vitesse, elles sont vraies quel que soit le phénomène périodique observé (voir QCM 9.c)

3) le Bel et le décibel servent à comparer des intensités acoustiques

Vrai, le bel est une unité de mesure logarithmique du rapport entre deux puissances, qui est souvent utilisé pour exprimer la puissance d'un son (grandeur sans dimension et en dehors du SI). Le décibel correspondant à un dixième de Bel.

4) la fréquence et la période d'une onde acoustique s'expriment en seconde dans le SI

Faux, la période et la fréquence ne peuvent avoir la même unité (fréquence = 1/période)

5) le nombre d'onde est une grandeur sans dimension

Faux, c'est le nombre de longueurs d'onde présentes sur une distance de  $2\pi$  ( $k=2\pi/\lambda$ ). Son unité est le radian par mètre ( $m^{-1}$ ), c'est l'équivalent spatial de la notion de pulsation utilisée pour une grandeur oscillant temporellement

- a) 1,2,3,4,5    b) 1,2,3,4    c) 2,3,4    d) 1,2,3    e) 2,3,5

### QCM 7

Un sujet est placé à 1 mètre d'un haut-parleur (fréquence  $\sim 1\text{kHz}$ ), à cet endroit le niveau sonore est de 50dB

- a) si cette personne était placée à 10 mètres, du haut-parleur, elle n'entendrait plus le son

Faux, pour réussir cet exercice, il faut utiliser le fait que l'intensité acoustique varie avec l'inverse carrée des distances. Soit à 1m on a un niveau sonore  $L^{1m} = 10 \log \left( \frac{I^{1m}}{I^{ref}} \right) = 50$ , il suffit de résoudre cette équation pour  $I^{ref} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  (seuil d'audition humaine), on obtient  $I^{1m} = 10^{-7} \text{ W/m}^2$ . On n'oublie pas que l'intensité est donnée dans le SI et que le logarithme utilisée est de base 10. Pour déterminer l'intensité acoustique à 10m, on pose  $I^{10m} = I^{1m} \cdot \left( \frac{1}{10} \right)^2 = 10^{-9} \text{ W/m}^2$ . La limite de l'audition n'est pas atteinte, le sujet entendra donc encore le son émis par le haut-parleur. Pour aller plus loin, on peut calculer le niveau sonore à 10m  $L^{10m} = 10 \log \left( \frac{10^{-9}}{10^{-12}} \right) = 30\text{dB}$ .

- b) pour atteindre un niveau sonore de 40dB il faut se positionner exactement à 4 mètres du haut-parleur

Faux, il y a deux façons de faire, soit on calcule le niveau sonore à 4m, soit on établit la formule qui lie le niveau sonore à la distance. Nous allons utiliser la seconde façon de faire, car elle plus intéressante d'in point de vue applicatif, mais je vous conseille d'appliquer aussi la première méthode. Le niveau sonore et l'intensité sonore à  $d$  mètres s'écrivent

$$L^{dm} = 10 \log \left( \frac{I^{dm}}{I^{ref}} \right) \quad \text{et} \quad I^{dm} = I^{1m} \cdot \left( \frac{1}{d} \right)^2 \quad \text{soit} \quad L^{dm} = 10 \log \left( \frac{I^{1m}}{I^{ref} \cdot d^2} \right)$$

Pour connaître la distance à partir de laquelle le niveau sonore sera de 40dB, on résout

$$L^{dm} = 10 \log \left( \frac{I^{1m}}{I^{ref} \cdot d^2} \right) = 40 \quad \text{avec} \quad I^{1m} = 10^{-7} \text{ W/m}^2 \quad \text{et} \quad I^{ref} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Soit  $\log \left( \frac{10^5}{d^2} \right) = 4$  qui correspond à  $d = \sqrt{10} \sim 3.1\text{m}$ .

- c) à 1 mètre, le niveau sonore de 5 sources identiques serait inférieur à 60dB

Vrai, il faut calculer le niveau sonore pour une intensité à 1m correspondant à  $5 \cdot I^{1m}$ , cela revient à  $L_{5s}^{1m} = 10 \log \left( \frac{5 \cdot I^{1m}}{10^{-12}} \right) = 10 \log(5 \cdot 10^5) = 10(6 - \log(2)) < 60\text{dB}$

- d) à 2 mètres, le niveau sonore de 5 sources identiques serait inférieur à 60dB

Vrai, si le c) est vrai, alors le d) l'est aussi. Sinon on peut utiliser la formule issues des précédentes questions  $L_{55}^{2m} = 10 \log \left( \frac{5.1^{1m}}{I_{ref}.2^2} \right) = 10 \log \left( \frac{10^6}{2^3} \right) = 10(6 - 3\log(2)) < 60dB$

e) si cette onde est émise en direction d'une interface spéciale située à 10 mètres, le coefficient de réflexion au niveau de l'interface de l'onde sera supérieur au coefficient de transmission.

-Impédance acoustique du milieu post-membranaire =  $4.10^4 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

-Impédance acoustique de l'air =  $400 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

Vrai, il faut calculer R et T dans ce cas particulier (interface air/membrane)

$R = \left( \frac{Z_m - Z_a}{Z_m + Z_a} \right)^2$  et  $T = 1 - R$ , soit  $R \sim 96\%$  et  $T \sim 4\%$ . Essayer de déterminer une formule pour T en utilisant les deux relations précédentes. Que se passerait-il s'il y avait du vide (supposé parfait) après la membrane ( $c=0$  et  $\rho=0$ ) ?

## Exercices complémentaires

### QCM 8

Soit un atome de lithium 6 ( $Z=3$ ). On fait l'approximation que ce noyau est un composé hydrogénoïde (dans le modèle de Bohr) avec une constante d'écran nulle ( $b=0$ ), l'énergie de liaison des électrons s'écrit donc :

$$E_n (eV) = -14. \frac{(Z-b)^2}{n^2}$$

a) cet atome possède 1 électron sur la couche L

Vrai, (sans être ionisé, ni excité), cet atome peut être matérialisé par  $K^2L^1$

b) pour que l'excitation soit possible, il faut fournir à l'atome une énergie supérieure à 126eV

Faux, pour qu'il y ait ionisation il faut une énergie supérieure à 126eV, mais pas pour l'excitation

c) après une ionisation de la couche K, on aura uniquement un photon X de fluorescence d'énergie  $\sim 100\text{eV}$  et pas d'électron Auger

Vrai, car après une ionisation de la couche K, l'électron de la couche L va redescendre sur la couche K en émettant un photon de  $\sim 100\text{eV}$  (fluorescence). Si ce dernier a une énergie supérieure à l'énergie de liaison d'un des électrons du cortège, on pourra avoir une émission Auger. Dans notre cas, ce ne sera pas possible car  $100\text{eV} < E_1 = 126\text{eV}$ . En règle générale si le Z Effectif du milieu est faible il y aura plus d'émission d'électron Auger que de photons de fluorescence. Ce phénomène s'inverse quand Z augmente.

d) après une ionisation de la couche K, on aura plusieurs photons X de fluorescence émis

Faux, on aura uniquement un seul photon d'énergie  $E_2 - E_1$ , car tous les électrons seront dans un état stable  $K^2L^0$

e) toutes les affirmations précédentes sont fausses

Faux, voir a) et c)

## QCM 9

Soit une onde EM (amplitude  $E_0$  et pulsation  $\omega$ ) dont le champ électrique est représenté par  $\vec{E}(y, t) = E_0 \cdot \vec{u}_x \cdot \cos(-k \cdot y + \omega t)$ . On admettra que l'intensité lumineuse (puissance moyenne surfacique) représente la valeur moyenne temporelle du carré de l'amplitude de l'onde.

a) cette onde est monochromatique

Vrai, car l'équation du champ électrique ne montre que la propagation d'une onde avec une seule pulsation ( $\omega$ ), donc une seule longueur d'onde ( $\lambda$ )

b) cette onde est stationnaire

Faux, l'équation du champ électrique proposée montre typiquement la propagation d'une onde progressive (cas le plus simple). Pour aller plus loin, il conviendrait de calculer la vitesse de phase de l'onde, si celle-ci est nulle l'onde est stationnaire, sinon elle est progressive. La démonstration qui suit n'est là que pour expliquer le phénomène, il n'est pas nécessaire de la connaître.

De plus, une onde stationnaire est typiquement la sommation de deux ondes se propageant dans des directions opposées (ce n'est pas le cas ici).

vitesse\_phase = pulsation ( $\omega$ ) / nombre d'onde ( $k$ )

= longueur d'onde ( $\lambda$ ) / période (T) (la longueur d'onde et la période, rendent tout deux compte du même phénomène périodique, le premier pour l'aspect spatial, alors que le second est l'aspect temporel)

= c (vitesse de la lumière)

Donc l'onde est progressive et se propage à la vitesse de la lumière

c) on peut écrire que  $\vec{E} = E_0 \cdot \vec{u}_x \cdot \cos(k(y - \frac{c}{n}t))$ , avec  $c$  est la célérité et  $n$  l'indice de réfraction

Vrai, il suffit de transformer l'équation du champ électrique, jusqu'à obtenir la bonne relation.

On utilise : fréquence ( $\nu$ ) = 1/période (T),  $\nu$  (vitesse de l'onde dans le milieu) =  $c/n$ ,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda/T = \nu$  et  $\omega = 2\pi \cdot \nu$

d) l'intensité lumineuse correspondant à cette onde vaut  $I = E_0^2/2 \text{ W.m}^2$

Vrai, l'intensité lumineuse vaut  $\langle E^2 \rangle$ , soit la moyenne du carré du champ électrique  $E$ . La moyenne sur un intervalle de temps « assez grand » du  $\sin^2$  ou  $\cos^2$  est 1/2 (par comparaison, la moyenne du sin du cos est 0 sur ce même intervalle), on obtient donc  $I = E_0^2(1/2)$

e) l'intensité lumineuse de cette onde en sortie d'une zone opaque, dont la transmittance est de 25%, vaut  $I_s = E_0^2/8$ .

Vrai, la transmittance de 25% signifie que :

$I_s$  (intensité en sortie de la zone opaque) /  $I$  (intensité initiale) =  $0.25 = 1/4$ ,

On remplace le  $I$  par le résultat de d), et on obtient  $I_s = E_0^2/8$



## QCM 10

Le LASER. Question de cours

a) traduites en français, ses initiales signifient Amplification de Lumière par Emission Spontanée de Radiation

Faux car ce n'est pas spontané, mais stimulé le principe du laser

b) le LASER fonctionne uniquement en régime pulsée

Faux il en existe des continus avec inversion de population non pulsée (He-Ne par exemple)

c) les 4 grandes caractéristiques du laser sont, l'émission de type monochromatique, cohérente, avec une directivité remarquable et une puissance instantanée qui peut être très importante

Vrai, directement issu du cours

d) il faut que les atomes retombent spontanément à l'état du niveau d'énergie inférieur avant que la stimulation n'intervienne

Faux sinon ce n'est pas stimulée, mais spontanée.

e) après une émission stimulée, la pulsation est identique pour les deux photons émis, mais ils sont déphasés (émission asynchrone)

Faux ils ne sont pas déphasés (cohérence spatiale et temporelle). Par contre les énergies étant les mêmes, les pulsations le sont aussi ( $E = \hbar \cdot \omega$ )

## QCM 11

On considère un tube RX soumis à une ddp de 100KV entre l'anode et la cathode.

a) ce tube génère un faisceau d'électrons d'énergie 100 KeV

Faux, c'est un tube RX et non un générateur d'électron (même si indirectement on utilise un faisceau d'électron, en sortie du tube, il n'y a plus d'électron)

b) ce tube génère un faisceau de photons d'énergie maximale de 100KeV

Il y a une différence de potentiel de 100kV entre les électrodes, l'énergie de chaque électron arrivant l'anode est donc de 100keV ( $E = q\Delta V$  avec E l'énergie potentielle électrostatique, V le potentiel électrique et q la charge élémentaire) ou bien dans le SI de  $100 \cdot 10^3 \cdot 1.5 \cdot 10^{-19}$  Joules (Cf QCM1c). En arrivant sur l'anode les électrons vont rencontrer des noyaux et des électrons et des processus (chocs) inélastiques vont être induits. Deux processus sont ensuite concomitants,

-les chocs inélastiques électroniques (excitation et ionisation des atomes de la cible, suivie d'une émission de X de fluorescence d'énergie fixe, e.g. pic de fluorescence)

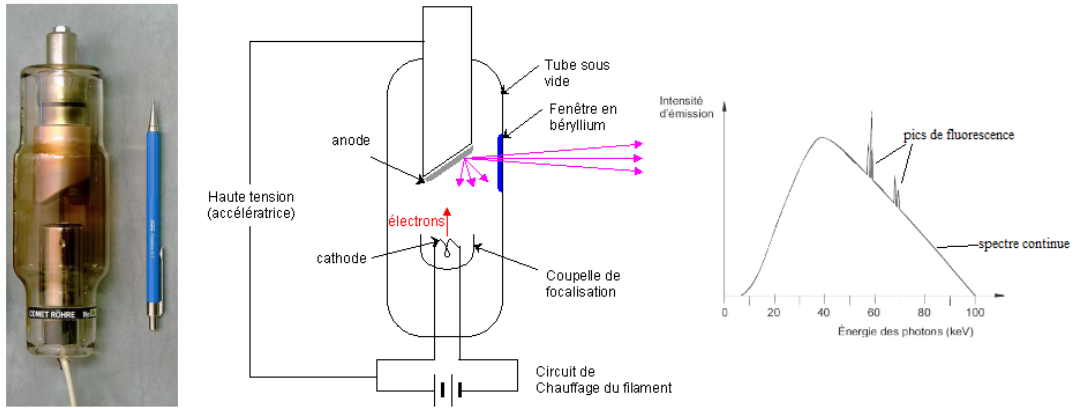
-ainsi que les chocs inélastiques nucléaires, communément appelés rayonnement de freinage.

Les photons vont avoir une énergie comprise entre 0eV (si les électrons ne cèdent pas ou très peu d'énergie lors des chocs avec les noyaux de l'anode) et 100keV (cas où la

totalité de l'énergie de l'électron est cédée à 1 photon). En pratique l'énergie minimale des photons est fixée par l'auto-absorption du tube lui-même.

On appelle ce type de rayonnement des photons de 100kV pour montrer que l'on est en présence d'un spectre et non d'une énergie unique. Pour les électrons ou dira plutôt 100keV car ils ont tous la même énergie.

Au final avec ce tube, on aura une énergie maximale de photon X égale à 100KeV



c) le spectre des photons émis possède des pics de fluorescence liés aux chocs entre les électrons accélérés et les noyaux de l'anode (rayonnement de freinage)

Faux (Cf le 4-b)

d) la filtration (couche fine de métal en sortie de tube) augmente le nombre de photons de basse énergie

Faux, la filtration diminue le nombre de photon de basse énergie.

En fait l'énergie moyenne du faisceau aura tendance à augmenter (car moins de basse énergie), on appelle ce phénomène le durcissement du faisceau.

e) le rayonnement généré peut être utilisé dans un service de radiodiagnostic

Vrai, on pourrait l'utiliser dans les appareils de radiologie conventionnels (mode statique ou scopie) ou comme tube RX dans un scanner.