



ED numéro 2 : Les ondes électromagnétiques

Données numériques :

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

Charge élémentaire $\sim 1,5.10^{-19}$ C

Masses de l'électron $m_e \sim 9.10^{-31}$ kg = 511 keV/c²

ln(2) ~ 0.7

Masses volumiques (g/cm³): Al ~ 3

Pb ~ 10

Exercice 1

Soit un atome d'hydrogène.

- Calculer l'énergie de l'électron quand l'atome est dans son état fondamental et quand il est sur la couche correspondant au nombre quantique principal $n = 2$.
- Si un photon d'énergie 15 eV arrive sur l'atome, est-ce que ce dernier peut provoquer son ionisation ?
- Quelle sera la couleur associée à la longueur d'onde du photon de fluorescence émis lorsque l'électron passe du niveau 2 au niveau 1 ?
- En passant du niveau 3 au niveau 2, le photon de fluorescence émis sera-t-il visible par l'œil humain ?

Exercice 2

Soient les différents niveaux d'énergie de l'atome de sodium dont le numéro atomique est $Z=11$:

$$E_1 = -1072 \text{ eV}$$

$$E_2 = -63 \text{ eV}$$

$$E_3 = -0,7 \text{ eV}$$

Quelles sont les énergies (en eV) et les longueurs d'ondes (en nanomètre) des photons de fluorescence pouvant être émis après ionisation de la couche K du sodium ?

Exercice 3

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

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

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

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

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

Sachant que l'électron ne peut se situer que sur les 4 premières couches.

- Quelles sont les énergies de photon (en eV) capables d'exciter cet atome ?
- Quelle est l'énergie minimale des photons (en eV) pouvant ioniser cet atome ?

Exercice 4

Soit un atome de ${}^6_3\text{Li}$. On fait l'approximation que ce noyau est un composé hydrogénoïde (dans le modèle de Bohr) avec une constante d'écran nulle.

- Combien y a-t-il d'électron sur la couche K ?
- Un photon de 127 eV peut-il faire passer l'atome dans un état excité ?
- Après une ionisation de la couche K, quelle sera l'énergie du photon X de fluorescence émis ? pourra-t-on observer un électron Auger ? si oui, quelle sera son énergie ?

Exercice 5

Soit un atome hydrogénoïde avec une constante d'écran nulle. Suite à une ionisation de la couche L, l'ensemble des rayonnements monochromatiques émis dans le visible et le proche UV constituent la série de Balmer. Ils correspondent aux transitions entre les niveaux d'énergie E_n et le niveau E_2 (n est le nombre quantique principal) et possèdent une longueur d'onde λ_{n2} .

- Calculer en eV, l'énergie de première ionisation de l'atome d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$ et de l'hélium ${}^4_2\text{He}$.
- Montrer que les longueurs d'onde λ_{n2} des rayonnements émis peuvent s'écrire dans le cas de l'hydrogène (λ_0 une constante) : $\lambda_{n2} = \lambda_0 \frac{n^2}{n^2 - 4}$.
- Indiquer pour cette série de raies, la longueur d'onde de la raie correspondant à une désexcitation de la couche M si $\lambda_0 = 400 \text{ nm}$.

Exercice 6

Un atome de Néon ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ subit une ionisation de la couche K. On considère $E_L = -350 \text{ eV}$ et $E_M = -156 \text{ eV}$ les énergies de liaison des électrons des couches L et M.

- Calculer son excédent d'énergie par rapport à son état fondamental. On supposera que la constante d'écran est nulle.
- L'excès d'énergie est dissipé sous forme d'un électron Auger éjecté de la couche M. Calculer l'énergie cinétique de cet électron dans le cas où un électron de la couche L vient combler la lacune de la couche K.

Exercice 7

On considère un tube RX soumis à une différence de potentiel de 100 kV entre l'anode et la cathode.

- Quelle est l'énergie maximale des photons émis ?
- Le spectre des photons émis possède des raies. Quel est le type d'interaction qui est à la base de ce phénomène de fluorescence ?
- Quel sera l'effet de la filtration sur ce tube (couche fine de métal en sortie de tube) ?
- Quels sont les examens ou traitements médicaux qui pourraient nécessiter l'utilisation d'un tel tube ?

Exercice 8

Soit un tube de Coolidge.

- Comment fait-on varier les longueurs d'onde des rayons X émis ?
- Comment fait-on varier la quantité (nombre de photons) des rayons X émis ?
- Comment peut-on multiplier par deux l'énergie maximale des photons émis par le tube sans modifier la puissance rayonnée du faisceau X émis ?

Exercice 9

Soient les coefficients massiques d'atténuation globale suivants pour le plomb et l'aluminium et concernant des rayons X ayant une énergie comprise entre 10 keV et 100 MeV :

Energie (keV)	Coefficient massique Pb ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	Coefficient massique Al ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)
10	132,8	26,2
20	86	3,32
50	7,82	0,35
60	4,7	0,26
100	5,46	0,17
200	1,0	0,124
500	0,159	0,085
1000	0,06	0,06
5000	0,04	0,035
10 000	0,045	0,03
20 000	0,06	0,026
50 000	0,08	0,027
100 000	0,09	0,03

- Quelles sont les valeurs du coefficient linéique d'atténuation (en cm^{-1}) du plomb pour un faisceau de photons de 20 keV ? de 200 keV ?
- Un faisceau de photons de 200 keV est-il plus pénétrant dans le plomb qu'un 20 keV ? Justifier.
- Pour l'Aluminium, le coefficient d'atténuation massique est-t-il inversement proportionnel à l'énergie ou au cube de l'énergie lorsque l'énergie des rayons X varie de 10 à 30 keV ? de 60 à 100 keV ? Quels effets d'atténuation sont alors prépondérants ?
- Que constatez-vous pour les valeurs du $\frac{\mu}{\rho}$ du plomb entre 5 et 100 MeV ? quel est le phénomène à l'origine de cette observation ? Quel est le rayonnement le plus pénétrant entre un faisceau de 5 MeV et un autre de 100 MeV ?