

PAES – Tut' rentrée 2011-2012 BIOPHYSIQUE DES RADIATIONS Rayons X

Force de Coulomb : $F = \frac{k \cdot q \cdot q'}{x^2}$

Si l'une des charges est immobile et l'autre en mouvement, les 2 charges sont déviées en se partageant l'énergie incidente.

Arrêt par collision : Si un e^- entre en collision avec les e^- de la matière, plusieurs cas de figure

- Si E_c (énergie cinétique de l' e^- incident) $> |W_i|$ électron d'une matière cible \Rightarrow **ionisation**.
- Si E_c (énergie cinétique de l' e^- incident) $= \Delta W_i$ électron d'une matière cible \Rightarrow **excitation**.
- Si E_c (énergie cinétique de l' e^- incident) $< \Delta W_i$ électron d'une matière cible \Rightarrow **vibration + chaleur**.
- Retour à l'état fondamental \Rightarrow émission d'un photon de fluorescence, $h\nu$ quantifié \Rightarrow spectre de raie.
- Le photon est un rayon X caractéristique de la cible.

Arrêt par freinage :

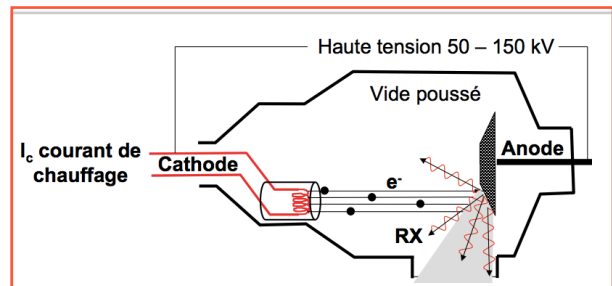
- Accélération centripète de l'électron incident par interaction avec le noyau, qui produit un rayonnement $h\nu$, compris entre 0 et E_c (énergie de l'électron incident). Le photon aura donc une énergie $h\nu$ avec plusieurs valeurs possibles \Rightarrow spectre continu.

Production des rayons X : paramètres du tube de Coolidge

- Les rayons X sont des photons produits par l'interaction des électrons avec la matière.

- **Cathode** = filament de tungstène dans lequel circule :

- I_c le **courant de chauffage** (0,5 à 1 A) = émetteur d' e^- à partir de 1200°C (émission thermo-électronique). Ce courant va en effet permettre à partir de la cathode d'émettre un flux d'électron qui interagira avec l'anode.



- **Courant anodique i** = flux d' e^- entre cathode et anode (traversant le tube), en mA

- **Haute tension** accélératrice des électrons $U = 50$ à 150 kV, responsable de l'énergie cinétique E_{c_e} de chaque électron.
 $E_{c_e}(\text{eV}) = U(\text{V})$

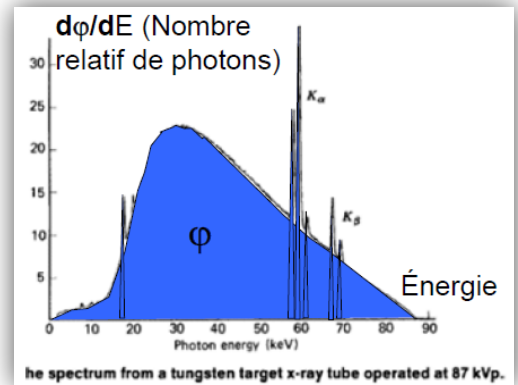
- **Anode**. Les électrons émis à partir de la cathode par le courant de chauffage vont interagir par les modalités précédemment vues avec l'anode, ce qui entraînera des réarrangements produisant des photons, ou rayons X. L'anode est aussi appelée cible, elle a un Z élevé pour une meilleure probabilité d'interaction avec les électrons de la matière, et donc un meilleur rendement. Elle est donc constituée d'un alliage et d'un dispositif tournant du fait de la forte production de chaleur.

- **Flux énergétique Φ** = puissance rayonnée (Watt ou photon/s).

Spectre énergétique : c'est la représentation graphique de la distribution énergétique d'un rayonnement.

Spectre des rayons X :

- Composante continue ↔ *rayonnement de freinage*.
- Raies ↔ *photons X caractéristiques de fluorescence (lors du réarrangement)*.
- Φ = surface sous la courbe = $\frac{kiZU^2}{2}$
- Affaissement de début de courbe ↔ *auto-absorption dans la cible des rayons X de faible énergie*.

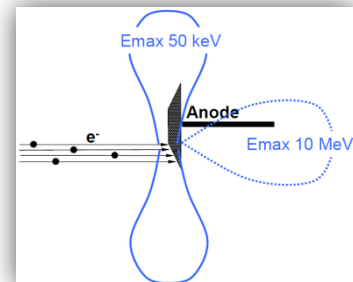


Caractéristiques d'exposition :

- Un filtre métallique absorbe les photos de faible énergie inutiles pour l'imagerie.
- Rendement d'une tube à rayons X :
 - **Puissance consommée : P = Ui**
 - **Puissance rayonnée : $\Phi = \frac{kiZU^2}{2}$**
 - **Rendement d'un tube à rayons X : $r = \frac{\Phi}{P} = \frac{kiZU^2}{2iU} = \frac{k}{2}ZU = KZU$ avec $K=k/2$**
 - ⇒ *Le rendement est seulement de quelques % (chaleur) ; il dépend de Z (⇒ utilisation du tungstène $_{74}W$).*
 - ⇒ *k est une constante caractéristique du tube !*

Paramètres du tube :

- On peut faire varier U (kilovoltage) et i (milliampérage).
- **Si i ↗, Φ ↗** → le flux de rayons X ↗ sans modification des caractéristiques énergétiques ; la répartition spatiale de l'émission de rayons X est indicatrice d'intensité.
- **Si U ↗, Φ ↗ et $E_{max} = U$ ↗** → les rayons X sont plus pénétrants.
- L'imagerie utilisant les rayons X est une imagerie dite « par transmission ».
- **Flux par unité de surface = débit de fluence = F = F₀e^{-μx}** → la transmission des rayons X est inversement proportionnelle à μ (coefficient d'atténuation linéique) et à x.



Interaction des rayons X avec les tissus :

- Effet **photo-électrique** et diffusion **Compton**.
- **Contrastes naturels :** principalement Ca.
- **Contrastes artificiels :** principalement l'iode I (Z=53)
- **Quand Z ↗, le contraste ↗** (⇒ d'où le choix de l'iode 131 comme produit de contraste).



Tube de Crookes (= ancêtre du tube à rayons X) :

- **A P_{atm}** ⇒ pas de phénomène observable.
- **A P_{atm} 10⁻²** ⇒ décharges électriques, dues aux ionisations/excitations des molécules du gaz (principe des néons), car plus d'espace entre les molécules d'air.
- **A P_{atm} 10⁻⁵** ⇒ on ne voit plus de décharges, mais apparition d'une fluorescence verte et au fond du tube de l'ombre de l'anode ⇒ quelque chose se propage, ce sont les électrons. La fluorescence verte est due aux raies caractéristiques du verre.

Exemples de qcm (tiré du site internet de M. Darcourt et de notre cru !) :

- 1) Dans un tube à rayons X, ceux ci sont produits:
 - A) par interaction photon-électron à l'anode
 - B) par interaction électron-électron à l'anode
 - C) par interaction électron noyau à l'anode
 - D) selon un spectre continu
 - E) selon un spectre de raie

- 2) Calculer la constante k caractéristique d'un tube à RX soumis à une tension de 50kV, formé d'une cible en Tungstène (Z=74), donnant un rendement de 3%.

- 3) Quelle est la longueur d'onde minimale des électrons soumis à une tension de 62 kV en nm ?

- 4) Dans un tube à rayons X :
 - A la puissance rayonnée dépend du Z de la cible,
 - B l'énergie maximale des rayons X dépend directement de la tension appliquée,
 - C l'augmentation de la tension appliquée ne modifie pas la puissance rayonnée,
 - D l'augmentation de la tension appliquée ne modifie pas l'énergie des raies caractéristiques,
 - E l'augmentation de l'intensité du courant anodique ne modifie pas la puissance rayonnée.

Correction :

- 1- A : Faux, ce sont des électrons qui interagissent avec les électrons de l'anode
 B : Vrai
 C : Vrai (interaction par freinage)
 D : Vrai
 E : Vrai
 ⇒ pour avoir le point entier, il faut avoir répondu **BCDE**

- 2- $r = 0,03 = KZU$, d'où $K = \frac{r}{ZU} = 8,1 \cdot 10^{-9}$ $K = k/2$, d'où $k = K \times 2 = \mathbf{1,6 \cdot 10^{-8}}$! ☺

- 3- La tension est de 62kV, donc l'énergie des électrons est de 62keV.
 Par la relation de Duane et Hunt, on calcule $\lambda = \frac{1240}{62 \times 10^3} = \mathbf{0,02 \text{ nm}}$

- 4- A : Vrai (cf formule de la puissance rayonnée !)
 B : Vrai !
 C : Faux ! si on augmente la tension, la puissance rayonnée augmente
 D : Vrai ! Les raies d'énergie correspondent aux photons de réarrangement entre les orbitales atomiques, quelle que soit la tension, et donc l'énergie des e- incidents, ces réarrangement mettront en jeu les mêmes niveaux d'énergie et donc les mêmes raies d'énergie, propre à chaque atome !
 E : Faux ! (idem C)
 ⇒ **ABD**