

COURS N°10 (partie 1) : Interaction des particules chargées avec la matière.

Les particules chargées, essentiellement les électrons mais aussi les protons et les particules α , sont utilisées pour la radiothérapie, la production de rayons X, de rayonnements et la protection contre ces derniers.

Mais ils peuvent aussi induire des contaminations et des effets secondaires.

Leur énergie (cinétique) est transférée PROGRESSIVEMENT à la matière. Ces particules sont ralenties à cause des interactions élémentaires avec des particules chargées de la matière (de même signe ou pas).

Les électrons proviennent des accélérateurs d'électrons, des émetteurs β , des phénomènes secondaires liés à l'interaction des photons X ou γ avec la matière.

Leur énergie cinétique varie de plusieurs keV à plusieurs MeV et leur parcours est aléatoire.

I. Interactions élémentaires des électrons

A. Collision avec les électrons de la cible

Cette collision peut provoquer des ionisations ou une excitation. L'énergie maximale cédée est équivalente à $\frac{E_i}{2}$, avec E_i énergie incidente de l'électron.

La trajectoire de l'électron incident peut être déviée.

Le pouvoir ionisant augmente si E_i diminue.

W , énergie moyenne d'ionisation, est indépendante de l'énergie de l'électron incident mais dépend du matériau.

B. Réaction nucléaire

L'électron peut interagir avec un proton du noyau.

L'électron perd beaucoup de son énergie, mais la probabilité de cette réaction est faible.

C. Freinage

La trajectoire de l'électron s'incurve au voisinage du noyau et produit un rayonnement électromagnétique (qu'on appelle rayonnement de freinage).

Ce dernier constitue un spectre continu allant de 0 à $E_{c\max}$, équivalant à l'énergie cinétique de l'électron.

II. Ralentissement des particules et pouvoir d'arrêt

Le ralentissement des électrons est surtout dû aux interactions mais aussi au freinage.

A. Pouvoir linéique d'arrêt

On définit le pouvoir linéique d'arrêt S de la matière :

$$S = \frac{dE}{dl}$$

S est généralement donné en $\text{MeV}\cdot\text{cm}^{-1}$.

On peut séparer $S = S_c + S_r$ avec S_c pouvoir d'arrêt par collision et S_r pouvoir d'arrêt par freinage.

On peut également utiliser le pouvoir massique d'arrêt.

B. Parcours moyen de l'électron

On définit le parcours moyen R_0 de l'électron :

$$R_0 = \frac{E_0}{S}$$

Avec :

- R_0 le parcours moyen de l'électron en cm.
 - E_0 l'énergie de l'électron incident en MeV.
 - S le pouvoir linéique d'arrêt en $\text{MeV}\cdot\text{cm}^{-1}$.
- Si l'électron interagit avec des particules lourdes, l'électron décrira plutôt une ligne droite donc R_0 sera atteint.
 - Si l'électron interagit avec d'autres électrons, sa trajectoire sera en lignes brisées et donc son parcours sera inférieur à R_0 .

La plupart des interactions sont à faible transfert d'énergie. Quand l'énergie diminue au cours des transferts, les interactions diminuent et l'électron s'arrête.

Dans l'eau, on a :

$$R_{\text{eau}} = \frac{E_0}{2}$$

Pour un milieu de densité d , on a :

$$R_d = \frac{R_{\text{eau}}}{d}$$

III. Ralentissement par collision

A. Pouvoir d'arrêt par collision

Si les collisions sont très rapprochées, l'électron s'arrête et donne toute son énergie (ce qui est rare).

Si les collisions sont assez éloignées, l'électron transfère une partie de son énergie et change de direction.

S_c , pouvoir d'arrêt par collision, varie en $\frac{1}{V^2}$, avec V vitesse de l'électron incident. Il est proportionnel à la densité des électrons du milieu cible (plus il y a d'électrons dans le milieu cible et plus la probabilité d'interagir avec un de ces électrons est forte). Dans l'eau, S_c est constant et équivalent à 2 MeV.cm^{-1} .

B. Effets élémentaires produits

Les effets élémentaires produits dépendent de Q , énergie transférée à l'électron cible :

- Si $Q < E_i$ (énergie de liaison), on a le choix entre :
 - Excitation de l'électron.
 - Dégradation de Q en chaleur.
- Si $Q > E_i$, l'électron est arraché (ionisation) à une pour énergie cinétique $E_c = Q - E_i$. dans l'eau, une ionisation est obtenue si Q est de 16 eV.
- Si $Q - E_i > 100 \text{ eV}$, l'électron arraché devient ionisant à son tour (on parle d'électron δ).

On peut ainsi définir l'énergie moyenne d'ionisation ω , indépendante de la nature et de l'énergie de la particule incidente.

C. Transfert linéique d'énergie

On définit tout d'abord la densité linéique moyenne d'ionisation DLI :

$$\text{DLI} = \frac{\text{Nombre d'ionisations(ou paires d'ions)}}{R_0}$$

On définit ensuite le transfert linéique d'énergie TEL :

$$\text{TEL} = \frac{E_c}{R_0} = \frac{\text{Nombre d'ionisation} \times \omega}{R_0} = \text{DLI} \times \omega$$

IV. Ralentissement par freinage

A. Freinage d'un électron

Quand un électron s'approche un peu d'un noyau et donne un rayonnement électromagnétique.

B. Freinage d'un faisceau d'électrons

Le faisceau est plus ou moins ralenti en fonction de la distance entre les électrons et le noyau.

<http://coursp1bichat-lariboisiere.weebly.com>