

Dosimétrie

• Introduction

I / Dosimétrie des faisceaux de photons

A) Faisceaux dans le vide.

- 1- Distribution spectrale
- 2- Distribution spatiale
- 3- Paramètres énergétiques
- 4- Atténuation du faisceau de photons.

B) Faisceau de photon dans le matériau.

- 1- Kerma
- 2- Dose absorbée.
- 3- Exposition
- 4- Paramètres dosimétriques temporels.

II / Dosimétrie d'un faisceau de particules

- irradiation externe
- irradiation interne

Introduction:

La dosimétrie a pour objectif de quantifier l'énergie absorbée par unité de volume les tissus irradiés. Ceci est essentiel pour:

- Estimer le danger potentiel des techniques de diagnostic in vivo utilisant les rayonnements ionisants.
- Optimiser le protocole de traitement en radiothérapie.
- Etablir les normes de radioprotection.

I / Dosimétrie des faisceaux de photons:

A / Faisceaux de photons dans le vide: un faisceau de photons est caractérisé par:

1) Sa distribution spectrale:

Le spectre d'un émetteur radioactif γ est un spectre de raies. Cela veut dire que l'énergie prend un nombre fini de valeurs différentes.

Le spectre d'un émetteur de rayons X par rayonnement de freinage est un spectre continu. L'énergie prend toutes les valeurs dans un intervalle.

2) Sa distribution spatiale:

Les émissions radioactives sont isotropes (elles sont égales dans tous les sens - toutes les directions): L'indicatrice d'intensité énergétique est une sphère.

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}$$

I : intensité énergétique.

Φ : flux énergétique.

L'émission des rayons X obtenus par rayonnement de freinage sont anisotropes (l'énergie n'est pas la même dans toutes les directions)

3) Paramètres énergétiques: On a 5 paramètres:

a - L'intensité énergétique: $I(\vec{u})$

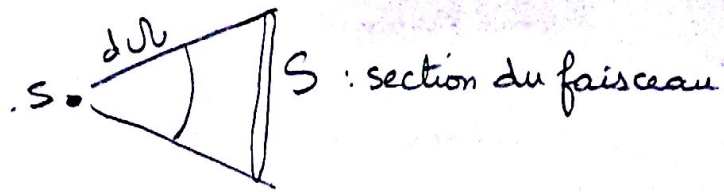
C'est le flux d'énergie dans un angle solide dans

la direction \vec{u} :

$$I(\vec{u}) = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

[Watt/steradian]

$d\Omega$: angle solide que fait la source avec le faisceau.



b. Le flux énergétique : Φ

C'est l'énergie transportée par le faisceau par unité de temps.

$$\Phi = \int_{\Omega} I(\vec{u}) \cdot d\Omega \quad [\text{Watt}]$$

NB: le temps (on intègre dans le temps)

c. L'énergie totale : Σ

L'énergie totale émise par la source pendant la durée U de l'irradiation prend en compte les variations du flux.

$$\Sigma = \int_0^U \Phi \cdot dt \quad [\text{Joules}]$$

⚠ Si le flux est constant : $\Sigma = \Phi \cdot U$

d. L'éclairement énergétique : $E_{(P)}$

L'éclairement énergétique au niveau du point P est le rapport du flux d'énergie qui traverse une surface élémentaire.

$$E_{(P)} = \frac{d\Phi}{dS} \quad [\text{Watt} / \text{m}^2]$$

e. La fluence énergétique : $F_{(P)}$

La fluence au niveau du point P est le rapport de l'énergie totale qui traverse une surface élémentaire.

$$F_{(P)} = \frac{d\Sigma}{dS} \quad [\text{Joules} / \text{m}^2]$$

C'est aussi l'éclairement énergétique par unité de temps. $F_P = \int_0^U \frac{d\Phi}{dS} \cdot dt \Rightarrow F_P = \int_0^U E_{(P)} \cdot dt$

⚠ Si E_P est constant : $F_P = E_{(P)} \cdot U$

Remarque:

L'éclairement et la fluence énergétique obéissent à la loi de l'inverse du carré des distances. $E_{(P)}$ et F_p décroissent comme le carré de la distance à la source en l'absence de toute atténuation.

4) Atténuation du faisceau de photons:

Si un obstacle s'interpose sur le trajet du faisceau, certains photons vont être absorbés et d'autres diffusés. Et les paramètres énergétiques vont décroître d'un facteur exponentiel: $e^{-\mu x}$

μ : coefficient d'atténuation linéaire de l'écran
 x : épaisseur de l'écran.

On aura alors:

$$I(\vec{u}) \rightarrow I(\vec{u}) \cdot e^{-\mu x}$$

B) Faisceaux de photons dans un matériau:

Dans la matière E et F au niveau du point P doivent prendre en compte les photons directs et les photons diffusés. La notion de faisceau est remplacée par champ de rayonnement et la notion de surface par sphère de rayonnement.

$$E_{(P)} = \frac{d\Phi}{\pi dr^2}$$

$$F_{(P)} = \int_0^u \frac{d\Phi}{\pi dr^2} dt = \int_0^u E_p \cdot dt$$

Le transfert d'énergie entre un faisceau de photons et la matière est étudié par:

1) Kerma: C'est l'énergie totale transférée par unité de masse. L'énergie transférée par le rayonnement à la matière en prenant en compte que les énergies qui ont eu lieu dans la sphère par unité de masse:

$$K = \frac{dW_k}{dm}$$

[gray]

dW_k : l'énergie des photons qui pénètrent dans la sphère moins l'énergie de ceux qui en sortent.

2) Dose absorbée:

Soit une sphère élémentaire. C'est l'énergie totale absorbée dans la sphère qui a pour origine des interactions qui se sont produites dans la sphère ou en dehors. C'est l'énergie apportée dans la sphère par un électron apporté en dehors de cette sphère par unité de masse:

$$D = \frac{dW_a}{dm} \quad [\text{gray}]$$

Il y a une relation entre le Kerma et la Dose absorbée :

Le Kerma K est égale à la dose absorbée D en cas d'équilibre électronique. Et la condition d'équilibre électronique, à chaque fois que l'on est à plus de quelques millimètres des bords. (à l'intérieur de la sphère) est vérifiée

Il y a une compensation entre l'énergie emporté à l'extérieur par les électrons nés à l'intérieur et entre les électrons à l'extérieur qui emportent leur énergie à l'intérieur \Rightarrow dans le cas de l'équilibre électronique.

Quelques unités :

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 10^{-2} \text{ Gray}$$

$$1 \text{ Gray} = 1 \text{ joule / kg}$$

$$1 \text{ joule} = 10^7 \text{ erg}$$

3) Exposition : X

L'exposition d'un faisceau de photons c'est le nombre d'ionisations créées dans une masse donnée d'air. L'unité est le **Röntgen** et on parle d'exposition parce qu'on peut exprimer le Kerma indirectement et la correspondance avec le Kerma dépend du matériau.

$$\text{Air : } 1 \text{ R} = 87, 10^{-4} \text{ Gy}$$

$$\text{Tissu mou : } 1 \text{ R} = 97, 10^{-4} \text{ Gy}$$

(la peau)

} Photons d'énergie
entre 100 keV et
10 MeV.

4) Paramètres dosimétriques temporels:

* Débit de dose : \dot{d}

C'est l'accroissement de la dose pendant une unité de temps. $\dot{d} = \frac{dD}{dt}$ [Gy/s] ou [Gy/h]

* Débit de Kerma : k

C'est l'accroissement du Kerma pendant une unité de temps. $k = \frac{dK}{dt}$ [Gy/s] ou [Gy/h]

* Débit d'exposition : x

C'est l'accroissement de l'exposition pendant une unité de temps. $x = \frac{dX}{dt}$ [R/s] ou [R/h]

Remarques:

Pour un faisceau issu d'une source radioactive, la période T de décroissance est prise en compte si la durée d'irradiation est importante. C'est à dire durée d'irradiation supérieure à T .

Si la durée d'irradiation est inférieure à T , la décroissance radioactive est négligée.

Pour calculer les débits, il faut prendre en considération la constante radioactive.

Pour un faisceau polyénergétique, les calculs doivent être faits pour toutes les énergies ^{émises} et les résultats ^{dosimétriques} doivent être sommés.

II / Dosimétrie d'un faisceau de particules:

Les paramètres dosimétriques pour les particules sont les mêmes que ^{pour} les faisceaux de photons. La seule différence vient du libre parcours moyen qui est très court.

Schématiquement on a 2 situations:

* L'irradiation externe :

Source externe. Ex : radiothérapie

La dose absorbée dépend de l'énergie de la particule et de la profondeur de la cible (même chose pour les autres paramètres :

* L'irradiation interne :

Source introduite dans l'organisme. On utilise généralement la radioactivité β (β^- ou β^+) (qui est souvent accompagnée de radiations γ)

Les particules émises sont les électrons de β^- ou les positrons de β^+ accompagnés souvent de photons γ et aussi de l'émission de photons d'annihilation en cas de β^+ . Dans ce cas le débit de dose dépend de la nature de l'émission β et de la concentration du radiosélément dans l'organe cible au cours du temps (la concentration dans l'organisme).