

Travaux Pratiques n°3

Résolution en énergie d'un détecteur à scintillations

Objectif :

- Détermination de la résolution à différentes énergies.

1. Introduction

Quand un rayonnement γ traverse une couche, de matériau d'épaisseur x , il peut subir plusieurs interactions avant de traverser cette couche de matériau. Pendant son parcours, il rencontre dans son passage les atomes constituant le matériau et il va interagir avec les électrons de ces atomes. Dans ce cas, différents types d'interactions peuvent avoir lieu : interaction par effet photoélectrique, interaction par effet Compton et création de paires. A cause de ces interactions, le spectre gamma sera constitué de différentes composantes.

2. Les différentes interactions des photons γ avec la matière

2.1. Effet photoélectrique

Dans l'effet photoélectrique, l'énergie du photon γ est complètement absorbée par l'un des électrons des atomes constituant le matériau. Dans ce cas, l'électron qui absorbe cette énergie est directement arraché de son orbite de liaison et sera expulsé si son énergie de liaison est faible relativement à l'énergie du photon. Dans un autre cas, l'électron passe à un état d'énergie excité.

2.2. Effet Compton

L'effet Compton est une diffusion inélastique entre un photon et un électron, faiblement lié, considéré libre et dont l'énergie est très faible devant celle du photon. Dans ce type d'interaction, le photon est diffusé et l'électron est expulsé de l'atome en emportant une part de l'énergie du photon sous forme d'énergie cinétique.

2.3. Création de paires

Un photon qui possède une énergie supérieure à $2m_e c^2 = 1.02 MeV$, il peut donner naissance à la création d'un électron et d'un positron. Une fois le positron est créé, il peut se transformer en deux photons émis à 180° l'un de l'autre. L'énergie de chaque photon sera de $511 keV$.

3. Détecteur à scintillation

Le détecteur à scintillation est un détecteur constitué d'un cristal de NaI(Tl) qui émet des photons lumineux quand des photons interagissent avec lui. Le détecteur à scintillation permet de déterminer le spectre d'une source gamma.

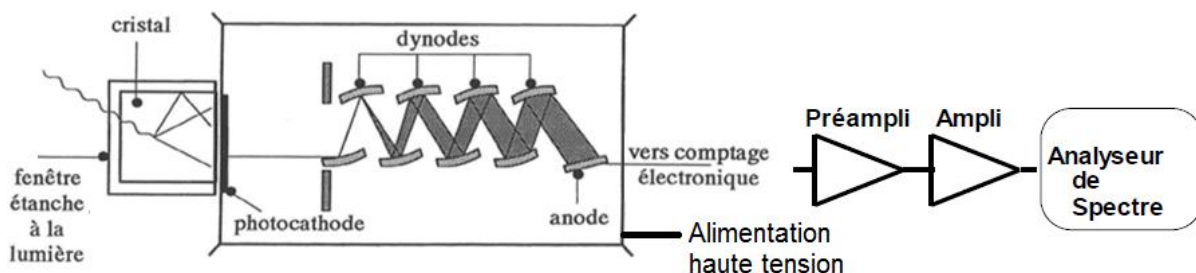


Figure 1 : Schéma d'un scintillateur

4. Spectre gamma

La figure 2 montre un spectre du Cs-137. On remarque différentes raies relativement élargies. Il y a le pic des rayons X dû au processus de conversion interne. Puis vient le pic de rétrodiffusion qui est situé avant le pic d'absorption totale, lui aussi, situé avant le pic somme.

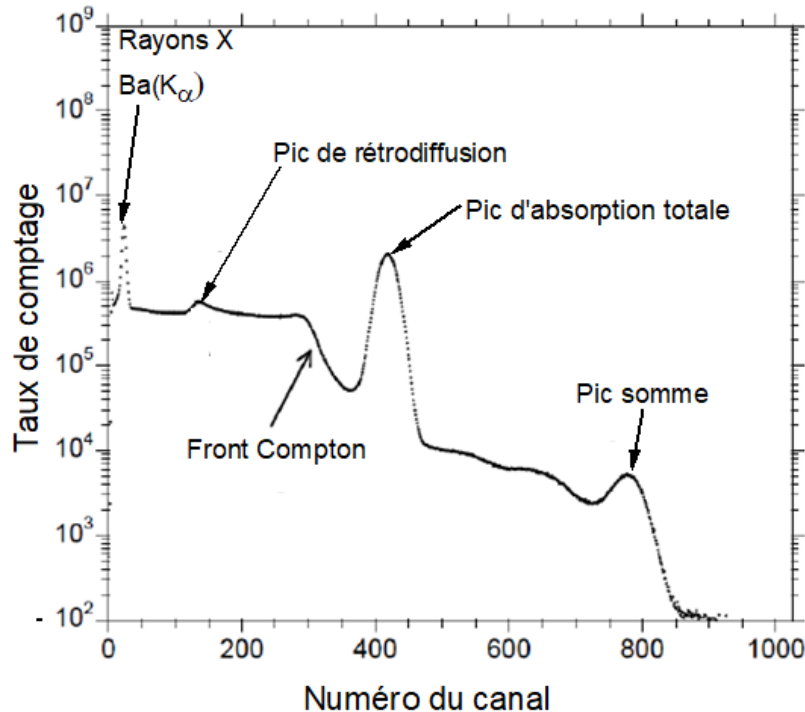


Figure 2 : Spectre gamma du césium-137

5. La résolution en énergie

La résolution en énergie définit le pouvoir à séparer les raies dans un spectre. La résolution en énergie ΔE (FWHM : Abréviation de Full Width at Half Maximum) est la pleine largeur du pic mesurée à mi-hauteur. Pour la plupart des spectres gamma, le pic a la forme plus proche d'une distribution Gaussienne. Dans ce cas, la résolution est liée à l'écart-type σ_E de la distribution par la relation suivante :

$$FWHM = \Delta E = 2.35\sigma_E \quad (1)$$

Souvent, on utilise une résolution relative R exprimée en % et est définie comme étant le rapport de la résolution en énergie ΔE à l'énergie E du pic :

$$R = \frac{\Delta E}{E} = \frac{2.35\sigma_E}{E} \quad (2)$$

6. Calcul théorique de la résolution en énergie

La résolution d'un détecteur est le pouvoir de séparer entre deux photons gamma ayant des énergies plus proches. Cette qualité de distinguer entre deux photons gamma de plus proches énergies est caractérisé par ce qu'on appelle la résolution d'un détecteur qui est définie par la largeur à mi-hauteur du pic photoélectrique d'énergie E . On la note par FWHM (Full Width at Half Maximum).

En terme de canal, on définit la résolution par :

$$FWHM = \Delta E = E_2 - E_1 \quad (3)$$

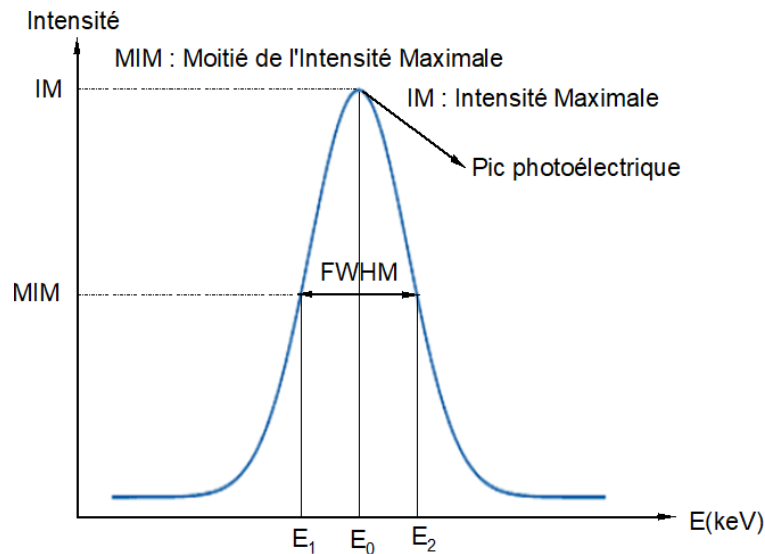


Figure 3 : Courbe de Gauss

On définit la résolution en pourcentage par :

$$R_1(\%) = \frac{\Delta E}{E_0} = \frac{E_2 - E_1}{E_0} \quad (4)$$

ΔE est la largeur à mi-hauteur comme il est montré sur la figure 3,
 E_0 est l'énergie du pic photoélectrique.

7. Manipulation

7.1. Matériel utilisé

- Scintillateur NaI(Tl)
- Sources radioactives : ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na
- Boîtier électronique qui sert de lien avec le NaI (Tl)
- Ordinateur où est installé le logiciel USX servant à l'affichage des spectres de rayonnements.

7.2. Réglages de la chaîne de mesure

Procédons comme suit :

- alimenter le boîtier électronique et mettre en marche le PC,
- ouvrir le programme **USX** à partir de son raccourci au bureau,
- dans la barre du menu, aller à **Setting** et cliquer sur **time**, cocher dans la fenêtre qui s'ouvre **Live time** puis fixer 900 s pour le temps d'acquisition,
- aller de nouveau à **Setting** et faire les réglages suivants :
- taper 650 V pour le voltage et cocher **On**,
- aller à **Converse gain** et taper 13 pour **low** et choisir 1024 pour **high**,
- régler le gain fin sur 2,
- cliquer enfin sur **ok**.

7.3. Spectres gamma et calibration de la chaîne de mesure

Garder les réglages effectués avant sans rien changer. Placer la source de césium-137 à une distance de 1 cm de la fenêtre du détecteur et lancer la mesure en cliquant sur l'anglet en vert. Le spectre va être affiché au bout de 600 s. Après cela, on calibre la chaîne de mesure en procédant comme suit :

- aller à **Display** puis choisir **Calibrate 2 points**,
- taper *keV* pour l'unité de l'énergie,
- taper le numéro du canal du pic de conversion interne puis taper son énergie qui est 32 *keV*,
- taper le numéro du canal du pic photoélectrique puis taper son énergie qui est 662 *keV*.

Après cela, la chaîne de mesure est calibrée. Faites ce qui suit :

- pour le pic photoélectrique, relever les valeurs de E_0 , E_1 et E_2 et reporter-les dans le tableau ci-dessous.
- sélectionner par la souris toute l'aire en dessous de la gaussienne du pic photoélectrique, puis, relever la largeur ΔE ,
- à l'aide de **erase** effacer le spectre et enlever la source de Cs-137.
- Sans rien changer des réglages précédents, refaire la même chose pour les sources de Co-60 et Na-22.

Remarque : à la fin de l'expérience aller à **Setup** puis choisir **High voltage** puis taper 0V et appuyer sur **off**.

Source	E_0 (keV)	E_1 (keV)	E_2 (keV)	ΔE (keV)	R_1 (keV)	R_1 (%)	R_2 (keV) = FWHM	R_2 (%)	σ_E
Cs-137									
Co-60									
Na-22									

Questions

1. Dessiner sur le papier millimétré le spectre gamma de chaque source radioactive.
2. Compléter le tableau.
3. Représenter la courbe de $R_1 = f(E)$. Commenter l'allure de R_1 .