



Filières : SMP S5 2018-2019/ 2019-2020/ 2020-2021

Travaux Pratiques de Physique Nucléaire

Sommaire

Généralités sur les détecteurs de rayonnements

Manipulation 1: Courbe de fonctionnement et mesure du bruit de fond par le détecteur Geiger Muller

Manipulation 2: Fluctuation statistique du détecteur Geiger Miller et vérification de la loi de l'inverse carrée.

Réalisé par :
M. HAMAL

Le questionnaire doit être rempli par chaque étudiant

Nom : Prénom : Groupe :

Questionnaire

| | | |
|--|------|------|
| La radioactivité a été inventée par l'homme | Vrai | Faux |
| Il existe des éléments naturellement radioactifs | Vrai | Faux |
| L'homme est capable de synthétiser des particules radioactives | Vrai | Faux |
| L'apparition de la vie sur terre est en partie liée à la présence de la radioactivité | Vrai | Faux |
| Est-il vrai que l'on respire, ingère ou boit, chaque jour, des substances radioactives ? | Vrai | Faux |
| Y a t-il un risque pour la santé ? | Oui | Non |
| Pourquoi distribue-t-on de l'iode aux personnes habitant à proximité des centrales nucléaires ? | | |
| Quand je passe une radio, suis-je irradié ? | Oui | Non |
| Il paraît que pour certains examens médicaux, on introduit des matières radioactives dans l'organisme. Est-ce qu'on est radioactif ensuite ? | Oui | Non |
| En prenant un minimum de précautions, on peut se protéger complètement de la radioactivité. | Vrai | Faux |
| Les éléments radioactifs qui se désintègrent peuvent donner naissance à des rayonnements qui ionisent la matière, y compris à l'intérieur des cellules humaines, et en particulier dans le noyau où se trouve l'ADN. | Vrai | Faux |
| Quand on parle de radioactivité, on sous-entend qu'il s'agit de : | | |
| • molécules radioactives | Vrai | Faux |
| • d'atomes radioactifs | Vrai | Faux |
| • de noyaux radioactifs | Vrai | Faux |
| Certaines des particules émises lors de désintégrations radioactives n'ont ni masse, ni charge électrique et transportent pourtant de l'énergie | Vrai | Faux |
| Les particules alpha sont aussi connues sous une autre appellation. Laquelle ? | | |
| Les particules beta sont aussi connues sous un autre nom. Lequel ? | | |

GENERALITES SUR LES DETECTEURS DE RAYONNEMENTS

Les particules matérielles et les rayonnements électromagnétiques (γ et X) émis lors des émissions radioactives sont invisibles à l'œil nu et ne peuvent être identifiés de manière simple comme c'est le cas pour les objets classiques. Pour mettre en évidence leur présence on est obligé d'étudier leur interaction avec la matière car ils y perdent une partie ou la totalité de leur énergie.

De manière générale, pour chaque type de rayonnement, on peut utiliser une matière appropriée associée à un circuit électronique capable de convertir une partie ou la totalité de l'énergie du rayonnement en un phénomène observable dépendant de la nature de la particule et du milieu matériel traversé. Le dispositif qui assure cette conversion est appelé détecteur.



Les différents types de détecteurs peuvent être classés en deux grandes catégories selon le type de fonctionnement, on distingue :

- Détecteurs basés sur l'ionisation

Dans cette catégorie de détecteurs, l'ionisation conduit soit :

- A une impulsion électrique qui nous renseigne sur le nombre paires (électron, ion) et dans certaines conditions l'énergie du rayonnement ayant traversé le milieu détecteur (Détecteur à gaz ou à base de silicium).
- A la visualisation par les phénomènes physiques ou chimiques qu'elle déclenche (émulsions nucléaires, chambre de Wilson).

- Détecteurs basés sur l'excitation

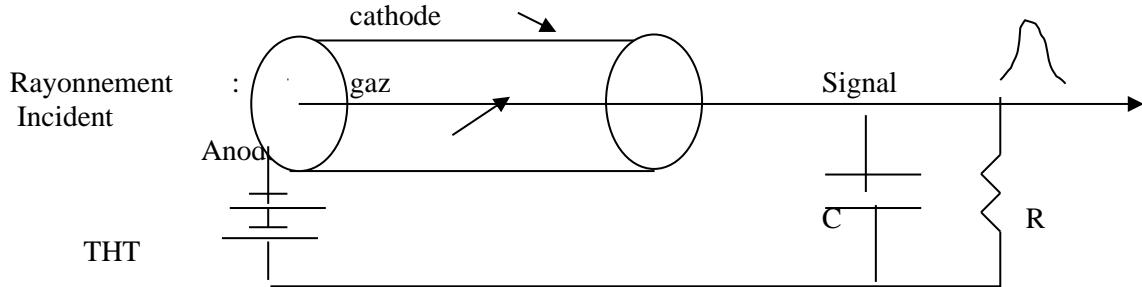
La perte d'énergie des rayonnements suite à l'interaction avec le milieu matériel du détecteur traversé conduit à l'excitation de ce dernier, la désexcitation des atomes de ce milieu conduit à l'émission de photons lumineux : détecteurs à scintillations.

ETUDE DES DETECTEURS A GAZ

I/ Principe de fonctionnement :

Le milieu que l'on utilise pour la détection d'une radiation ionisante est un gaz (on utilise en général un gaz rare : argon ou néon) enfermé dans une enceinte métallique constituée par une paroi externe (cathode) et un fil central (anode) qui jouent le rôle d'électrodes.

- Une radiation ionisante, après interaction avec le gaz, produit localement un certain nombre de paires (électron, ion).



En l'absence de tout champ électrostatique, les ions produits vont se recombiner et on n'observe aucun effet. Si on applique une différence de potentiel (champ électrostatique) entre les électrodes de l'enceinte, on peut déceler une quantité d'électricité due aux charges collectées dans le circuit de mesure. Les variations du potentiel entre l'anode et la cathode se traduisent par un signal électrique (impulsions).

II/ Compteur Geiger-Muller :

Un compteur Geiger Muller (GM) est un détecteur ayant une forme cylindrique constituée d'une anode et d'une cathode. Cette dernière, qui est formée par la paroi externe du cylindre, est reliée à la masse. L'anode se présente sous la forme d'un fil de tungstène à l'intérieur du cylindre. Le cylindre est rempli d'un mélange de gaz inerte (argon ou néon) à une pression de 100 torr et d'un gaz d'amortissement (vapeur de gaz halogène) à une pression de 10 torr.

Le Torr est une unité de mesure utilisée principalement en médecine ou en physique dans le cas de très basses pressions. Un Torr représente la pression générée par un mm de mercure. On a ainsi l'équivalence 1 atmosphère = 101325 Pascal = 760 Torr.

Pour permettre aux particules ionisantes de rentrer à l'intérieur du détecteur, l'extrémité du tube est bouchée par une très fine feuille de mica.

Pour faire fonctionner le détecteur, on applique une différence de potentiel de quelques centaines de volts entre l'anode et la cathode afin d'obtenir un champ électrique radial important au voisinage du fil d'anode.

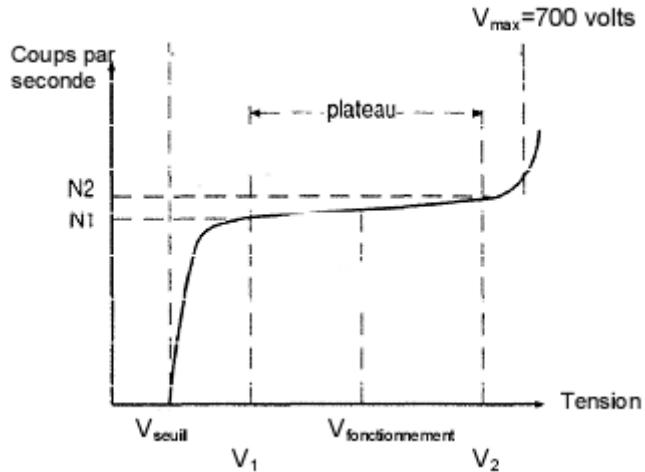
Lorsqu'une particule chargée (électron, proton, particule alpha, ...) traverse le gaz interne, elle ionise le gaz: production de paires (électron, ion) environ 10 par cm de gaz.

Sous l'influence du champ électrique qui règne dans la chambre, les électrons vont être accélérés en direction du fil central et acquérir une grande vitesse sur une courte distance. Cette vitesse élevée va permettre à ces électrons d'ioniser à leur tour d'autres atomes, et de libérer de nouveaux électrons. Cette multiplication des charges se répète très rapidement et produit une avalanche d'électrons autour du fil anodique: cela permet d'amplifier plus d'un million de fois le signal initial qui était très faible.

Il faut environ 0,2 millisecondes pour que les ions issus de l'avalanche soient évacués. Pendant ce temps, le compteur est aveugle. Ce qui veut dire que toute nouvelle particule ionisant le gaz ne donnera aucun signal électrique. Ceci génère un temps mort du GM et le compteur ne sera donc pas capable de mesurer un taux de comptage supérieur à ~5000 coups par seconde. C'est une des limitations de ce type de détecteurs.

Le taux de comptage d'un compteur GM va dépendre de la tension appliquée entre anode et cathode.

Si la tension est trop faible, les électrons d'ionisation se recombinent avec les ions et on ne mesure aucun signal électrique. Au delà d'une tension seuil V_{seuil} , on observe un signal lié à l'avalanche des électrons d'ionisation sur le fil anodique. Cette tension seuil est fonction du gaz utilisé et du diamètre de l'anode. Au delà de cette tension seuil, de plus en plus de coups sont mesurés. Cependant, sur une plage importante de tensions, ce nombre de coups est quasiment indépendant de la tension appliquée. On appelle cette zone le plateau. Le point de fonctionnement V est choisi au milieu du plateau.



Avantages:

- Les détecteurs GM sont largement utilisés en pratique (radioprotection). Ils ont une grande efficacité pour les particuleset les particules
- Les impulsions à la sortie du détecteur sont très grandes ce qui ne nécessite pas d'amplification, dans le cas où celle-ci existe, elle est faible, d'où leur coût relativement peu élevé.

Inconvénients:

- A la sortie d'un détecteur GM, la hauteur de l'impulsion est indépendante du nombre d'ions primaires créés par la radiation ionisante donc indépendante de son énergie.
- On enregistre toutes les impulsions dont la hauteur dépasse un seuil inférieur (discriminateur bas) et inférieures à une tension supérieure ou commence les charges accidentelles.

Manipulation 1: Courbe de fonctionnement et mesure du bruit de fond par le détecteur

Geiger Muller

1. Objectif de cette expérience

Les objectifs de cette expérience sont les suivants: (1) chercher la tension de fonctionnement du GM et étudier la distribution de probabilité de Poisson(bruit de fond) comme il est appliqué au comptage des statistiques,

2. Etude du GM

Quand on mesure certaines grandeurs physiques, on n'obtient pratiquement jamais le même résultat même si les conditions expérimentales sont identiques. Ces fluctuations sont caractérisées par la probabilité de mesurer chaque valeur, qui dépend de la nature de la grandeur mesurée mais aussi de l'appareil de mesure.

En d'autre terme, il est impossible d'atteindre la valeur exacte de la grandeur mesurée, c'est à dire que tout résultat est entaché d'erreur. Par définition, l'erreur est l'écart entre la valeur exacte inconnue et la valeur mesurée. Le problème consiste donc à définir un intervalle encadrant la valeur observée, telle que la valeur exacte ait une probabilité p d'appartenir à cet intervalle.

On distingue d'une part les grandeurs dont la valeur exacte est parfaitement définie (dimension géométrique d'un objet par exemple) et pour lesquelles l'erreur sur la mesure dépend essentiellement des qualités de l'instrument de mesure et de la pratique opératoire ; et d'autre part les grandeurs aléatoires. Ces grandeurs n'ont pas une valeur exacte définie, mais sont caractérisées par une probabilité d'existence du phénomène physique. Tous les processus microscopiques et en particulier les phénomènes nucléaires sont fondamentalement aléatoires : des mesures successives du nombre de particules ayant interagi avec un détecteur, effectuées dans des conditions identiques (activité, géométrie et temps de comptage constant), fournissent des taux de comptage différents.

Une étude statistique effectuée sur un grand nombre de mesure s'impose pour obtenir la valeur moyenne de la distribution et en déduire le résultat et l'incertitude correspondante.

Le problème est alors de connaître la probabilité $P(x)$ d'observer la valeur x dans une observation unique d'un phénomène dont la valeur attendue est x . La solution est obtenue moyennant la théorie des probabilités.

3. Caractéristiques statistiques des données (mesures)

1) Fréquences

On désigne par fréquence d'observation de la valeur x_i le nombre $F(x_i)$ d'observations de cette valeur au cours d'un ensemble d'observations effectuées sur des échantillons identiques.

Exemple : on effectue $N=10$ mesures.

| Mesures | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| $x_i = \text{Coups/sec}$ | 4 | 3 | 6 | 3 | 5 | 3 | 4 | 7 | 3 | 6 |

| | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|
| x_i | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| $F(x_i)$ | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 |

$$4+2+1+2+1= 10=N=\sum_i F(x_i)$$

$$2) \text{ Valeur moyenne } \bar{x} = \sum_i x_i F(x_i) = \dots \dots \dots \dots \dots$$

Pour une série finie d'observations, il est impossible d'atteindre la valeur moyenne exacte m , qui

correspond à une population infinie. La meilleure approximation de m est la moyenne arithmétique \bar{x} des N observations distinctes ayant donné des résultats x_1, x_2, \dots, x_N

$$m = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

3) Variance, écart type

La dispersion des valeurs observées autour de la valeur moyenne est exprimée qualitativement par l'écart type σ . La variance σ^2 est la somme des écarts quadratiques des valeurs observées à la moyenne:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

Remarque : La vraie définition d'une variance est :

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (x_i - m)^2$$

Où m est la vraie valeur moyenne de la grandeur mesurée. En effet, cette vraie valeur n'est pas connue et on ne connaît que \bar{x} qui est une valeur approchée de m . La substitution de m par \bar{x} sous-estime la variance qu'on peut corriger en remplaçant N par $N-1$, d'où l'observation de la formule ci-dessus.

4) Ecart type de la moyenne

Si on observe une série de n événements individuels de valeur moyenne \bar{x} , la valeur moyenne d'une autre série de n observations aura 68.3% de chance de se trouver dans l'intervalle $\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$

L'écart type $\sigma_{\bar{x}}$ de la moyenne est :

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Propriétés de la distribution binomiale

2) Distribution de poisson

Dans le cas des processus aléatoires dont la probabilité est faible et constante c'est la distribution de Poisson qui permet de décrire la répartition des valeurs observées. Elle s'applique particulièrement aux fluctuations statistiques de la décroissance radioactive et à toute observation d'événements nucléaires.

La loi de cette distribution peut être déduite de la loi binomiale en considérant un grand nombre d'essais

La probabilité $P(x)$ d'observer x fois l'événement dans z essais devient :

$$P(x) = \frac{z^x p^x}{x!} e^{-pz} = \frac{m^x}{x!} e^{-m}$$

D'après cette expression, $P(x)$ n'a qu'un seul paramètre qui est la moyenne m . L'écart type de la distribution de Poisson est : $\sigma = \sqrt{m}$

Manipulation1: Etude des fluctuations statistiques

I- MOUVEMENT PROPRE D'UN COMPTEUR (Mesure du bruit de fond: la radioactivité naturelle)

Distribution de Poisson :

Même en l'absence de toute source radioactive, le compteur délivre des impulsions qui constituent le bruit de fond appelé aussi le mouvement propre du compteur.

Le mouvement propre est du aux rayonnements cosmiques et à la radioactivité naturelle.

On se propose de vérifier le caractère aléatoire du taux de comptage du au bruit de fond ; du fait que ce taux de comptage est relativement faible, la distribution des fréquences expérimentales peut être gouvernée par la loi de Poisson.

- 1) Écrire les équations des réactions nucléaires qui permettent de justifier l'émission des rayonnements β^- et γ .
- 2) Effectuer 100 mesures du nombre d'impulsion exactement dans les mêmes conditions($\Delta t = 10s$).
- 3) Déterminer les fréquences $F(x_i)$ d'observation des valeurs x_i et tracer $F(x_i)$ en fonction de x_i .
- 4) Calculer la valeur moyenne $\bar{x} = \frac{\sum_i x_i F(x_i)}{\sum_i F(x_i)}$, donner le résultat sous la forme $\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
- 5) Calculer la variance et l'écart type de la distribution expérimentale. Comparer ce dernier à l'écart type de la distribution de Poisson.

| Comptage Geiger N / Imp $\Delta t=105$ N=100 mesures | | X_i | Distribution de fréquence | Moyenne = moyenne (B2:B) | Distribution de Poisson |
|---|----------|-------|---------------------------|---|------------------------------------|
| X_i | $F(X_i)$ | | | $\bar{X} = \frac{\sum_i X_i F(X_i)}{\sum_i F(X_i)}$ | $P(x) = \frac{m^x}{x!} e^{-m} * N$ |
| 1 | 1 | 4 | 2 | 2 | 0 |
| 2 | 2 | 4 | 0 | 3 | 1 |
| 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| | | | | | |
| 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| 5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 |
| 1 | 3 | 6 | 3 | 2 | 5 |
| 5 | 0 | 1 | 3 | 4 | 6 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 4 | 7 |
| 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | |
| 1 | 6 | 3 | 3 | 2 | |
| 5 | 7 | 1 | 1 | 2 | |
| 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | $N = \sum_i F(X_i) =$ |
| 3 | 1 | 4 | 2 | 1 | |
| 2 | 4 | 4 | 1 | 1 | |
| 2 | 2 | 3 | 0 | 1 | |
| 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | |
| 3 | 2 | 4 | 2 | 1 | |
| 0 | 3 | 5 | 0 | 2 | |
| 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | |
| 0 | 3 | 2 | 1 | 2 | |

2- Caractéristique du compteur Geiger Müller

Pour utiliser un compteur Geiger Müller, il faut au préalable déterminer son point de fonctionnement. Dans ce but, tracer sur une feuille de papier millimétré la caractéristique du compteur GM en mesurant le taux de comptage N en fonction de la tension V. Vous effectuerez une série de mesures tous les 50 V pour des valeurs allant de Vs à V_{MAX} = V.

Comptage N Δt=10s

| Tension V(volt) | N1 | N2 | N3 | N moyenne | |
|-----------------|----|----|----|-----------|--|
| 0 | | | | | |
| 50 | | | | | |
| 100 | | | | | |
| 150 | | | | | |
| 200 | | | | | |
| 250 | | | | | |
| 300 | | | | | |
| 350 | | | | | |
| 400 | | | | | |
| 450 | | | | | |
| 500 | | | | | |
| 550 | | | | | |
| 600 | | | | | |
| 650 | | | | | |
| 700 | | | | | |
| 750 | | | | | |
| 800 | | | | | |
| 850 | | | | | |
| 900 | | | | | |
| 950 | | | | | |
| 1000 | | | | | |
| 1050 | | | | | |
| 1100 | | | | | |

Manipulation 2: Fluctuation statistique du détecteur Geiger Miller et vérification de la loi de l'inverse carrée.

L'objectif de cette manipulation et d'étudier la distribution de probabilité gaussienne comme cas particulier de la distribution de Poisson appliquée à des mesures avec une grande valeur moyenne, et vérifier la loi de l'inverse carré source détecteur.

3) Distribution de Gauss

Cette distribution est une approximation de la distribution binomiale lorsque z est très grand et $x \gg 1$. Elle peut s'appliquer à des variables non entières pouvant prendre toute valeur entre $-\infty$ et $+\infty$.

La Probabilité pour que x appartienne à l'intervalle $x, x+dx$ est :

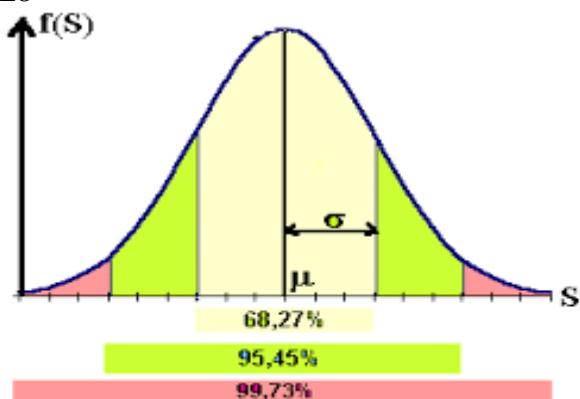
$$P(x)dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

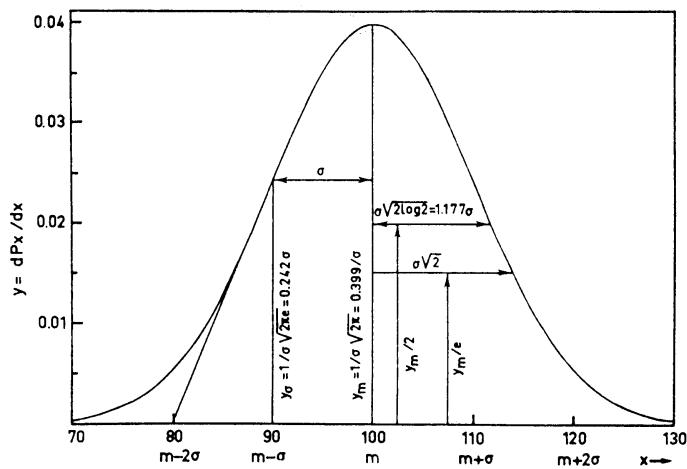
Où μ est la valeur moyenne de la distribution et σ est l'écart type de la distribution.

La distribution de Gauss est représentée sur la figure A pour une valeur moyenne $\mu=100$ et un écart type $=10$.

Propriétés de la distribution de Gauss

-D'après la figure A, la fonction $P(x)$ est asymétrique par rapport à $x=\mu$ (absence du maximum) et présente deux points d'inflexion en $x=\mu \pm \sigma$





-Elle est normalisée à l'unité : $\int_{-\infty}^{+\infty} P(x)dx = 1$

-La largeur à mi-hauteur est donnée par : $\Gamma = 2.345\sigma$

L'écart type σ est tel que :

$$\int_{m-\sigma}^{m+\sigma} P(x)dx = 0.683 \quad \text{et} \quad \int_{m-2\sigma}^{m+2\sigma} P(x)dx = 0.954$$

C'est à dire 68.3% des valeurs de x appartiennent à l'intervalle $x=m\pm\sigma$ et 95.4% à l'intervalle $x=m\pm 2\sigma$ soit :

$$P_u = \int_{m-u}^{m+u} P(x)dx, \text{ la probabilité pour que } x \text{ appartient à } [m-u, m+u]$$

| | | | | | | |
|--------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| $\frac{u}{\sigma}$ | 0.500 | 0.6745 | 1.00 | 1.349 | 2.000 | 3.000 |
| Pu | 0.383 | 0.500 | 0.683 | 0.822 | 0.9545 | 0.9973 |

Autrement dit, si une série de n observations présente une distribution de Gauss de valeur moyenne \bar{x} et de déviation standard σ , on peut dire que 68.3% des observations appartiennent à l'intervalle $[\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma]$. Une observation unique ultérieure a donc également 68.3% de chance d'appartenir à cet intervalle. Généralement, dans le cas d'une observation unique, si la loi de distribution vérifiée par le phénomène est connue, on peut dire que la valeur moyenne exacte m a une probabilité de 0.683 de se trouver dans l'intervalle $x=m\pm\sigma$ avec x la valeur observée.

Le résultat d'une mesure doit être présenté sous forme : $x \pm \sigma$. On parle également de l'erreur probable, qu'on peut définir telle que 50% des observations se trouvent dans l'intervalle $x \pm r$; dans le cas de la distribution de Gauss : $r = 0.6745\sigma$

iv. Comparaison entre l'expérience et la théorie

On effectue un grand nombre N de mesures de la grandeur physique x dont les résultats sont donnés par les valeurs x_i .

Afin de tracer l'histogramme de ces mesures, les valeurs voisines de x_i sont regroupées de manière à obtenir K groupes de largeur $a = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}$ et formés chacun d'un nombre $F(x_i)$ de valeurs voisines de x_i .

L'histogramme de cette distribution est obtenu en traçant $F(x_i)$ en fonction du centre du groupe correspondant.

Les probabilités théoriques $P(x_i)$ seront calculées pour le centre de chaque groupe et le produit $N.a.P(x_i)$ sera comparé à la fréquence expérimentale $F(x_i)$ correspondante.

Le test χ^2 permet de mener une meilleure comparaison entre les distributions théorique et expérimentale.

V. PROPAGATION DES ERREURS

Dans le cas d'une mesure unique (un comptage par exemple) dont le résultat est x on peut dire que $\bar{x} = x$ et selon la valeur de \bar{x} on adopte la distribution de Poisson (pour $x < 20$ par exemple ou celle de Gauss (pour $x > 20$). La variance de la loi est $\sigma^2 = x$.

Dans le cas d'une gaussienne on a 68.3% de chance de trouver la vraie valeur moyenne m dans l'intervalle $x \pm \sqrt{x}$

En général on adopte la valeur $\sigma = \sqrt{x}$ pour exprimer l'erreur statistique sur la mesure x . L'erreur relative est $\frac{\sigma}{x} = \frac{\sqrt{x}}{x} = \frac{1}{\sqrt{x}}$.

Les erreurs statistiques se propagent suivant la règle suivante. Dans le cas où la grandeur est fonction de plusieurs variables x, y, z, \dots dont on fait la mesure avec les variances $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2, \dots$, la variance résultante est :

$$\sigma_U^2 = \left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \dots$$

Exemple:

Voici par exemple le résultat d'un ensemble de mesures de radioactivité effectuées à l'aide d'un compteur Geiger Muller, situé à 10 cm d'une source de césium 137 sur laquelle on a posé un écran d'1 mm de plomb. On compte le nombre de coups pendant une seconde et on remet le compteur à zéro pour la mesure suivante. On peut regrouper ces données sous la forme d'un histogramme, qui permet de visualiser comment sont distribuées ces données :

| Mesure | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Coups par seconde | 15 | 11 | 13 | 17 | 17 | 16 | 8 | 12 | 22 | 25 | 6 | 9 | 9 | 12 | 15 | 17 | 20 | 15 |

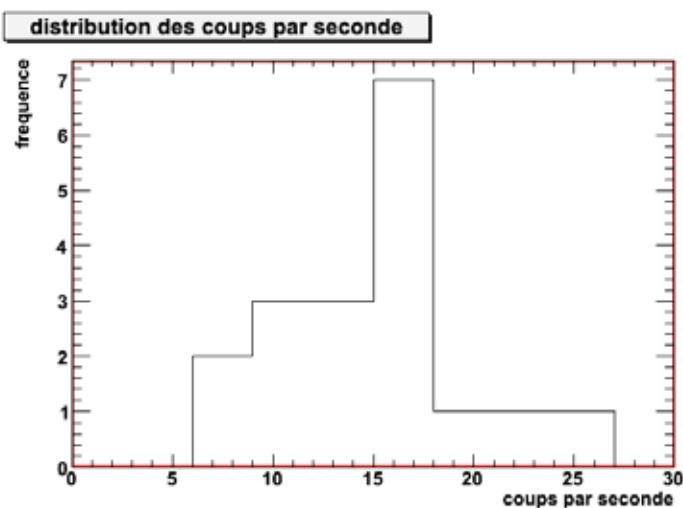
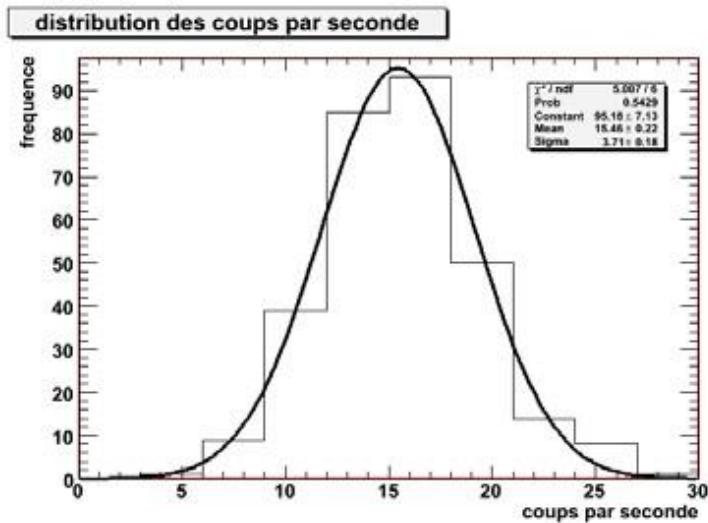


Figure 3 : histogramme fréquentiel des 18 mesures. On a regroupé les mesures dans des divisions correspondant à une plage de 3 coups par seconde. Contenu de la première division : nombre de fois où on a mesure un nombre de coups ≥ 0 et < 3 , 2ème division, nombre de coups $\in [3,6[$,

3ème division, nombre de coups $\in [6,9[$, etc.

Ainsi, à la mesure d'une grandeur physique est associée une distribution de probabilité qui est fixée par la nature de la grandeur et la façon dont on la mesure.

La distribution des grandeurs physiques que l'on mesure est le plus souvent décrite par une courbe de Gauss. **En cumulant 300 mesures**



Manipulation 2: ACTIVITE D'UNE SOURCE RADIOACTIVE :

Distribution de Gauss

En présence d'une source radioactive, le nombre moyen x d'impulsions délivrées par le compteur Geiger Muller pendant un temps Δt , est important ($x \gg 1$).

Cette source contient un très grand nombre n de noyaux radioactifs identiques ; chacun de ces noyaux a une très faible probabilité p de se désintégrer en émettant un rayonnement qui sera détecté par le Geiger-Miller pendant l'intervalle de temps Δt .

En effet $p = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3$.

Avec : p_1 : la probabilité pour qu'un noyau subisse une désintégration pendant l'intervalle de temps Δt .
 p_2 : la probabilité pour que le rayonnement émis par le noyau désintégré atteigne le détecteur.

p_3 : la probabilité pour que le β^- atteignant le détecteur produise une impulsion en le traversant.
 $n \approx 10^{19}$: $p_1 \approx 2 \cdot 10^{-14}$: $p_2 = \frac{d\Omega}{4\pi}$: est de l'ordre de 10^{-2} à 10^{-3} : $p_3 \leq 1$
 On a donc au plus $p \approx 10^{-16}$

Le nombre de rayonnements détectés sera donc $\bar{x} = pn \approx 10^{+3} \ll n$.

La loi de distribution de Poisson peut donc gouverner le phénomène. Mais puisque la condition $x \gg 1$ (car $x \gg 1$) est également réalisée on se trouve dans les conditions d'application de la distribution de Gauss.

1) Placer ne source radioactive Δt (^{137}Cs) près d'un détecteur Geiger Muller porté à une tension convenable de fonctionnement.

2) Choisir un temps de comptage permettant d'obtenir environ 600 impulsions.

3) Effectuer 100 mesures du nombre d'impulsions dans les mêmes conditions.

4) Regrouper les valeurs voisines en K groupes ($k > 10$ est recommandé) et déterminer les fréquences $F(x_i)$ d'observation des valeurs appartenant à l'intervalle $\left[x_i - \frac{a}{2}, x_i + \frac{a}{2} \right]$:

5) Tracer l'histogramme de la distribution expérimentale en portant les $F(x_i)$ en fonction du centre de chaque intervalle.

6) Calculer la moyenne \bar{x} la variance σ^2 et l'écart type de la distribution expérimentale. Donner la moyenne sous la forme $\bar{x} + \sigma_{\bar{x}}$

7) Calculer les probabilités théoriques données par la loi de Gauss de paramètres $m = \bar{x}$ et σ^2 . (m peut ne pas être entier).

8) Comparer les probabilités normalisées $NaP(x)$ avec l'histogramme expérimental.

9) Construire un tableau semblable au précédent.

10) Reprendre les valeurs mesurées dans l'ordre d'apparition, les grouper en 10 séries de 10 valeurs. Calculer la moyenne de chaque série, représenter l'histogramme des moyennes et calculer l'écart type.

11) Conclusion

| Comptage Geiger N / Imp en présence de la source | $X_i = n$ | $F(X_i)$ | $\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_i n_i$ eq $\bar{x} = \frac{\sum_i x_i F(X_i)}{\sum_i F(X_i)}$ | $X_i = n$ | $P(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\bar{n}}} \exp\left[-\frac{(n-\bar{n})^2}{2\bar{n}}\right]$ | $P(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(n-\bar{n})^2}{2\sigma^2}\right]$ |
|--|-----------|----------|---|--------------------|--|--|
| | Moyenne | Minimum | Maximum | Standard deviation | Mean | Standard deviation |
| 49 | 48 | 48 | 46 | 56 | 50 | 5 |
| 50 | 62 | 45 | 42 | 48 | 52 | 10 |
| 52 | 46 | 48 | 47 | 55 | 50 | 5 |
| 49 | 46 | 53 | 42 | 46 | 50 | 5 |
| 51 | 58 | 49 | 73 | 52 | 54 | 10 |
| 44 | 57 | 56 | 53 | 54 | 50 | 5 |
| 49 | 51 | 40 | 46 | 52 | 50 | 5 |
| 50 | 52 | 56 | 50 | 45 | 50 | 5 |
| 46 | 53 | 44 | 56 | 50 | 50 | 5 |
| 56 | 50 | 45 | 43 | 49 | 50 | 5 |
| 47 | 35 | 55 | 41 | 53 | 50 | 5 |
| 40 | 54 | 56 | 72 | 54 | 50 | 10 |
| 56 | 46 | 56 | 42 | 44 | 50 | 5 |
| 46 | 37 | 51 | 58 | 51 | 50 | 5 |
| 51 | 47 | 52 | 40 | 62 | 50 | 10 |
| 57 | 49 | 63 | 53 | 42 | 50 | 5 |
| 45 | 48 | 46 | 51 | 45 | 50 | 5 |
| 54 | 61 | 58 | 49 | 61 | 50 | 10 |
| 52 | 44 | 60 | 50 | 54 | 50 | 5 |
| 51 | 51 | 50 | 55 | 42 | 50 | 5 |

- LOI DE L'INVERSE DU CARRE DE LA DISTANCE

1-OBJECTIF

Les rayonnements gamma sont de nature électromagnétique et obéissent à l'équation classique $E=hc\nu$ avec E : énergie du photon et ν sa fréquence: h est la constante de Planck.

On peut donc avoir une analogie entre une source lumineuse et une source de rayonnement gamma pour expliquer la variation d'un faisceau de rayonnement gamma en fonction de la distance.

On suppose que l'on a une source de lumière qui émet I_0 photons/s et que ces photons sont émis de manière isotrope dans toutes les directions de l'espace. Si l'on place cette source lumineuse au centre d'une couche sphérique d'un matériau transparent, on peut mesurer le nombre de photons lumineux par seconde par cm^2 de la couche sphérique, soit I . Cette intensité est donnée par $I = I_0/S$ avec I_0 : Nombre total de photons/s émis par la source

10. Nombre total de photons/s émis par la source
 S : Surface totale de la sphère en cm^2

S : Surface totale de la sphère en cm²
 On a $S = 4\pi R^2$ avec R : rayon de la sphère

Or $S = 4\pi R^2$ avec R : rayon de la sphère on aura:

$I = I_0/(4\pi R^2)$ du fait que I_0 et 4π sont des constantes alors I varie comme $1/R^2$; loi que l'on va essayer de vérifier

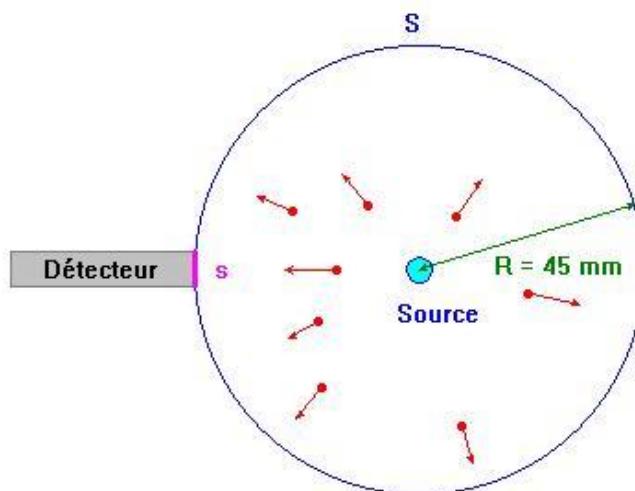
En effet la source rayonne dans toutes les directions de l'espace (les particules sont expulsées dans toutes les directions de l'espace).

- Seules sont détectées les particules qui entrent dans le détecteur par l'ouverture de surface :
- $S_{\text{detec}} = \pi \cdot r^2$
- (r : rayon de la fenêtre d'entrée du détecteur).
- Soit N le nombre de particules émises pendant Δt .
- Ces particules traversent la surface de la sphère de rayon $R = 45\text{ mm}$ et de surface :
- $S_{\text{sphere}} = 4\pi \cdot R^2$

Le nombre N_D de particules détectées est alors tel que

$$\frac{s}{S} = \frac{N_D}{N} \Rightarrow N_D = N \cdot \frac{s}{S} \Rightarrow N_D = N \cdot \frac{\pi \cdot r^2}{4 \pi \cdot R^2}$$

$$N_D = N \cdot \frac{r^2}{4 R^2}$$



2-PROCEDURE EXPERIMENTALE

- 1) Placer la source de Strontium à 1 cm de la fenêtre du détecteur
- 2) Fixer la tension du Geiger-Muller à sa tension de fonctionnement
- 3) Déplacer la source à différentes distances et faire des comptages pendant le même temps que ci-dessus.
- 4) Remplir le tableau ci-dessous:
- 5) Corriger l'activité pour le bruit de fond
- 6) Tracer sur papier millimétré l'activité corrigée en fonction de R: ($A = K/R^2$) K est une constante qui peut être déterminée à partir des valeurs des mesures individuelles du tableau ci-dessus.
- 7) Trouver K pour chaque mesure. Calculer la valeur moyenne de K; $\langle K \rangle$. Quelle est la déviation de chaque valeur de K par rapport à $\langle K \rangle$?

| Distance (cm) | Activité (c/s) | Activité corrigée(c/s) |
|---------------|----------------|------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |

Montrer le caractère aléatoire de la radioactivité et réaliser un traitement statistique à l'aide d'un tableur.

| N / Imp | | | | | | | | | | mouvement propre d'un Geiger Miller pour t=10seconde | | distribution de poisson |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--------------------------------|
| 1 | 4 | 1 | 6 | 1 | 4 | 5 | 2 | 3 | 2 | | | |
| 2 | 1 | 0 | 3 | 6 | 3 | 4 | 5 | 4 | 2 | | | |
| 5 | 1 | 5 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 7 | 3 | | | |
| 2 | 3 | 3 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | | | |
| 1 | 0 | 2 | 4 | 2 | 3 | 5 | 4 | 5 | 1 | | | |
| 6 | 4 | 1 | 3 | 2 | 4 | 9 | 9 | 2 | 2 | | | |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 8 | 5 | 5 | 3 | 7 | | | |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 0 | 3 | | | |
| 8 | 2 | 2 | 5 | 4 | 2 | 4 | 6 | 3 | 3 | | | |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 2 | 4 | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | |

- 1) Quelles sont les particules émises lors de la désintégration du césium 137 ?
- 2) Ces particules interagissent-elles de la même façon dans la matière ?
- 3) Que doit-on faire si on veut que le compteur GM soit atteint uniquement par des photons ? (la réponse est à chercher dans l'interaction des particules avec la matière...)
- 4) Soit a_0 l'activité de votre source de césium au 1/01/17
 - a. montrer la relation entre la période T et la constante de désintégration λ ?
 - b. Quelle est l'activité a_t de la source le jour du 1/01/18?
 - c. De combien l'activité a-t-elle diminué le jour de l'expérience ? (en pourcentage)
- 5) De combien va-t-elle diminuer au cours d'une séance de TP de 4 heures

Exercice sur les mesures aléatoire du Geiger Miller : loi de Gauss

Lors des différentes expériences, on va enregistrer un certain nombre de coups (d'impulsions). On cherche dans cet exercice, à évaluer l'incertitude sur la mesure du nombre d'impulsions.

Pendant un temps δt , on enregistre x impulsions. Comme vous pourrez le constater lors des expériences, deux mesures répétées dans les mêmes conditions expérimentales ne donnent pas le même résultat.

Cela est dû au caractère aléatoire des désintégrations radioactives. La principale incertitude sur la mesure est donc statistique. Afin de pouvoir la déterminer, on fait l'hypothèse que nos mesures sont distribuées selon une loi de Gauss (on vérifiera cette hypothèse en pratique).

Comment doit-on choisir l'incertitude Δ en fonction de l'écart type pour que l'intervalle $m \pm \Delta$ contienne :

- a) 68,3 % des mesures, (mesure à 68,3% de degré de confiance)
- b) 95,4 % des mesures. (mesure à 95,4% de degré de confiance)

N / Imp pour une source de Sr90 pour une durée de 10seconde
Distribution de Gauss

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 140 | 151 | 133 | 144 | 172 | 144 | 143 | 154 | 153 | 122 |
| 155 | 157 | 148 | 157 | 156 | 146 | 150 | 154 | 132 | 171 |
| 159 | 160 | 152 | 144 | 158 | 170 | 135 | 140 | 149 | 164 |
| 159 | 159 | 146 | 122 | 136 | 136 | 153 | 141 | 165 | 130 |
| 171 | 134 | 153 | 138 | 134 | 142 | 156 | 159 | 152 | 123 |
| 154 | 151 | 144 | 128 | 138 | 143 | 132 | 164 | 145 | 138 |
| 173 | 125 | 165 | 139 | 154 | 138 | 133 | 136 | 154 | 162 |
| 170 | 159 | 162 | 156 | 140 | 142 | 133 | 139 | 146 | 129 |
| 168 | 182 | 147 | 152 | 147 | 166 | 118 | 164 | 153 | 139 |
| 154 | 143 | 142 | 150 | 156 | 150 | 150 | 153 | 130 | 152 |

