

Perte d'énergie des particules α dans l'air

Mona Dentler, Sabine Engelhardt
Université Joseph Fourier, Grenoble
23 novembre 2011

Le but de cette TP est de connaître la perte d'énergie des particules α dans l'air. Nous avons eu deux sources une source d'Americium 241 (^{241}Am) et une source de Plomb 212/ Bismuth 212 (^{212}Bi) pour étudier des particules α différentes. L' α perd son énergie par ionisation des atomes de la matière, ici l'air. La perte est proportionnelle au carré de la charge et à la masse de l'*alpha* et varie beaucoup avec la vitesse d' α . Plus l' α est lente plus de temps il passe dans l'atome et ça augmente la chance d'une interaction. Si l'ionisation est très intense, le trajet de la particule est très court.

Dans ce TP nous allons étudier le spectre des α émis par les deux sources, calibrer le dispositif expérimental pour ensuite mesurer le pouvoir d'ionisation des α . C'est réalisé par la mesure de la longueur du trajet des α dans l'air.

Table des matières

1 Etude des sources	3
1.1 La source $^{241}_{95}\text{Am}$	3
1.2 La source $^{212}_{83}\text{Bi}$	4
2 Dispositif expérimental	6
2.1 Enceinte à vide	6
2.2 Détecteur et préamplificateur	6
2.3 Logiciel	7
3 Expériences préliminaire	7
3.1 Etude de la réponse du détecteur	7
3.1.1 Caractéristique du détecteur	7
3.1.2 Largeur de la zone active en fonction de la tension	8
3.2 Calibration des résultat	9
3.3 Simulation de la perte d'énergie	10
4 Mesure de l'atténuation des particules alpha dans l'air	10
4.1 La source $^{241}_{95}\text{Am}$	11
4.2 La source $^{212}_{83}\text{Bi}$	12
4.3 La source $^{212}_{82}\text{Po}$	12
4.4 Interprétation	13
5 Pic de Bragg	13
6 Conclusion	14

1 Etude des sources

1.1 La source $^{241}_{95}\text{Am}$

La période de l' $^{241}_{95}\text{Am}$ est 432,6 ans et ce noyau se désintègre vers le $^{237}_{93}\text{Np}$. A presque 100 % des désintégration sont des désintégration α , seule $4,3 \cdot 10^{-10} \%$ se fait par fission spontanée.

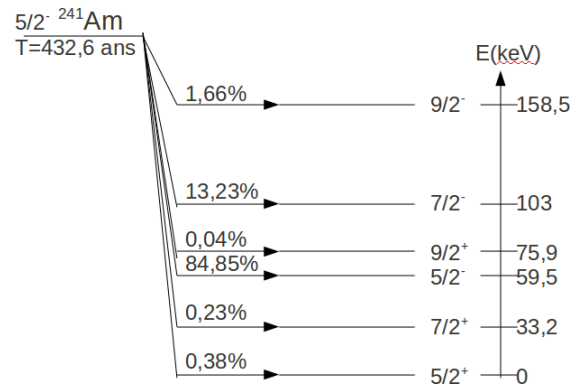


FIGURE 1: Schéma de désintégration de l' $^{241}_{95}\text{Am}$

L'énergie libérée Q par la désintégration est équivalent à la différence d'énergie causé par le défaut de masse entre les particules. Alors l'énergie cinétique T des trois α principaux se calculent comme suivante :

$$Q = \Delta E^{Einstein} = \Delta M \cdot c^2 = [M(^{241}\text{Am}) - M(^{237}\text{Np}) - M(^4\text{He})] c^2 \approx 5,638 \text{ MeV}$$

avec $M(^{241}\text{Am}) = 241,0568229 \text{ uma}$, $M(^{237}\text{Np}) = 237,0481673 \text{ uma}$,
 $M(^4\text{He}) = 4,0026032 \text{ uma}$ et $1 \text{ uma} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$.

L'énergie Q^* des désintégrations vers les états excités s'y calcule par $Q^* = Q - E^*$.

La conservation de la quantité de mouvement implique

$$m(\alpha)T(\alpha) = m(\text{Np})T(\text{Np})$$

En outre la conservation de l'énergie totale a pour conséquence

$$Q = T(\text{Np}) + T(\alpha)$$

On trouve donc pour l'énergie cinétique d'une particule α ^4_2He

$$T(\alpha) = \frac{m(\text{Np}) \cdot Q^*}{m(\alpha) + m(\text{Np})}$$

Les trois α principaux sont ceux avec la plus grande possibilité d'être émis, ici ce sont les α émis par la désintégration vers $^{237}\text{Np}^* 5/2^-$ avec 84,85 %, la désintégration vers $^{237}\text{Np}^* 7/2^-$ avec 13,23 % et la désintégration vers $^{237}\text{Np}^* 9/2^-$ avec 1,66 %. Alors on trouve pour leur énergie cinétique

$$T_{5/2^-} = 5,413 \text{ MeV}$$

$$T_{7/2^-} = 5,370 \text{ MeV}$$

$$T_{9/2^-} = 5,316 \text{ MeV}$$

1.2 La source $^{212}_{83}\text{Bi}$

Le $^{212}_{83}\text{Bi}$ fait partie de la chaîne radioactive du Thorium 232. Car le $^{212}_{83}\text{Bi}$ n'a qu'une période de 60,5 min, la source a été apporté par un technicien pendant la TP. Le $^{212}_{83}\text{Bi}$ se désintègre vers le Thalium $^{208}_{81}\text{Tl}$ en émettant des particules α ^4_2He et vers le Polonium $^{212}_{84}\text{Po}$ par désintégration β^- comme le schéma suivant le montre.

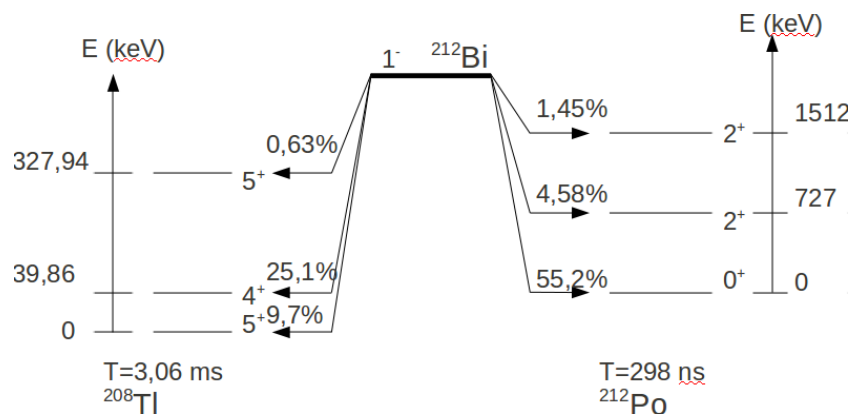


FIGURE 2: Schéma de désintégration du $^{212}_{83}\text{Bi}$

On peut se poser la question pourquoi la désintégration du $^{212}_{83}\text{Bi}$ vers l'état fondamental est plus probable que vers le deuxième état excité parce qu'ils ont tous les deux le même moment angulaire et la même parité 5^+ . C'est assez facile à comprendre car les atomes vont avoir un état énergétiquement favorable, c'est à dire un état stable. Comme l'état fondamental est le plus stable des deux états la désintégration vers l'état fondamental est préféré.

Le Polonium $^{212}_{84}\text{Po}$ fait à son tour par 100 % la désintégration α vers le plomb $^{208}_{82}\text{Pb}$ avec une période de $T = 298$ ns. Cette période est très courte à cause de la préférence d'un noyau avec un nombre magique. Le $^{208}_{82}\text{Pb}$ est un noyau double magique avec le nombre magique 84 pour les protons et le nombre magique 126 pour les neutrons. Alors ce noyau est fortement favorisé du noyau de ^{212}Po .

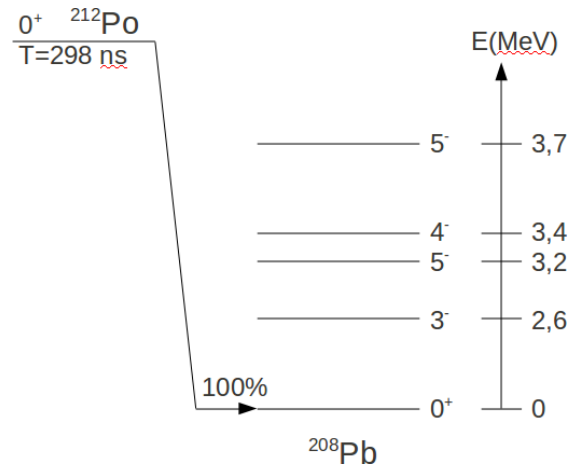


FIGURE 3: Schéma de désintégration du $^{212}_{84}\text{Po}$

Les trois α principaux de la désintégration du ^{212}Bi sont deux α de la désintégration vers le ^{208}Tl et l' α de la désintégration du ^{212}Po . Pour 100 désintégration du ^{212}Bi environ 90 particules α sont émis et nous avons calculé l'énergie cinétique des trois α principaux.

$$Q_{5^+}(\text{Bi}) = [M(^{212}\text{Bi}) - M(^{208}\text{Pb}) - M(^4\text{He})] c^2 \approx 6,154 \text{ MeV} \quad \text{avec } 9,7 \%$$

$$\rightarrow T_0(\alpha) = 6,042 \text{ MeV}$$

$$Q_{4^+}(\text{Bi}) = Q_0 - E_{4^+}^* = 6,114 \text{ MeV} \quad \text{avec } 25,1 \%$$

$$\rightarrow T_{2^+}(\alpha) = 6,004 \text{ MeV}$$

$$Q_{0^+}(\text{Po}) = [M(^{212}\text{Po}) - M(^{208}\text{Pb}) - M(^4\text{He})] c^2 \approx 8,954 \text{ MeV} \quad \text{avec } 55,2 \%$$

$$\rightarrow T_0(\alpha) = 8,785 \text{ MeV}$$

avec $M(^{212}\text{Bi}) = 211,9912715 \text{ uma}$, $M(^{208}\text{Tl}) = 207,9820047 \text{ uma}$, $M(^{212}\text{Po}) = 211,9888518 \text{ uma}$, $M(^{208}\text{Pb}) = 207,9766359 \text{ uma}$, $M(^4\text{He}) = 4,0026032 \text{ uma}$ et $1 \text{ uma} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$.

2 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental se compose d'une enceinte à vide et ses accessoires, un détecteur relié à un préamplificateur et un analyseur multicanal. Le signal est enregistré sur l'ordinateur par un logiciel très simple.

2.1 Enceinte à vide

Dans l'enceinte à vide se trouve le détecteur et un sélecteur de source pour que nous n'ayons pas dû toucher les sources nues α ce qui est très dangereux et peut causer de cancer. En plus il y a une pompe pour faire le vide et un système de vanne et de fuite micrométrique pour faire rentrer l'air précisément. Un jaugage capacitif calibré par un jaugage Pirani très précis mesure la pression dans l'enceinte avec une précision de 0,2 %.

2.2 Détecteur et préamplificateur

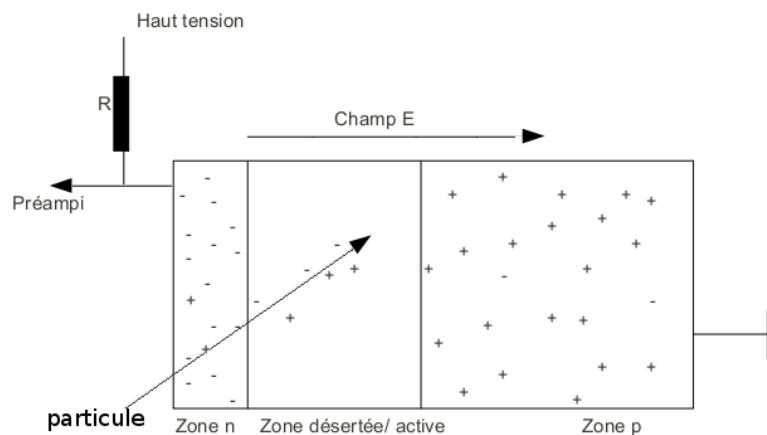


FIGURE 4: Schéma d'un détecteur semi-conducteur

Le détecteur est un détecteur semi-conducteur et consiste d'une jonction Si(Li) avec une barrière de surface. Un détecteur semi-conducteur a trois parts : une zone chargée négative n, une zone chargée positive p et une zone neutre, la zone active ou désertée. La largeur de cette dernière zone est réglée par haute tension, la tension de polarisation. Comme si la jonction est assimilable à un condensateur plan dont la distance est égale à la zone désertée. Donc ce condensateur est de même d'amplitude que la tension reliée. Le préamplificateur de charge supprime ce problème. Il est relié à un module de mise en forme qui fournit un signal de l'amplitude proportionnel à la charge collectée dans la jonction du détecteur indépendamment de la capacité.

2.3 Logiciel

Un amplificateur entre le préamplificateur et l'analyseur d'amplitude donne la possibilité d'ajuster le signal à une valeur connue. L'analyseur d'amplitude est relié à l'ordinateur où un logiciel montre le signal en fonction de l'énergie d' α . Ce logiciel n'est pas calibré alors il faut le faire soi-même et il permet de choisir le temps de la mesure et un seuil qui était mis à 200 mV.

3 Expériences préliminaire

3.1 Etude de la réponse du détecteur

3.1.1 Caractéristique du détecteur

Nous avons utilisé le logiciel «Astar » pour avoir une estimation de l'énergie maximale pour laquelle la particule perd toute son énergie. Les énergies utilisées pour les calculations du Total Stopping Power et du Projected Range étaient les plus probables des désintégration. La première mesure était faite pour le détecteur donc le matériel donné est Silicium, la deuxième mesure était faite pour l'air.

Silicium

Désintégration	Energie cinétique [MeV]	Total Stp. Pow. [$\frac{MeVcm^2}{g}$]	Projected Range [$\frac{g}{cm^2}$]
Am	5,413	584,6	0,00625
Bi	6,004	546,7	0,00792
Po	8,785	411,1	0,01313

Pour le détecteur on a donné une valeur de $1,5 \text{ cm}^2$, donc les énergies maximales se calculent comme suivante

$$\begin{aligned}
 E_{max}(Am) &= \text{Total Stp. Power} \cdot 1,5 \text{ cm}^2 = 876,9 \text{ MeV} \\
 E_{max}(Bi) &= 820,05 \text{ MeV} \\
 E_{max}(Po) &= 616,65 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

La densité du Silicium est $\rho = 2,336 \frac{g}{cm^3}$, alors on trouve pour les trajets maximaux dans le détecteur

$$\begin{aligned}
 x_{max}(Am) &= \frac{\text{Projected Range}}{\rho} = 26,76 \mu\text{m} \\
 x_{max}(Bi) &= 33,92 \mu\text{m} \\
 x_{max}(Po) &= 56,21 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

TODO rausfinden Spannung...

Air

Désintégration	Energie cinétique [MeV]	Total Stp. Pow. [$\frac{MeVcm^2}{g}$]	Projected Range [$\frac{g}{cm^2}$]
Am	5,413	718,0	0,00491
Bi	6,004	669,3	0,00574
Po	8,785	509,5	0,01055

Pour l'air seulement les trajets maximale sont intéressant et la densité de l'air dans l'atmosphère ambiante est $\rho \approx 0,00129 \frac{g}{cm^3}$

$$\begin{aligned}
 x_{max}(Am) &= \frac{\text{Projected Range}}{\rho} = 38,06 \text{ mm} \\
 x_{max}(Bi) &= 44,50 \text{ mm} \\
 x_{max}(Po) &= 81,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nous avons que la distance maximale entre la source et le détecteur est 45 mm, donc nous avons seulement la chance de détecter les pic de Bragg de la désintégration du Am et du Bi vers Tl.

3.1.2 Largeur de la zone active en fonction de la tension

Pour comprendre le comportement du détecteur en fonction de la tension, nous avons lancé une série de mesure. Nous avons choisi une tension de 0 V, 25 V, 50 V et 80 V et nous avons mesurer à une pression de 0,78 mbar pendant 30 s par mesure. Nous avons aussi calculé la résolution en énergie $\frac{\Delta E}{E}$ en usant le savoir que la position du pic est proportionnel à l'énergie.

Résultat

tension[V]	n° de particules	Position	Largeur du pic
0	$2545,3 \pm 50,45$	$1295,22 \pm 3,21$	$14,36 \pm 0,26$
25	$2154,9 \pm 46,42$	$1664,71 \pm 0,27$	$6,34 \pm 0,18$
50	$1838,12 \pm 42,87$	$1676,8 \pm 0,28$	$4,93 \pm 0,18$
80	$2028,32 \pm 45,04$	$1678,01 \pm 0,21$	$4,94 \pm 0,14$

L'intégrale du pic correspond à la nombre des particules mesurées et sa largeur à l'écart-type de la position.

On voit bien qu'on a la plus petite erreur des énergies avec la tension de 80 V. C'est celui que nous avons utilisé pour tous les mesures suivantes.

Explication On a vu qu'il est nécessaire que l'énergie des α est totalement perdue dans la zone desertée pour avoir un résultat exact. La zone agrandi proportionnellement à la tension de polarisation.

3.2 Calibration des résultat

Le logiciel «Spectro TP» ne donne que la position des pics, mais on ne sait pas à quoi ça correspond, alors il faut le calibrer. Ainsi nous avons fait une mesure pour chaque source avec une tension de 80 V et une pression de 0,78 mb en comptant pendant 300 s pour avoir une mesure précise. Donc la pression est très petite on peut admettre que le trajet est zéro et en résulte que l'énergie des α donné au détecteur correspond à leur énergie maximale.

Résultat

Pic	Energie [MeV]	Position	Résolution	Nb de particules
Bi(Tl)	6,114	$1868,94 \pm 0,25$	$8,36 \pm 0,25$	$1215,24 \pm 34,86$
Bi(Po)	8,785	$2752,96 \pm 0,12$	$4,58 \pm 0,08$	$2335,28 \pm 48,32$
Am	5,433	$1662,27 \pm 0,1$	$13,52 \pm 0,06$	$23528,39 \pm 153,39$

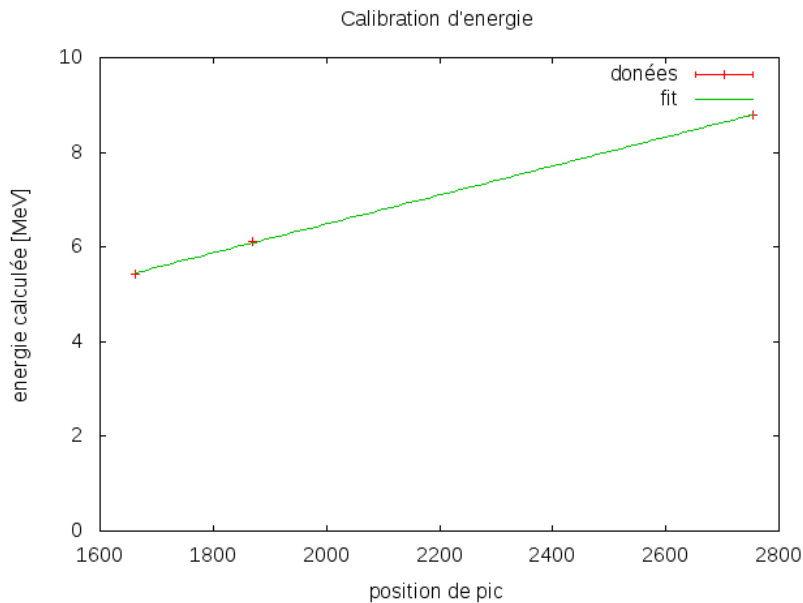


FIGURE 5: fitparameter : $a = 0.00305786 \pm 4.301 \cdot 10^{-5}$ $b = 0.371954 \pm 0.09235$

Nous savons l'énergie des α et la position de pic, en faisant la supposition que l'augmentation de la position de pic est linéaire à l'augmentation de l'énergie nous avons fait un fit en utilisant le logiciel «Gnuplot» qui applique la méthode des moindres carrés. On trouve pour

les coefficients a et b les valeurs

$$a = 0.00305786$$

$$b = 0.371954$$

$$\rightarrow E_{\text{calibration}} = 0.00305786 \cdot E + 0.371954$$

3.3 Simulation de la perte d'énergie

Nous avons lancé une simulation avec le logiciel «SRIM »pour savoir quoi attendre. Nous avons pris pour la simulation un trajet de 45 mm (la distance maximale entre la source et le détecteur) dans l'air.

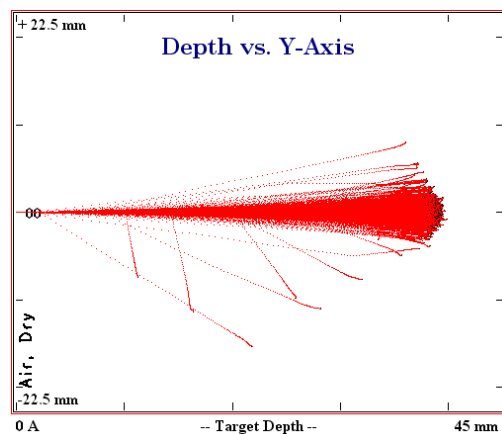


FIGURE 6: Simulation avec une énergie de 5 MeV pour l' ^{241}Am

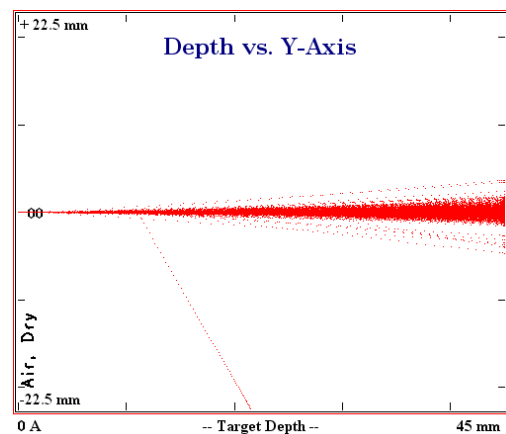


FIGURE 7: Simulation avec une énergie de 7 MeV pour le ^{212}Bi

On va bien que les particules α de l' ^{241}Am n'arrivent pas au détecteur au contraire aux particules α du ^{212}Bi . Cela veut dire pour nous qu'il faut absolument mesurer l' ^{241}Am car là nous trouverons bien le pic de Bragg. Pour le ^{212}Bi il fallait mesurer encore des trajets plus longs qui n'étaient pas possible avec notre dispositif expérimental. Car nous avons pris à peu près le moyenne des énergies possible pour le ^{212}Bi c'est possible de trouver le pic de Bragg pour les désintégrations vers le ^{208}Tl avec une énergie d'environ 6 MeV.

4 Mesure de l'atténuation des particules alpha dans l'air

Pour calculer l'énergie des particules en fonction de la position nous avons fait la calibration, donc $E = 0.00305786 \cdot E + 0.371954$.

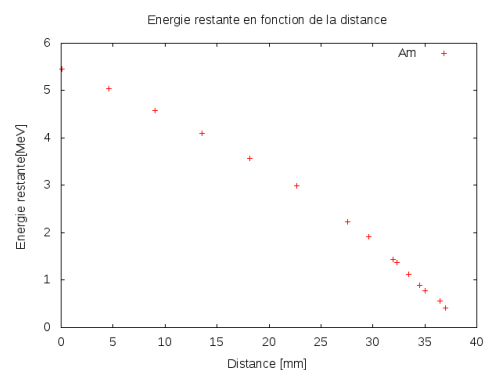
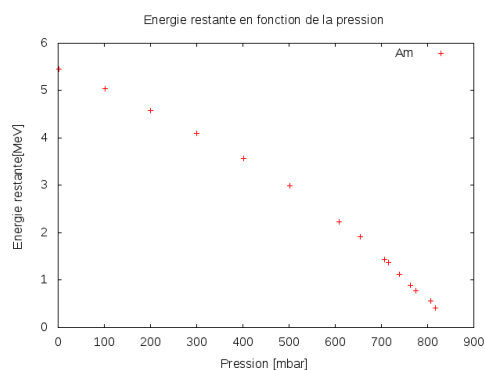
La distance parcouru depend de la pression dans l'enceinte à vide. Le dispositif expérimental est construit ainsi que la distance entre le détecteur et la source est fixé à $x_0 = 45$ mm. Donc on modifie la pression d'air à l'intérieur de l'enceinte à vide pour simuler des distances différentes. L'équation des gaz parfaits $p \cdot x \cdot A = N \cdot R \cdot T$ nous indique que la pression p et la distance x sont inversement proportionnelles, il en résulte pour la distance $x = x(p)$ avec la pression ambiante $p_0 = 994,66$ mbar mesuré ce jour

$$x = \frac{p}{p_0} \cdot x_0 = p \cdot \frac{45 \text{ mm}}{994,66 \text{ mbar}} \approx 0,0045 \frac{\text{mm}}{\text{mbar}} \cdot p$$

4.1 La source $^{241}_{95}\text{Am}$

La temps de mesure était 20 s et la tension était comme avant à 80 V.

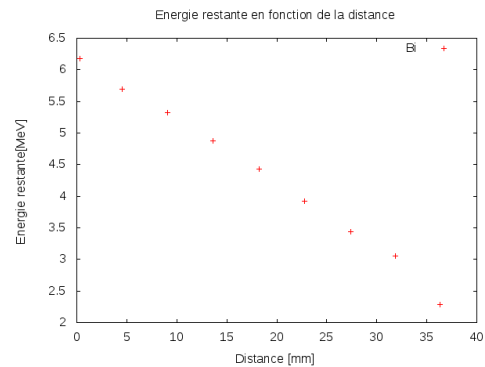
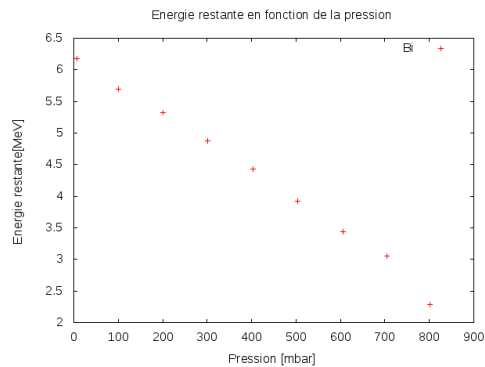
Position	Energie [MeV]	Nb de particules	Pression[mbar]	Distance parcouru [mm]
1660,020 \pm 0,250	5,448 \pm 0,373	1486,168 \pm 38,55	1,62	0,073
1525,790 \pm 0,290	5,038 \pm 0,373	1542,360 \pm 39,270	102,400	4,633
1374,820 \pm 0,330	4,576 \pm 0,373	1600,780 \pm 40,010	199,700	9,035
1216,610 \pm 0,400	4,092 \pm 0,373	1674,840 \pm 40,920	300,50	13,595
1044,070 \pm 0,520	3,565 \pm 0,374	1664,610 \pm 40,800	401,30	18,155
855,900 \pm 0,590	2,989 \pm 0,374	1695,650 \pm 40,740	501,08	22,670
609,860 \pm 0,720	2,237 \pm 0,374	1615,090 \pm 40,190	608,70	27,539
503,980 \pm 0,860	1,913 \pm 0,375	1511,560 \pm 38,800	653,90	29,583
349,350 \pm 1,17	1,440 \pm 0,376	1341,700 \pm 36,630	706,30	31,954
329,750 \pm 1,16	1,380 \pm 0,376	1402,570 \pm 37,450	714,65	32,332
247,170 \pm 1,000	1,128 \pm 0,375	1525,440 \pm 39,050	738,80	33,424
172,240 \pm 1,36	0,899 \pm 0,376	1475,010 \pm 38,410	762,20	34,483
134,430 \pm 1,3	0,783 \pm 0,376	1290,850 \pm 35,930	774,50	35,040
63,460 \pm 1,48	0,566 \pm 0,484	474,960 \pm 21,310	806,39	36,482
14,740 \pm 1,3	0,417 \pm 0,376	1290,900 \pm 35,920	817,30	36,976
0	0,372 \pm 0,372	14	850	38,455



4.2 La source $^{212}_{83}\text{Bi}$

La temps de mesure était 30 s et la tension était comme avant à 80 V.

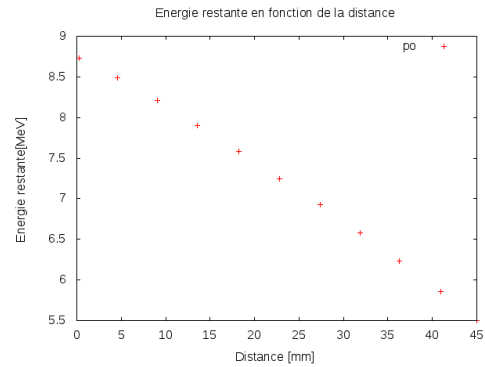
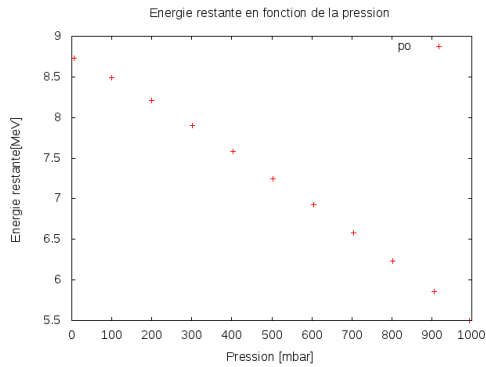
Position	Energie [MeV]	Nb de particules	Pression[mb]	Distance parcouru [mm]
$1899,94 \pm 0,63$	$6,182 \pm 0,374$	$242,96 \pm 15,59$	6,43	0,291
$1741,73 \pm 0,85$	$5,698 \pm 0,375$	$253,24 \pm 25,11$	100,7	4,556
$1619,05 \pm 1,40$	$5,323 \pm 0,376$	$177,23 \pm 13,21$	200,42	9,067
$1474,60 \pm 1,61$	$4,881 \pm 0,377$	$235,10 \pm 15,33$	300,6	13,600
$1326,71 \pm 1,59$	$4,429 \pm 0,377$	$226,68 \pm 15,06$	403,7	18,264
$1161,31 \pm 2,08$	$3,923 \pm 0,378$	$234,92 \pm 15,32$	503,7	22,788
$1001,36 \pm 4,30$	$3,434 \pm 0,385$	$297,97 \pm 17,26$	605,2	27,380
$875,52 \pm 86,51$	$3,049 \pm 0,728$	$3526,06 \pm 59,38$	705	31,895
$626,78 \pm 71,36$	$2,289 \pm 0,590$	$987,40 \pm 31,42$	802,1	36,288



4.3 La source $^{212}_{82}\text{Po}$

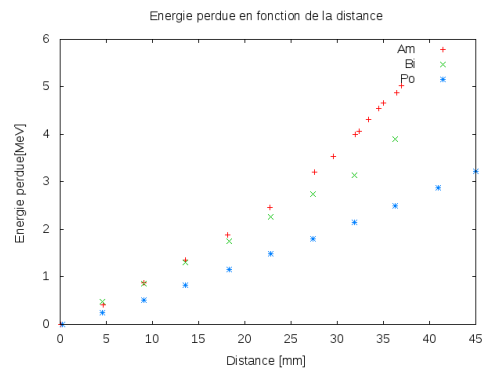
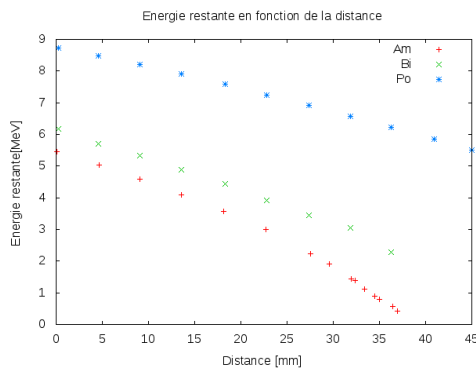
La temps de mesure était 30 s et la tension était comme avant à 80 V.

Position	Energie [MeV]	Nb de particules	Pression[mb]	Distance parcouru [mm]
$2732,85 \pm 0,23$	$8,729 \pm 0,373$	$412,90 \pm 20,32$	6,43	0,291
$2653,17 \pm 0,36$	$8,485 \pm 0,373$	$460,25 \pm 21,5$	100,7	4,556
$2564,43 \pm 0,45$	$8,214 \pm 0,373$	$445,97 \pm 21,12$	200,42	9,067
$2461,22 \pm 0,6$	$7,898 \pm 0,374$	$429,58 \pm 20,73$	300,6	13,600
$2357,18 \pm 0,73$	$7,580 \pm 0,374$	$379,64 \pm 19,48$	503,7	22,788
$2143,09 \pm 0,95$	$6,925 \pm 0,375$	$387,72 \pm 19,69$	605,2	27,380
$2029,47 \pm 1,17$	$6,578 \pm 0,376$	$309,43 \pm 17,59$	705	31,895
$1916,84 \pm 1,08$	$6,233 \pm 0,375$	$387,17 \pm 19,68$	802,1	36,288
$1793,34 \pm 1,42$	$5,856 \pm 0,376$	$257,10 \pm 16,03$	905,2	40,953
$1678,34 \pm 1,64$	$5,504 \pm 0,377$	$401,01 \pm 29,03$	994,66	45,000



4.4 Interprétation

C'est maintenant intéressant de voir les différence entre les sources et aussi le comportement de la perte d'énergie.



On

voit bien qu'une particule avec une plus grande énergie a un trajet plus long dans le même matériau. C'est remarquable qu'au fin du trajet la perte par distance s'augmente. Si la particule est lente, elle passe plus de temps dans un atome et cela augmente la probabilité d'une interaction. Cette comportement est précisé au part suivant.

5 Pic de Bragg

Pour savoir comment la particule pers son énergie localement il faut faire une calculation sur les mesures. On sait que la particule α a perdu l'énergie $E_{perdue}(l) = \int_0^l \left(-\frac{dE}{dx}\right) dx$.

Nous nous intéressons pour $\left(-\frac{dE}{dx}\right)$ et nous avons usé la méthode suivante pour l'obtenir :

1. Ajuster un polynôme à la courbe de énergie perdue en fonction de la distance
2. Deriver ce polynôme
3. Obtenir le Pic de Bragg en présentant $\left(-\frac{dE}{dx}\right)$

6 Conclusion

Nous avons appris comment lancé une mesure et calibré les dispositifs pour cette mesure. En plus nous avons vu que des particules α déposent leur énergie après un certain trajet parcouru. Cette distance montrée par le pic de Bragg est spécifique pour les α d'une source comme nous avons vu en comparant les deux sources disponibles pour la TP.

Dans la radiothérapie on use ce fait pour détruire des tumeurs. En utilisant des particules α on est sûr de ne détruire que la tumeur car l'alpha interagissent que dans cette petite zone bien défini.

© Mona Dentler et Sabine Engelhardt