

1 実験の目的

ガイガー・ミュラー計数管 (以下,GM 計数管と記す) を利用して放射線元素の崩壊の法則と物質による放射線の吸収について調べる.

2 実験の原理

2.1 放射性元素の崩壊

原子核は陽子と中性子からなっている. 原子核には不安定なものがあり, それらが崩壊して α 線 (He の原子核) や β 線 (電子), γ 線 (電磁波) を放出し安定した原子核になる. このことを放射性元素の崩壊と呼ぶ.

今回の実験で用いる放射性源である $^{137}_{55}\text{Cs}$ (セシウム 137) は

$$^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Cs} + e^- + \bar{\nu}_e \quad (1)$$

(1) のように電子 e^- と中性微子 $\bar{\nu}_e$ を放出して, $^{137}_{56}\text{H}$ (バリウム 137) に崩壊する. このことを β -崩壊という.

2.2 β 線の吸収

β 線が物質を通過するとき, エネルギーを失い減衰していく. β 線の電子 N 個が厚さ dx の物質の層を通過する間に吸収されて減衰する割合 dN/dx は電子数 N に比例し, 比例定数を μ (線吸収係数) を用いると

$$\frac{dN}{dx} = -\mu N \quad (2)$$

(2) と表すことができる. 物質に入射前に N_0 個の電子があったとすれば, 厚さ x の物質層を通過して出てくる電子数は

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x} \quad (3)$$

となる. 物質層の厚さ x の代わりに単位面積当たりの質量 $\rho_s (= \rho x; \rho$ は密度), μ の代わりに質量吸収係数 $\mu_m (= \mu/\rho)$ を用いると, (3) は

$$N(x) = N_0 e^{-\mu_m \rho_s} \quad (4)$$

と表すことができる.

3 実験の方法

3.1 自然係数の測定

放射線源がない状態で GM 計数管のスタンドに何も入れないで, GM 計数管の電源を入れた. 計測時間を 60 s にセットして 60 s の間の係数を合計 20 回測定した.

3.2 β 線の吸収係数の観測

GM 計数管のスタンドの 60 mm のところに放射線源をいれ, その上の 50 mm のところに中央に直径 28.8 mm の穴の開いた板を入れた。計測時間を 60 s にセットして以下の 3 つの測定をした。

1. そのままの状態で, 1 分間の計数値 N を求めた。
2. 厚さ 1mm の Al 板で 50mm の段の板の穴を塞ぎ, 1 分間の計数値 N' を求めた。
3. Al 板を取り出し, Cu 薄板を 0 枚から 1 枚ずつ (最大 5 枚) 入れていき, 各枚数の時の計数値 N_1 を測定した。
4. Ti を 0 枚から 1 枚ずつ (最大 6 枚) 入れていき, 各枚数の時の計数値 N_2 を測定した。

これらをそれぞれ 5 回繰り返し計測した。

4 結果

4.1 自然計数の測定結果

自然計数の測定は 20 回行った。その測定結果は (4.1) のようになった。自然計数の平均 \overline{N}_0 は、 $\overline{N}_0 = 14.7$ と求められた。

表 1: 自然計数の測定結果

計数値	出現回数
8	2
11	2
12	1
13	3
14	2
15	1
16	3
18	2
19	2
20	2

また横軸に計数値 N , 縦軸に計数値 N の出現回数 n をとった棒グラフを図 1 にまとめた。

4.2 β 線の吸収係数の測定結果

まずは, 穴の開いた板のみの場合を測定した。この平均 \overline{N} は $\overline{N} = 506$ と求められた。次に, 厚さ 1mm の Al 板を入れたときについて, 計数値 N' の測定結果は次のようになった。

この平均 \overline{N}' は $\overline{N}' = 127$ となった。この 2 つの結果より, β 線の計数値の平均値 \overline{N}_β は

$$\overline{N}_\beta = \overline{N} - \overline{N}' \quad (5)$$

より $\overline{N}_\beta = 379$ となった。

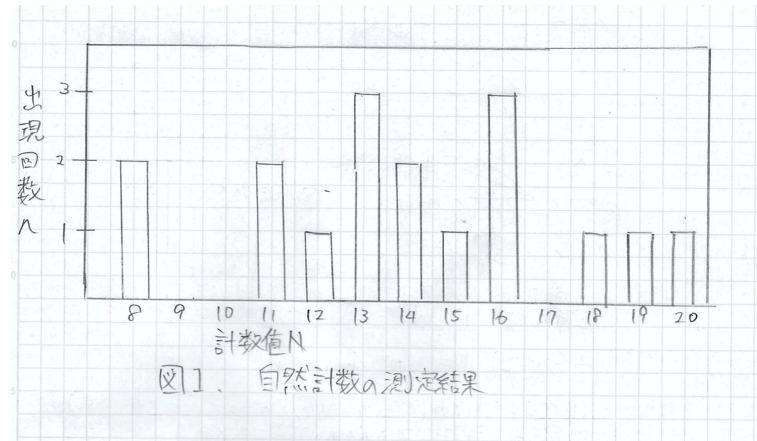


図 1: 自然係数の測定結果

表 2: N の測定結果

測定回数	1	2	3	4	5
N	492	516	518	499	505

4.2.1 Cu 板による吸収の測定結果

5 枚の Cu 板の厚さとその平均値は表 4 のようになった。β 線源の位置 60 mm, 金属板の位置 50 mm, 計数時間 60 s で行った Cu 板の枚数を変えて測定した計数値 N の結果とその平均値 \bar{N} , β 線の計数値 \bar{N}_β とその対数, 標準偏差 σ_β , $\log_e(\bar{N}_\beta - \sigma_\beta)$ と $\log_e(\bar{N}_\beta + \sigma_\beta)$ の計算結果を次の表にまとめた。なお, 標準偏差 σ_β は, 各測定の繰り返しの回数 n として次のように求めた。

$$\sigma_\beta = \sqrt{\frac{\bar{N} + \bar{N}'}{n}} \quad (6)$$

これらをまとめたのが表 5 である。

4.2.2 Ti 板による吸収の測定結果

6 枚の Ti 板の厚さとその平均値は表 6 のようになった。β 線源の位置 60mm, 金属板の位置 50mm, 計数時間 60s で行った Ti 板の枚数を変えて測定した計数値 N の結果とその平均値 \bar{N} , β 線の計数値 \bar{N}_β とその対数, 標準偏差 σ_β , $\log_e(\bar{N}_\beta - \sigma_\beta)$ と $\log_e(\bar{N}_\beta + \sigma_\beta)$ の計算結果を次の表にまとめた。なお, 標準偏差 σ_β は, 各測定の繰り返しの回数 n として次のように求めた。

$$\sigma_\beta = \sqrt{\frac{\bar{N} + \bar{N}'}{n}} \quad (7)$$

これらをまとめたのが表 7 である。この結果より, 片対数グラフを使用して図 2 に横軸が金属板の厚さ, 縦軸に $\log_{10} \bar{N}_\beta$ をとるグラフを作成した。図 2 から傾きを計算すると Cu 板 $-1.12 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$, Ti 板が $-3.095 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ となった。この値は線吸収係数 μ に等しい。Cu の密度は $\rho = 8.96 \text{ g/cm}^3$, Ti

表 3: N' の測定結果

測定回数	1	2	3	4	5
N'	115	138	143	125	114

表 4: Cu 板の厚さの測定結果

n 番目に使った Cu 板	測定回数 /mm					平均 /mm
	1	2	3	4	5	
1	0.007	0.001	0.008	0.006	0.008	0.006
2	0.004	0.003	0.007	0.006	0.007	0.0054
3	0.005	0.003	0.008	0.004	0.008	0.0056
4	0.008	0.002	0.003	0.001	0.002	0.0032
5	0.001	0.002	0.003	0.005	0.003	0.0028

の密度は $\rho = 4.54 \text{ g/cm}^3$ [2] より, Cu の質量吸収線係数 μ_m は

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{112}{8.96} = 12.5... \cong 12.5 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (8)$$

Ti の質量吸収線係数 μ_m は

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{3095}{4.54} = 681.718... \cong 681.72 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (9)$$

と求められた.

5 考察

自然係数の測定結果の図 1 の棒グラフを見て, 現在の計測回数ではポアソン分布らしき形はしている. 計測回数をもっと増やしていくとポアソン分布に収束していくと考えられる.

β 線の吸収の測定結果によると Cu 板の方が厚さあたりの吸収量が多いことがわかった.

参考文献

[1] 電気通信大学, 『基礎物理学実験』 2021 年 p66~76

[2] 国立天文台 『理科年表』 2022 年

表 5: Cu 板における β 線の吸収の測定結果

枚数	厚さ /mm	N	\bar{N}	\bar{N}_β	$\log_e \bar{N}_\beta$	σ_β	$\log_e(\bar{N}_\beta - \sigma_\beta)$	$\log_e(\bar{N}_\beta + \sigma_\beta)$
1	0.007	439,413,430,434,425	428.2	301.2	¥5.7089	10.5476	39.2627	40.6638
2	0.011	388,363,398,372,373	379.6	252.6	¥5.5427	10.0658	35.8658	37.3247
3	0.016	282,310,311,262,303	293.6	166.6	¥5.1166	9.1715	28.8407	30.5329
4	0.024	255,291,240,239,269	258.8	131.8	¥4.8821	8.7841	25.5433	27.3062
5	0.025	217,210,250,238,240	231	104	¥4.6452	8.4617	22.5104	24.4228

表 6: Ti 板の厚さの測定結果

n 番目に使った Ti 板	測定回数 /mm					平均 /mm
	1	2	3	4	5	
1	0.022	0.018	0.012	0.011	0.021	0.0017
2	0.019	0.013	0.021	0.018	0.020	0.0018
3	0.015	0.016	0.011	0.019	0.013	0.0015
4	0.017	0.020	0.019	0.012	0.014	0.0016
5	0.011	0.009	0.009	0.018	0.016	0.0013
6	0.011	0.010	0.012	0.010	0.009	0.0010

表 7: Ti 板における β 線の吸収の測定結果

枚数	厚さ /mm	N	\bar{N}	\bar{N}_β	$\log_e \bar{N}_\beta$	σ_β	$\log_e(\bar{N}_\beta - \sigma_\beta)$	$\log_e(\bar{N}_\beta + \sigma_\beta)$
1	0.022	444,416,466,443,464	446.6	319.6	¥5.7681	27.6803	5.6776	5.8512
2	0.041	371,406,365,380,350	374.4	247.4	¥5.512	17.6324	5.4381	5.5809
3	0.056	316,279,343,309,336	316.6	189.6	¥5.2458	12.9897	5.1776	5.3121
4	0.073	260,276,291,273,240	268	141	¥4.9496	10.1119	4.8752	5.0189
5	0.084	238,234,259,252,260	248	121	¥4.7967	8.5907	4.7230	4.8653
6	0.095	217,210,200,211,213	210.2	83.2	¥4.4197	6.9929	4.3342	4.5949