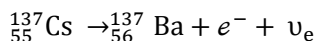


## 1. 目的

ガイガー・ミュラー計数管を用いて、放射性原子(セシウム 137)が放射性崩壊する際に出る放射線を観測し、その実験を通して放射線や放射性物質に対する理解を深める。

## 2. 原理

不安定な原子核は $\alpha$ 線(He の原子核)、 $\beta$ 線(電子)、 $\gamma$ 線(電磁波)を放出して崩壊することでより安定となる。今回の実験で用いるセシウム 137 は $\beta$ 崩壊により電子と中性微子を放出して不安定なバリウム 137 となり、そこから更に $\gamma$ 線を放出して安定なバリウム 137 となる。



また、この崩壊によって、初め $N_0$ 個あった放射性原子が半分の $N_0/2$ 個になる時間 $\tau$ を半減期という。本実験で用いるセシウム 137 の半減期は 30.17 年である。

ガイガー・ミュラー計数管とは、高い電圧をかけた金属円筒の中に放射性粒子が 1 つ入ると 1 つ放電が起き電流パルスが生じることを利用して、そのパルスの数を数えることで設定した時間内にいくつの放射性粒子が計数管を通過したかを計数する装置である。

## 3. 実験方法

### ① 自然計数の測定

- $\beta$ 線源を入れない状態でガイガー・ミュラー計数管(以下 GM 計数管)の電源を入れ、印加電圧調節つまみを回して、電圧指示計が 500V を指すように調整した。
- ゲート切り替えスイッチを 1min にあわせて、スタートボタンを押して測定を開始した。
- リセットボタンを押して、計数値を消したあと、スタートボタンを押してもう 1 度測定した。2 回分の計数値を報告し、同日実験者 10 人分の測定値を本日実験分の自然計数とした。これを測定 I と呼ぶこととした。

### ② $\beta$ 線の計数値の分布の観測

- ベータ線源(セシウム 137)を GM 管スタンドの 100 と書かれた段に入れた。
- ゲート切り替えスイッチを 1s に切り替え、101 回計数値を記録した。これを測定 II と呼ぶ。
- ゲート時間を 1s のまま、333 回測定し記録した。これを測定 III と呼ぶ。
- 測定時間を 2s(1s で 2 回測定し 1 回分とする)として、314 回測定した。これを測定 IV と呼ぶ。

### ③ $\beta$ 線の吸収の測定

- GM 管スタンドの 50 と書かれた段に穴の開いた板をいれた。
- 1mm Al 板を板に載せて、測定時間 1min で 6 回測定した。
- 1mm Al 板を取り出し、測定時間 1min で 6 回測定した。
- マイクロメーターのゼロ点補正を行ったところ、測定値にズレはなかった。
- 薄い Al 板を 1 枚ずつ 5 枚まで入れて、それぞれ測定時間 1min で 6 回ずつ測定した。同時に、入れていったアルミ板の厚さをマイクロメーターで測定した。この測定を測定 V と呼ぶ。
- iv.と同様に、Cu 板を 1 枚ずつ入れていき、測定した。それぞれ、5 回ずつ測定した。また、同様に加えていった銅板の厚さをマイクロメーターで測定した。この測定を測定 VI と呼ぶ。
- 先 2 つの手順と同様に、未知試料の金属板を 1 枚ずつ入れていき、それぞれ 2 回ずつ測定した。また、同じく足していった金属板の厚さをマイクロメーターで測定した。(時間がなかったがこの試料に対して興味があったため無理してやった。実験としての精度は非常に低い。) この測定を測定 VII と呼ぶ。

## 4. 実験結果

### ① 自然計数の測定

- 測定 I で得られた 20 回分の自然計数の計数値を表 1 にまとめた。

表 1. 計数値 N と出現回数 n(測定 I)

計数値	出現回数	計数値	出現回数	計数値	出現回数	計数値	出現回数
29	1	19	2	16	4	11	1
22	1	18	2	14	2	9	1
20	1	17	2	13	2	7	1

ii. 表 1 にまとめた測定 I で得られた 20 回の計数値の平均値  $N_0$  を計算すると 16.2 となる。

iii. また、横軸に計数値、縦軸に出現回数をとったグラフを図 1 として作成しレポート末尾に添付した。

②  $\beta$  線の計数値の分布の観測

i. 測定 II で得られた結果を、テキストにしたがって適切に処理し、表 2 を作成した。

表 2 計数値の分布の実験データ(測定 II)

測定回数 101 回、ゲート時間 1s、線源の位置 100mm

計数値 N	出現回数 $n_N$	出現確率 $n_N/\sum n_N$	計数値と $n_N$ の積 $n_N N$	2乗偏差と $n_N$ の積 $n_N(N - \bar{N})^2$	ポアソン分布 P(N)
1	1	0.01	1	31	0.009
2	4	0.04	8	83	0.030
3	12	0.12	36	152	0.066
4	5	0.05	20	33	0.109
5	17	0.17	85	42	0.143
6	13	0.13	78	4	0.157
7	16	0.15	112	3	0.147
8	10	0.09	80	21	0.121
9	6	0.06	54	36	0.088
10	5	0.05	50	59	0.057
11	9	0.09	99	177	0.034
12	1	0.01	12	30	0.019
13	1	0.01	13	41	0.010
14	0	0	0	0	0.045
15	1	0.01	15	71	0.002
合計	101	1	663	783	1

ii. 横軸に計数値 N、縦軸に出現確率 P(N)をとって棒グラフを書いた。更に、ポアソン分布によって得られた値も書き込んだ。これを図 2 としてレポート末尾に添付した。このグラフにはテキストの図 12.3 にある通りにそれぞれ適当な値を書き込んでおいた。因みに、総回数 101 回、平均値 6.56、その平方根 2.56、標準偏差 2.80 である。

iii. 測定 III で得られた結果を、テキストにしたがって適切に処理し、表 3 を作成した。

表 3 計数値の分布の実験データ(測定 III)

測定回数 333 回、ゲート時間 1s、線源の位置 100mm

計数値 N	出現回数 $n_N$	出現確率 $n_N/\sum n_N$	計数値と $n_N$ の積 $n_N N$	2乗偏差と $n_N$ の積 $n_N(N - \bar{N})^2$	ポアソン分布 P(N)
1	1	0.003	1	27	0.012
2	15	0.045	30	267	0.038
3	29	0.087	87	301	0.080
4	46	0.138	184	227	0.124

5	47	0.141	235	70	0.154
6	48	0.144	288	2	0.160
7	48	0.144	336	29	0.142
8	41	0.123	328	130	0.111
9	29	0.087	261	224	0.076
10	13	0.039	130	186	0.048
11	7	0.021	77	160	0.027
12	5	0.015	60	167	0.014
13	2	0.006	26	92	0.007
14	1	0.003	14	60	0.003
15	1	0.003	15	77	0.001
合計	333	1	2072	2020	0.997

iv. 測定 III について ii.と同様の手順で棒グラフを作成し、ポアソン分布を書き加えて、図 3 として作成してレポート末尾に添付した。因みに、総回数 333 回、平均値 6.22、その平方根 2.49、標準偏差 2.47 である。

v. 測定 IV で得られた結果を、テキストに従って適切に処理して、表 4 を作成した。

表 4 計数値の分布の実験データ(測定 IV)

測定回数 314 回、ゲート時間 2s、線源の位置 100mm

計数値 N	出現回数 $n_N$	出現確率 $n_N/\sum n_N$	計数値と $n_N$ の積 $n_N N$	2乗偏差と $n_N$ の積 $n_N(N - \bar{N})^2$	ポアソン分布 P(N)
1	0	0	0	0	0.00004
2	0	0	0	0	0.00024
3	0	0	0	0	0.00101
4	1	0.0032	4	76.5	0.00321
5	7	0.0223	35	419.9	0.00817
6	5	0.0159	30	227.5	0.01736
7	12	0.0382	84	396.1	0.03161
8	12	0.0382	96	270.2	0.05036
9	26	0.0828	234	364.7	0.07132
10	24	0.0764	240	180.9	0.09089
11	30	0.0955	330	91.4	0.10531
12	28	0.0892	336	15.6	0.11185
13	36	0.1146	468	2.3	0.10966
14	29	0.0924	406	45.7	0.09983
15	32	0.1019	480	162.7	0.08483
16	26	0.0828	416	275.4	0.06757
17	15	0.0478	255	271.5	0.05066
18	14	0.0446	252	386.6	0.03587
19	9	0.0287	171	352.1	0.02406
20	4	0.0127	80	210.5	0.01533
21	3	0.0096	63	204.4	0.00931

22	1	0.0032	22	85.7	0.00539
合計	314	1	4002	4040	0.994

vi. 測定 IV について、ii.と同様に適切にグラフを作成し、レポート末尾に図 4 として添付した。因みに、総回数 314 回、平均値は 12.7、その平方根は 3.57、標準偏差は 3.32 である。

③ β線の吸収の測定

i. Al 板、Cu 板、未知試料の金属板について、実験より得られたデータをテキストにしたがって適切に処理をした。

表 4 β線の吸収の実験データ(Al 板)

試料金属 Al、β線源の位置 100mm、金属板の位置 50mm、測定回数 6 回、β線を遮断した時の計数値 100.7

枚数	厚さ mm	1 分間の計数値 N	平均値 $\bar{N}$	β線計数 値 $\bar{N}_\beta$	対数 $\log_e \bar{N}_\beta$	標準偏差 $\sigma_\beta$	$\log_e(N_\beta - \sigma_\beta)$	$\log_e(N_\beta + \sigma_\beta)$
0 枚	0	342,388,361,366,387,393	372.8	272.2	5.606	21.8	5.523	5.683
1 枚	0.043	254,248,256,269,238,291	259.3	158.7	5.067	19.0	4.939	5.180
2 枚	0.086	205,194,199,203,209,231	206.8	106.2	4.665	17.5	4.484	4.818
3 枚	0.129	185,158,196,162,147,189	172.8	72.2	4.279	16.5	4.019	4.485
4 枚	0.173	158,146,141,173,157,183	159.7	59.0	4.078	16.1	3.758	4.319
5 枚	0.215	159,144,137,141,147,151	146.5	45.8	3.825	15.7	3.405	4.120

表 5 β線吸収の実験データ(Cu 板)

試料金属 Cu、β線源の位置 100mm、金属板の位置 50mm、測定回数 5 回、β線を遮断した時の計数値 100.7

枚数	厚さ mm	1 分間の計数値 N	平均値 $\bar{N}$	β線計数 値 $\bar{N}_\beta$	対数 $\log_e \bar{N}_\beta$	標準偏差 $\sigma_\beta$	$\log_e(N_\beta - \sigma_\beta)$	$\log_e(N_\beta + \sigma_\beta)$
0 枚	0	342,388,361,366,387,393	372.8	272.2	5.606	21.8	5.523	5.683
1 枚	0.038	142,152,176,130,145	149.0	49.5	3.878	15.8	3.482	4.161
2 枚	0.077	103,113,109,95,125	109.0	8.3	2.120	14.5	0	3.127
3 枚	0.117	111,95,100,112,111	105.8	5.1	1.636	14.4	0	2.971
4 枚	0.154	104,112,106,98,103	104.6	3.9	1.369	14.3	0	2.905
5 枚	0.194	118,100,118,82,106	102.8	2.1	0.758	14.3	0	2.797

表 6 β線の吸収の実験データ(未知試料の金属板)

試料金属 未知試料、β線源の位置 100mm、金属板の位置 50mm、測定回数 2 回、β線を遮断した時の計数値 100.7

枚数	厚さ mm	1 分間の計数値 N	平均値 $\bar{N}$	β線計数 値 $\bar{N}_\beta$	対数 $\log_e \bar{N}_\beta$	標準偏差 $\sigma_\beta$	$\log_e(N_\beta - \sigma_\beta)$	$\log_e(N_\beta + \sigma_\beta)$
0 枚	0	342,388,361,366,387,393	372.8	272.2	5.606	21.76	5.523	5.683
1 枚	0.015	148,117	132.5	31.8	3.646	15.3	3.138	3.982
2 枚	0.029	115,116	115.5	14.8	2.697	14.7	-2.035	3.386
3 枚	0.042	97,122	109.5	8.8	2.179	14.5	0	3.150

4枚	0.059	102,107	104.5	3.8	1.344	14.3	0	2.899
5枚	0.074	104,109	106.5	5.8	1.764	14.4	0	3.007

- ii. 3種類について、横軸 $\chi$ 、縦軸 $\log_{10} \bar{N}_\beta$ としてグラフを書き、図5、図6、図7としてレポート末尾に添付した。
- iii. 図5、図6、図7のグラフの傾きより、線吸収係数 $\mu$ 、質量吸収係数 $\mu_m$ を求めたところ、アルミニウムは $\mu = 94\text{cm}^{-1}$ 、 $\mu_m = 34.8\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ で、銅は $\mu = 439\text{cm}^{-1}$ 、 $\mu_m = 49.2\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ で、未知試料は $\mu = 1263\text{cm}^{-1}$ と計算された。
- ④ 自然界に存在する放射性元素とその放出する放射線種や半減期

名称	半減期	放射線種
ウラン 238	$4.468 \times 10^9$ 年	$\alpha$ 線
ラジウム 226	$1.60 \times 10^3$ 年	$\alpha$ 線
ラドン 222	3.8235 日	$\alpha$ 線
トリウム 232	$1.41 \times 10^{10}$ 年	$\alpha$ 線
カリウム 40	$1.28 \times 10^9$ 年	$\beta$ 線

などがある。あまり数を上げては仕方がないと思うのでこれまでとする。

## 5. 考察

### ① 自然計数の測定

とくに検討する項目はない。

### ② $\beta$ 線の計数値の分布の観測

検討する項目は一つ、グラフにおいて標準偏差が平均の平方根に近いほど出現確率の分布とポアソン分布に近いことが期待されるが実際にどうであるかということである。

作成した図2、図3、図4を見比べる。

図2、図3、図4ともに、ポアソン分布は出現確率の分布と似通った傾向を持っている。

3つのグラフの中では図3が最も近く、次に図4、そしてポアソン分布と一番ズレが大きいのが図2であるように見受けられる。

そこで、計算した標準偏差と平均値の平方根を比べてみることにしよう。

すると、図3では標準偏差が2.47で平均値の平方根が2.49である。両者の値は後者が前者の+1%という値であり、実際にグラフを見ても出現確率の分布とポアソン分布は若干のズレはあるものかなり綺麗に一致している。

図4では、標準偏差は3.32、平均値の平方根が3.57である。+7.5%の違いは図3と比べると大きい、それでもなお十分に出現確率の分布とポアソン分布は一致している。

最後に図2について検討する。図2の標準偏差は2.80、平均値の平方根は2.56である。図2では両者の値は-8.6%のズレである。測定回数も101回と少ないためかばらつきが出てしまっている。計数値が3と5が多く出ている代わりに4が少ないなどと前後を埋め合わせて考えればポアソン分布になっていくであろうと見受けられるがこのグラフからだけで判断することは早計であろう。

以上より、少なくとも今回作成したグラフにおいては、標準偏差の値と平均値の平方根の値が近いほど出現確率の分布とポアソン分布がより近い傾向を示していると言える。

### ③ $\beta$ 線の吸収の実験

検討する項目は特にない。

### ④ 自然界に存在する放射性元素とその放射する放射線種や半減期

特に検討すべき項目はない。

## 6. 感想

初回という割にはテンポよく進んだ実験だった。実験書にあった式が明らかに間違っているように思われる点もあったが、周囲に例示されている値などと相互に検証を行って妥当と思われるものを用いた。

簡単に見ていると、基礎科学実験 B と異なり粗が目立つようにも見受けられる。実験書の内容に訂正等があるのであれば、事前に一斉配布ないし、科目の公式サイトで告知すべきであろう。

実験の内容というか、レポートに関してだが、数値の処理とグラフ化がほぼ全てで検討すべき項目などが少なく若干予想外だった。なんと言ってしまうか分からないが、時間内に作業する内容自体が優先されているのだろう。面白くて 5 時限目の教職に間に合うのであればどのような実験でも歓迎だが、そのところは実際どうなっているのだろう。物理実験は終わらないというのがもっぴらの噂であった。だが、一応テーマ 12 に関しては事実無根であったのだろう。だが、今回私が時間通りに実験を終了した後、教職科目の教室へ移動している際に“実験終了”という文字が全く見えていないような実験がいくつかあったようだ。講義時間中に終了しないような実験テーマは設定すべきではないと思うし、終わらないのであれば強制的に終わらせてレポートの項目追加などで対処すべきだ。5 時限目に教職課程の設定があることを忘れてはいけない。参加する権利を優先すべきである。学生の側には時間内に終了できもしない実験に付き合う義理も義務もないことを承知すべきだと思われる。