

放射能・放射線ってなんだろう

1. はじめに

私たちの身の回りにはいろいろなものがあります。そのいろいろなものを作っているのは数えきれないほどの分子で、その数は年々増えているといっても過言ではありません。そうした何千、何万という分子も、その素材となるのは元素で、その数は周期表を思い浮かべれば分かるとおおり、高々100前後です。その100前後の元素のなかでも、原子番号82の鉛より重い元素は放射性元素と呼ばれています。このような放射性元素は時々刻々壊れて（放射性壊変といいます）、放射線を出しながら壊れない元素（安定元素といいます）に変化します。ウランやトリウムは代表的な放射性元素で、身の回りにごくありふれて存在しますが、それ以外にも放射線を出す元素はいくつもあります（例えば、炭素・カリウム）。大げさに言えば、私たちはこのような放射性元素に取り囲まれて生きているわけです。このような放射性元素も元素の仲間ですので、元素やその集合体を調べる化学にとっては大事な相手です。

この実験では、身の回りにある放射性元素に目を向け、そこから出てくる放射線の種類やその量(放射線の強さ)を調べてみましょう。実験に使う試料は当日配りますが、どれも何の制限もなく手に入るものばかりです。放射線とか放射能という言葉にただ漠然と恐怖心のみをもつのではなく、その実体を自然現象としてとらえられる機会になればと思います。

(これまでビスマスがもっとも原子番号の大きい安定元素と思われてきましたが、最近 α 壊変をする放射性元素であることが確認されました。その半減期は 1.9×10^{19} 年です。)

2. 放射線を見よう ー霧箱ー

放射線を直接目で見ることができませんが、荷電粒子である α 線と β 線の飛跡ならば、気体中の霧の生成によって観察することができます。この観察装置を霧箱と呼びます。エチルアルコールの過飽和状態の中を荷電粒子が通過する

と、その通過経路で生成した正、負イオンを核として霧滴が生成されます。したがって、粒子通路に沿って霧滴の列ができ、飛跡として観測することができます。これは、飛行機雲ができる原理と同じです。そこで、霧箱を作って放射線が飛んでいる様子を観察しましょう。

この実験では、トリウム Th を含むガスランタン用マントルを用いて実験を行います。

核種	壊変形式	半減期
^{232}Th	α	1.40×10^{10} 年
\downarrow		
^{228}Ra	β	5.76 年
\downarrow		
^{228}Ac	β	6.15 時間
\downarrow		
^{228}Th	α	1.91 年
\downarrow		
^{224}Ra	α	3.66 日
\downarrow		
^{220}Rn	α	55.6 秒
\downarrow		
^{216}Po	α	0.145 秒
\downarrow		
^{212}Pb	β	10.6 時間
\downarrow		
^{212}Bi	β	1.01 時間
\downarrow		
^{212}Po	α	0.298 マイクロ秒
\downarrow		
^{208}Pb		安定核種

トリウムは天然放射性元素の一つで、上図のように放射性壊変によって多くの放射性核種が生じ、最後には鉛 Pb になって安定になります。質量数はすべて 4 の倍数になっています。壊変によって生じる α 線と β 線を霧箱で観察し、放射線の性質を調べてみましょう。

実験操作

1. ガラス容器の底に黒色のサテンの布を引く。
2. 2~3 ml のエチルアルコールを布に均等にかける。
3. 線源をガラス容器の中央に置き、ラップでふたをする。
4. 発砲スチロールの受け皿に冷却フィンを置き、液体窒素を注ぐ。液量は、フィンが 3 分の 1 ほどつかる程度でよい。

5. 冷却フィンの上にガラス容器を置き，容器を冷やす．
6. この状態で，1～2分ぐらいすると飛跡が見えるようになります．
 - a. 飛跡の様子をスケッチしてみましょう．
 - b. 線源の周りに遮蔽筒を置いてみましょう．筒は，紙とラップでできています．
 - c. 線源を注射器に入れ，約10分後，注射器内の空気を霧箱内に注入してみましょう．注入するまで，針をゴム詮からぬかないこと．

3. 自然になくなる放射能 一半減期を測る一

放射性核種はある一定の時間間隔でその原子数が半分ずつ自発的に減っていきます．この時間を半減期といい，数 μ 秒という非常に短いものや，逆に45億年という非常に長いものもあります．ここでは，霧箱の実験で用いたマントルに含まれている ^{212}Bi を化学分離し，放射能が減っていく様子を観察しましょう．

β 線はGM(ガイガー・ミュラー)計数管を用いた測定器で測定します．気体中の電離作用を利用し，放射線との相互作用で生成したイオン(一次イオン)を高電圧をかけることにより雪崩的にイオン数を増幅して電気信号として計数します．

実験操作

(自然計数の測定)

1-1. 測定時間を10分に設定して，棚板のみ試料箱に置き測定を開始する．

(^{212}Bi の化学分離と測定)

2-1 活性炭粉末約2gをマントル6枚と共に容器に密封し，放置する．[準備してあります]

2-2 1:4 HNO_3 50mlに $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 100mgと $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 100mgを溶解し，加熱する．

2-3 2-2の硝酸溶液に2-1の活性炭粉末を加え，10分間攪拌する．

2-4 濾過して，活性炭を取り除く．

- 2-5 ろ液に Tl^+ 担体溶液を約 1ml 加える。
- 2-6 NaOH 12g を少しづつ加える。白色沈澱が生じるが再び溶解し、最後に黄色沈澱が残る。このときの時刻を記録すること。(溶解後、沈澱が生じなかった場合は、 $Bi(NO_3)_3$ をさらに 100mg 加え、よく攪拌する。黄色沈澱が生成したらそのときの時刻を記録すること。)
- 2-7 沈澱を吸引濾過する。沈澱を少量の 1 mol/l NaOH 溶液で洗浄する。
- 2-8 十分に水分を吸引した後、ろ紙を試料皿に糊ではる。
- 2-9 測定器で測定する。約 1 時間ほど測定を繰り返し続ける。測定開始時刻を記録すること。
- a. 試料の正味計数率を沈澱生成後の経過時間に対して片対数グラフにプロットしてみましょう。
- b. グラフから半減期を求めましょう。

4. 終わりに

この実験では放射線を出す元素の種類を調べることはしません。では元素の種類を調べるにはどうしたらよいのでしょうか？いくつか方法がありますが、簡単に調べるには(といってもそれ相応の実験装置があつての話ですが)、半減期を調べるとともに、出てきた放射線のエネルギーを正確に調べることで、この半減期とエネルギー、2つの情報で放射線を出す元素を割り出すことができます。

いま元素記号の決まっている元素は 109 個あります。そのうち、29 個が放射性元素です。新しい元素が作られるごと、この数はどんどん増えています(現在、原子番号 116 の元素まで作られています)。実は、宇宙のどこかで星が死ぬときに、もっともっと多くの元素が作られている可能性があります。放射性元素というのは宇宙全体で考えれば、ごく当たり前の元素なのだといふことができます。

テキスト作成にあたり、以下の論文を参考にさせていただきました。
森雄兒, 物理教育 43, 269-272(1995). 鎌田正裕他, 化学と教育 45, 33-36 (1997).

ミニ用語解説

放射性壊変 : 原子核が自然に粒子や電磁波を放出して、別の原子核にかわる現象

放射能 : 物質からまったく自発的に放射線が放出される性質。この能力(量)は、単位時間あたりに壊変する原子核の数で表す。1 ベクレル(Bq)は、1 秒間に1 個の原子核が壊変する量。

核種 : 同一の原子番号および同一の質量数をもつ原子種

半減期 : 放射性壊変する核種の寿命を表す方法で、壊変する核種の個数が 1/2 に減少するまでの時間。それぞれの核種は固有の半減期を持っている。

α 線 : 放射線の一種で、 ${}^4\text{He}$ の原子核である。 α 線を放出する放射性壊変を α 壊変という。 α 壊変 : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}(\alpha)$

β 線 : 放射線の一種で、電子(β^-)または陽電子(β^+)である。 β 線を放出する放射性壊変を β 壊変という。このとき、同時に中性微子(ニュートリノ, $\bar{\nu}$)の放出も伴う。

β^- 壊変 : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + e^- + \bar{\nu}$ β^+ 壊変 : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + e^+ + \nu$

γ 線 : 励起状態にある原子核がより低いエネルギー状態へ遷移するときに放出する電磁波。可視光に比べて、非常に波長が短い。 β 壊変や α 壊変と同時に放出されることが多い。