

天然にある放射性元素を調べて見よう

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 83 のビスマスより重い元素は放射性元素と呼ばれていて、安定ではありません。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安定な元素に変化します。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。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。

2. 放射線を見る 霧箱

放射線を直接目で見ることにはできませんが、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。

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		1.40×10^{10} 年
^{228}Ra		5.76 年
^{228}Ac		6.15 時間
^{228}Th		1.91 年
^{224}Ra		3.66 日
^{220}Rn		55.6 秒
^{216}Po		0.145 秒
^{212}Pb		10.6 時間
^{212}Bi		1.01 時間
^{212}Po		0.298 マイクロ秒
^{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、針をゴム栓からぬかないこと。

3. 温泉水中の放射能を測定する

温泉の種類の一つに「放射能泉」があります。この温泉水中には天然放射性元素であるラジウム Ra やラドン Rn が高濃度で含まれおり、日本では、強放射能泉として鳥取県の三朝温泉、島根県の池田鉱泉、岐阜県の恵那鉱泉、そして山梨県の増富温泉などが有名です。ここでは、増富温泉水を用いて実験を行います。増富温泉水にはかなり Rn が含まれており、この放射性壊変により下図のように多くの放射性核種が生じます。本実験では、この中の ^{214}Bi を化学分離し、半減期や放射能を定量してみましょう。(http://www.comp.metro-u.ac.jp/~oura/mukini/に採水場所の写真とQTムービーがあります)

核種	壊変形式	半減期
^{222}Rn		3.82 日
^{218}Po		3.10 分
^{214}Pb	·	27 分
^{214}Bi	·	19.9 分
^{214}Po		164 マイクロ秒
^{210}Pb	·	22.6 年
^{210}Bi	·	5.1 日
^{210}Po		138 日
^{206}Pb		安定核種

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（電卓を持参してください。関数電卓が望ましい。）

(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。

(^{214}Bi の化学分離と測定)

2-1. 温泉水 80 ml をビーカーにとり、 HNO_3 10 ml を加える。

2-2. 共沈剤として $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 100 mg と保持担体として硝酸鉛 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 50 mg を加え、約 5 分間よく攪拌する。

2-3. 水酸化ナトリウム NaOH 13 g を加え、溶液中の OH^- 濃度を約 1 mol/l とする。 $\text{Bi}(\text{OH})_3$ の沈殿が生成する。沈殿が生成した時刻を記録すること。水酸化鉛 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ の沈殿が一旦生成するが、過剰のアルカリにより再溶解する。

2-4. 5 分ほど放置した後、溶液を沈殿と共に遠沈管に移し、遠心分離する。

2-5. 沈殿を吸引濾過する。沈殿を少量の 1 mol/l NaOH 溶液で洗浄する。

2-6. 十分に水分を吸引した後、ろ紙を試料皿に糊ではる。

2-7. 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殿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。

c. 温泉水中の ^{222}Rn の放射能を計算してみましょう。

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。

この実験を通して、放射性元素は決して特殊でないことが分かってもらえることでしょう。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、28 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(最近, 原子番号が 118 の元素を作ったという報告がされました)。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うことができます。

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)。

三二用語解説

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, ${}^4_2\text{He}$ 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(e^-)または陽電子(e^+)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, ν)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。α壊変や β壊変と同時に放出されることが多い。