

霧箱実験

東京都市大学原子力研究所(TCU)にて

2014-03/02 15:00-18:00

ご説明いただいた先生：岡田 往子 准教授、羽倉 尚人 博士

参加者：気象予報士3名（日本気象予報士会所属）

- 霧箱の実験（戸田一郎氏製作の霧箱使用）・・・写真2～写真5、構造図（まとめ10）
 - 冷却・・・固体のドライアイス使用
 - 構造・・・装置全体の寸法、電源装置、静電気除去装置、エタノールの蒸発装置、照明装置、ドライアイスからの受熱装置、Rn ガス注入孔など

線源＝①ラドンガス（マントル使用）・・・ α 線の観察

特に、 $Rn220 \rightarrow Po216 \rightarrow Pb212$ の壊変過程が（V字形に飛跡が枝分かれているのが特徴的で）クリアーに視認できた。・・・写真6

②ユークセン石・・・・・・・・・・ α 線、 β 線の観察

β 線は、なかなか見ることが出来ない。今回は、極細の飛跡ではあったが、不定形の飛跡を十分視認できた。・・・写真7

<理科年表：平成24年版 P.479-481 に「天然放射性核種」の記載、壊変系列図が掲載されている。>

<大きなネオジウム磁石を使うと、 β 線が円を描くことが分かっている・・・今回は実験せず>

- その他の霧箱（下記3種類）を使用して実験、 α 線の飛跡を確認した
 - TCUの霧箱（パイレックス、20cm ϕ くらい）・・・粉末のドライアイス使用
 - TCUの霧箱（プラスチックのシャーレ、9cm ϕ ）・・・写真8、飛跡観察可
 - 参加者の霧箱（パイレックス、15cm ϕ くらい）・・・粉末のドライアイス使用

原子炉の見学

入室前に線量計を胸のポケットにいれ、退室時返却した

退室時、両手を洗淨し、装置に両手を差し込んで、残留放射能の検査

原子炉稼働時、チェレンコフ光（青色）あった

原子炉の構造 本体はアルミで覆われている、下部は鉄で覆われている

医学への応用：放射線治療室、粒子の加速装置・・・関連大学との協業

制御棒の見学

ガンマ線測定室見学

半導体の純度の計測

計測装置内部に残留放射性物質の存在が無いことが重要

・・・引き上げられた戦艦陸奥の鉄を測定装置の壁に使用

製鉄所の溶鉱炉はその炉の劣化状況検出のため Co-60 が

内壁に塗布されている。この鉄を使つての装置では、測定できない。

- 自然放射線と霧箱に関する資料を頂いた（下記まとめの参考としている）

写真：

写真1 TCU原子力研究所正門



写真2 霧箱本体



写真3 霧箱裏面の冷却部分

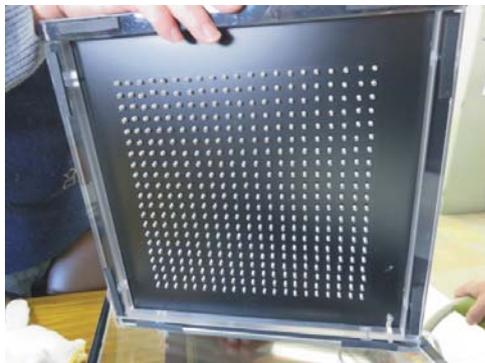


写真4 霧箱本体上部のLED照明装置



写真5 霧箱の蓋（2重ガラス）



写真6 α 線の飛跡 (Rn ラドン、V字形壊変)



写真7 β 線の飛跡（細い線）

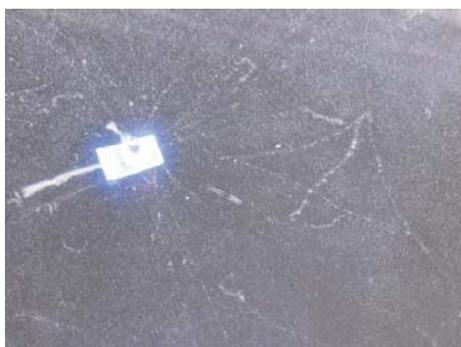
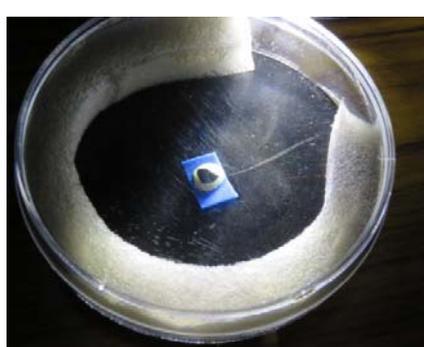


写真8 9cm ϕ の霧箱 (α 線の飛跡が見える)



研究所で頂いた資料を基にして、以下まとめてみました：

1. 自然放射線：私たちは、宇宙からやってくる放射線（宇宙線）や、地面の岩石から出る放射線を、常に浴びている。これらは「自然放射線」と呼ばれる。空気中には気体であるラドンが含まれていて（ α 線を放出しているが）、私たちは、この気体を呼吸時体内に取り入れている。また、人体の骨には β 線を放出するカリウム 40 という元素が含まれていて、私たちは常時体内被曝している。この放射線の存在を可視化出来る装置が「霧箱」である。
2. 宇宙線：宇宙起源の放射線を一次宇宙線といい、90%近くが陽子である。空気と衝突すると、ガンマ線、電子線、中性子、パイ中間子、ミュー粒子（ミューオン）などを発生させる。これらを二次宇宙線という。人は、地上で、年平均 0.39 ミリシーベルトの宇宙線を受けている（被爆している）。
3. α 線：不安定な原子核が安定になろうとして外部に放出される「ヘリウムの原子核」である。この現象を、 α 壊変（または α 崩壊）という。・・・写真 6、写真 8
4. β 線：原子核から放出される電子である。この現象を、 β 壊変（または β 崩壊）という。同時に γ 線が放出されることが多い。・・・写真 7
5. γ 線：波長が非常に短い電磁波である。 α 壊変、 β 壊変、核分裂などを行ってもなお原子核が過剰なエネルギーを持っている場合、そのエネルギーをガンマ線という電磁波として放出する。
6. ミュー粒子：ミューオンとも呼ばれる。素粒子のひとつである。
7. シーベルト(Sv)：放射線による被曝を測る単位である。線量当量という。一人当たりの年間線量（世界平均）は、2.4mSv である。
測定装置の値が $0.050 \mu\text{Sv/h}$ であるとき、 $0.050 \times 24 \times 365 = 1.051 \text{mSv/年}$ となる。
8. 霧箱：霧箱は、放射線そのものを見るものではなく、「放射線が通った跡に出来る、飛行機雲のような、アルコールの霧（「飛跡」という）」を見る装置である。1911 年 Wilson により発明された。「断熱膨張型霧箱」であった。現在は、「拡散型霧箱」が多用されている。基本構造を、一例として下図に示す。
9. 半減期：放射性物質の量が半分になる時間。物理的半減期ともいう。
10. 霧箱による飛跡の観察：飛跡を観察することにより、さまざまな結果が得られる。以下数例を示す。
 - (1) 原子の半減期を推定出来る・・・数分で α 線群が消える・・・写真 6
 - (2) 粒子の運動エネルギーの比較が出来る・・・放出されたヘリウム粒子ともとの核との質量比がおおよそ 1 : 50 (4 : 約 200) である。ヘリウムは運動して飛跡が見えるが、もとの核は（重たいため）ほとんど動かないので、飛跡が見えない。この現象を運動量保存の法則 ($MV + m'v' = 0$) に適用し、分かる。写真 6 ~ 8
 - (3) α 線のエネルギーを測定できる・・・飛跡の長さ（飛程）から計算式 ($R = 0.318E(\exp^{3/2})$ 、 $R = \text{飛程}$ 、 $E = \text{エネルギー}$)、および計算図表を経由して、（飛程 = 4cm のときに）約 4Mev となる・・・写真 6 など
 - (4) α 線の速度を求める（飛程 = 4cm のときに）・・・($E = (1/2)mV(\exp^2)$ 、 $m = 4 \times 1.661 \times 10(\exp^{-27})$)、計算図表を経由して、 $V = 1.4 \times 10(\exp^7)$ 、となり、

光速の数%として求められる。(計算図表は省略する)。。写真6など

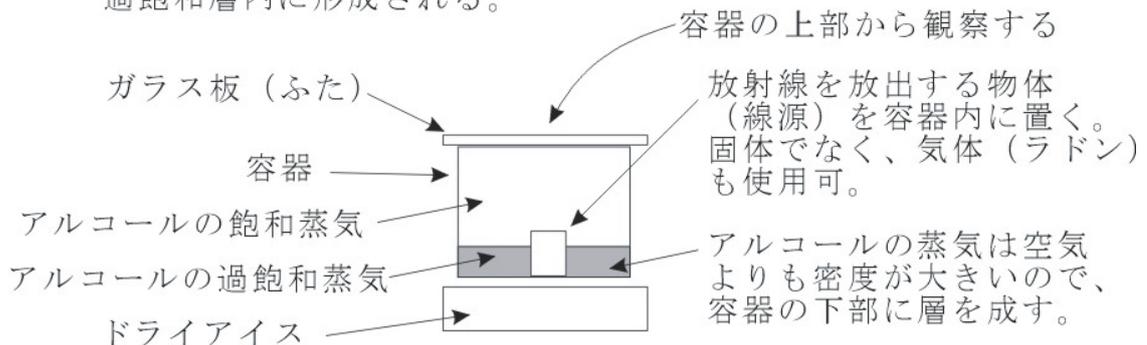
- (5) 参加者により、壊変過程における粒子の崩壊数が計算された(計算省略)
- (6) 以上のほか(頂いた資料に記載は無いが)、放出されたエネルギーを、アインシュタインの式 $E=mc^2$ に代入して、崩壊時の質量変化を計算できるかもしれない(この(5)は私見です)。

10. 霧箱の構造:

霧箱の構造の概念図です。

放射線の飛跡を見るための「霧箱」の構造 (一例)

下図過飽和層を放射線が通るとき、飛行機雲状の飛跡が過飽和層内に形成される。

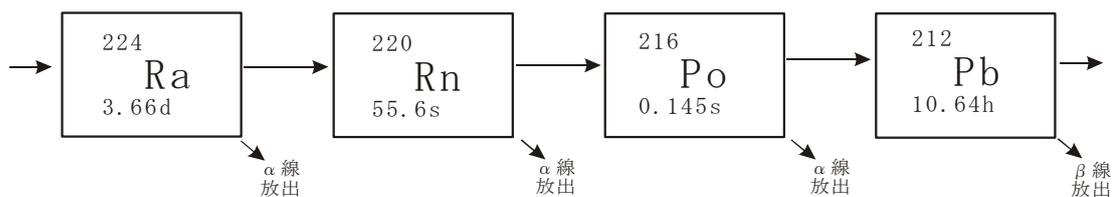


11. 壊変系列図

今回の実験では、下図に示すような壊変系列における、ラドン Rn から→ポロニウム Po への崩壊過程が十分目視で確認された。

天然放射性核種の【トリウム系列】に属する壊変系列図 (の一部)

図中の上段:元素の質量数、中段:元素名、下段:半減期、d:日、h:時、s:秒を示す。



上図は、戸田一郎「自然放射線って本当にあるの? (II)」、および丸善出版「理科年表」(平成24年版)を引用&改変

12. 霧箱実験動画 (ラドン Rn が壊変してポロニウム Po になる、及びその他の霧箱実験)

参加者が撮影した動画を、こちらの URL 内に紹介しています。

www.ny.airnet.ne.jp/satoh/rad-exp.htm

文責 佐藤 元