

理科教育実験への手作り放射線測定器具の応用

Application of Hand-made Equipment for Radiation Measurement to Science Educational Experiment

森 千鶴夫†

Chizuo MORI

Abstract A simple hand-made equipment for radiation measurement is presented, that is a GM counter with an openable end window. The counter is useful not only for radiation experiments but also for other science educational experiments such as photoelectron emission and exo-electron emission. These experiments are effective to understand that electromagnetic wave radiations such as light, X-ray and gamma-ray have the same wave-particle duality.

1. はじめに

毛糸の“とじ針”を陽極に、プラスチックカップを陰極に用いることによって、ガイガーミュラー計数管 (GM管) を極めて簡単に手作りすることができた。このGM管は空気を計数ガスとしているので、窓を自由に開閉でき、中に適当な試料を入れることができる。したがって、放射線実験以外の、より一般的な理科教育実験、すなわち紫外線による光電子放出の実験やエキゾ電子放出の実験に応用することが可能である。このような実験は、放射線測定器具としてのGM管の有効利用のみならず、光やX線、ガンマ線などの電磁波が持つ粒子性の性質の認識に役立つ。

2. プラスチックカップ型GM管の作製

GM管の陽極線として、毛糸の編物に使用する“とじ針”を使用した。従来、縫い針 (図1のA) を陽極に用いる試みはなされてきたが¹⁾、先端が鋭利なためにすぐに放電につながってプラトーは得られず、安定的に使用できなかつた。図1のBに示すように、先端の曲率が大きく、やや太い (1.3mm) とじ針を用いたところ、GM管は非常に安定的に動作することが分った²⁾。図1のCに示すように、試飲用の安価なプラスチックカップ (60ml) の底から針を突き通し、針の先端がカップの開口面から約2cm程度奥のほうになるようにしたあと、2液混合型接着剤でプラスチックに固定した。窓は自由に開閉でき、使用時は薄いポリエチレン膜で覆い、輪ゴムで留めている。ただし、Cの写真では、内部に後述する陰極としての導電性の黒い紙を入れていないので、透明なカップとポリエチレン膜が見える。

陰極として、図1のFに示すように、プラスチックカップの内側に、市販の色紙の黒の裏面に墨汁を塗布して導電性を良くした紙 (抵抗率約 $3 \times 10^9 \Omega \text{m}$) を挿入した³⁾。また、Fに示すように、この黒い紙を、窓としてのポリエチレン膜の内側に薄い両面テープで付けた。窓のポリエチレン膜は、カップの

入り口をふさぐ目的で、図Cに示すように輪ゴムで留めた。DおよびEの金属板は後述する光電子放出やエキゾ電子放出の測定のために窓の内側、即ち計数管の中に入れる試料である。

このGM管の動作ガスは空気である。GM管には計数に伴う後続パルスの発生を防ぐために消滅ガスが必要であるが、タバコ火用ライターのボタンガスを少量注入した。即ち、炎の長さを2cm程度になるように調節し、炎を付けないでガスが放出されている状態にして、約10秒程度注入すると約6cm³が注

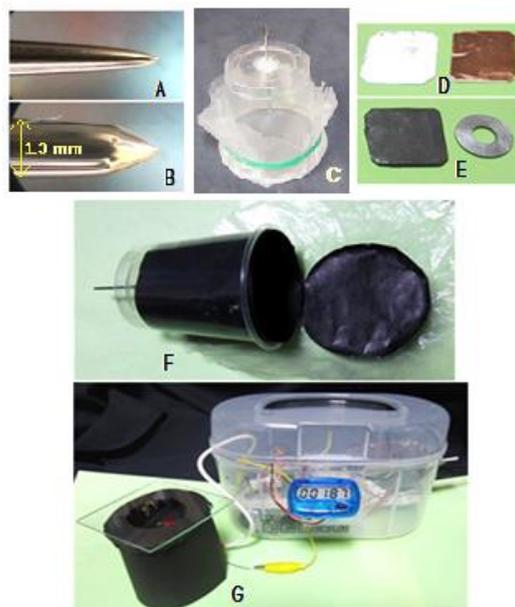


図1 A: 普通の縫い針, B: 陽極に用いたとじ針, C: プラスチックカップ型 GM 管、内部に導電性の紙を入れていない。D および E: 光電子放出実験に用いた金属板、F: GM 管の窓を開けて試料板 (D や E など) を入れる。内部に導電性の黒い紙を入れている。G: 光電効果の実験のために、カップ型 GM 管を、上部に穴を開けた黒い円筒形の紙筒で覆い、上にフィルタなどを乗せる。写真ではガラスを1枚乗せている。

入される。これは約 2×10^{20} 個のブタンガス分子に相当する。GM 計数放電に含まれるイオンの数は約 10^8 個であるから、 $\sim 10^{20}$ 個の消滅ガス分子の数は計数率が数 100cpm における長時間の計数動作に耐える十分な分子の数である。

GM 管に印加する電圧は 4.0kV に設定した。なお、この高電圧電源は、もともと出力電流が小さい ($1 \mu\text{A}$ 以下) 上に、 $1 \text{ G}\Omega$ の保護抵抗を入れているので、手に触れても全く感じず安全である。

3. GM 管の放射線教育実験以外への活用

作製した GM 管が、放射線教育実験以外の他の実験にも使用できれば、放射線測定器具の有効利用にもなり、かつ、放射線実験に関心を持つきっかけにもなると考えられるので、ここでは光電効果の実験とエキゾ電子放出の実験への利用を試みた。

3.1 光電子放出実験

光電効果の現象は、その昔、光の波動説では説明できず、アインシュタインが光子仮説によって初めて説明してノーベル物理学賞を受賞したことで知られる。そうした意味でも生徒達には興味があると思われる。また、光は X 線や γ 線と同様に、電磁波と粒子の二重性を有しているということを理解する上で適切な理科教育実験である。

図 1 に示す GM 管の中に、例えば表面をサンドペーパーで軽く磨いた D の左のアルミニウムの板状試料を入れ、ブタンガスを注入して電圧を印加すると、放射線源がなくても計数する。これは、天井などの蛍光灯の光が GM 管の底部のプラスチック

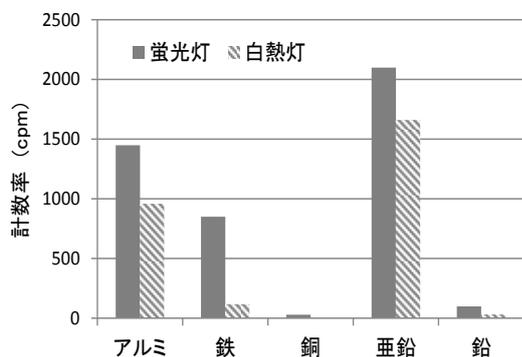


図 2 各金属表面に蛍光灯と白熱灯の光を照らした場合の光電子計数率

の透明な部分から入射し、アルミニウムの表面を照らして、光電効果によって電子を放出するからである。白熱灯の光を入れる実験も行った。図 2 に結果を示す。蛍光灯と白熱灯とは光の強度が異なるので、直接比較することはできないが、アルミニウムや亜鉛は光電子を多く放出し、銅や鉛はほとんど放出し

ないことが分る。金属表面を磨かなければ光電子放出は少ない。金属の仕事関数が高いほど光電子の放出は少ない。仕事関数は単結晶の場合には結晶面の方位によって異なるが、今回の試料のように多結晶の場合には、仕事関数は一定値ではない。また、測定方法によって、あるいは表面の酸化や油脂などによる汚れによっても異なる。このような理由から金属の仕事関数の値は文献によってかなり異なるが、アルミニウムは 4.08~4.28eV とやや小さく、銅は 4.48~4.94、とやや大きい。このことが図 2 の結果に現れていると思われる。

光の照射のための光源として、蛍光灯と白熱灯および発光ダイオード (LED) を用いた。蛍光灯は水銀からのエネルギーの高い紫外線 (UV) を多く含む。また、白熱電球はプランクの法則によれば、高いエネルギーの紫外線も含まれている。このために、試料表面から光電効果で電子を放出させているものと思われる。LED の光は強い光を当てても光電効果を全く示さなかった。LED の光は一定の電子エネルギー準位間の遷移に伴って発生するためエネルギーが一定で、紫外線のような高いエネルギーの光を含まないためであろう。

図 3 に、紫外線カット用のフィルムなどの効果を調べた結果を示す。縦軸はフィルムがない場合の計数率に対してフィルムがある場合の計数率の比で、この値が小さいほどフィルムによる紫外線の減衰の程度が大きいことを示している。“窓用フィルム”はガラス飛散防止シートで安価な防災グッズである。紫外線を 99% カットすると表示しているが、表示のように十分にカットしている。“UV フィルタ”は、やや高価な光学フィルタであるが、安価な窓用フィルムとほぼ同等である。“ガラス

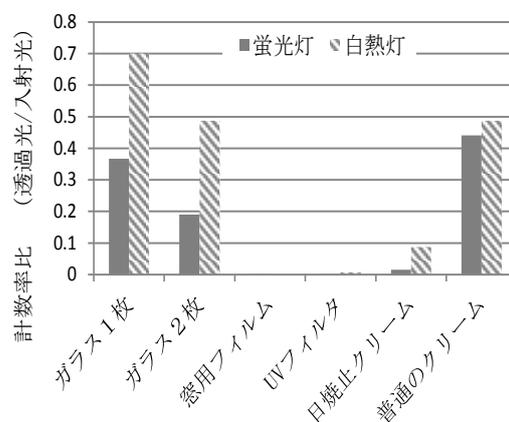


図 3 紫外線 (UV) カットフィルムなどの効果を示す実験

1 枚”のガラスは窓用のガラスで、あまり紫外線を吸収しない。

“日焼け止クリーム”を透明なフィルムに塗布した膜は紫外線をかなり吸収する。“普通のクリーム”はあまり吸収しない。

白熱灯の光は、例えばガラスの場合を見ると、紫外線があま

り吸収されないように見える。これは白熱灯の光は広いエネルギースペクトルを持ち、蛍光灯の光のそれとは異なることが原因であると思われる。

3・2 エキゾ電子放出

一般に、物質表面を研磨したり、放射線照射をしたり、あるいは応力を加えたりすれば、表面からエキゾ電子 (Exo-electron) が放出される現象が知られている⁴⁾。浅いエネルギー順位の格子欠陥などに捉えられた電子が徐々に放出されるためである。GM管に光が入らない箱を被せると光電効果による計数はなくなる。このような状態で、研磨した金属板をGM計数管の中に入れて計数した結果を図4に示す。計数にはバックグラウンド計数率 (約 5cpm) が含まれている。ほとんどの材料はエメリーペーパーによる研磨によってエキゾ電子が放出されるが、10分も経過すればほとんど放出されなく

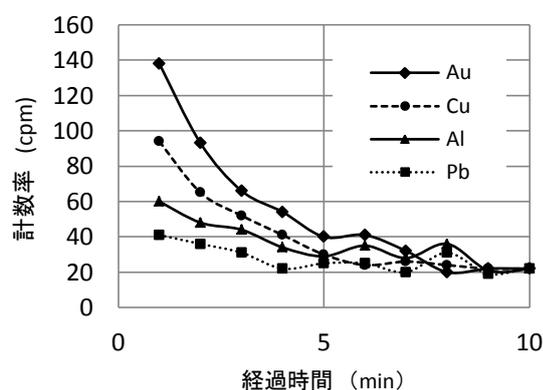


図4 金属の表面を研磨した直後に GM 管内に入れた場合の表面から放出されるエキゾ電子の計数率の時間的变化。

なる。この放出は研磨の程度などによって異なる。なお、3・1に述べた試料の場合には、表面を研磨したあと十分な時間の経過後に測定しているのでエキゾ電子の放出の影響はない。3・1も3・2も直接的には放射線に関係の薄い現象ではあるが、手作りのGM管は放射線分野のみならず、他の科学教育分野の実験にも使用でき、そうした分野へ関心を広げてゆくのに大いに役立つことができると思われる。

4. まとめ

先端の曲率が大きくて丸みのある“とじ針”を陽極とし、プラスチックカップの内面に導電性のある黒い紙を挿入して陰極とした、安価で容易に手作りできるGM管を作製した。このGM管は空気を計数ガスとしているために、窓を自由に開閉できる。そのため、GM管の内部にいろんな金属板を入れて外から光を照射し、光電効果の実験を行なった。また、紫外線カット用のフィルムなどの効果を試した。板の表面を研磨してエキゾ電子放出の実験をした。こうした教育的実験を通じて、光や

X線、ガンマ線のような電磁波の粒子的性質を理解できる。このように、本来は放射線測定用のGM管を他の理科教育実験に有効に利用できることを示した。

謝辞

本研究において使用した手作り GM 管は、中部原子力懇談会における筆者を含む研究グループで開発したものであり、関係者に謝意を表す。本稿を本紀要のノートに記載することに同意して下さった、応用化学科学科長 大澤善美教授、および紀要委員 平野正典教授に感謝します。

文献

- 1) 矢野淳滋、高校生にも作れて α 線も計れる大気圧空気 GM 計数管、物理教育、**38**, No. 4, 312~315(1990)
 - 2) 青山隆彦、森 千鶴夫、他、*Isotope News*, 4月号, 25-28 (2016)
 - 3) 早川一精、佐合 穰、青山隆彦、飯田孝夫、五井 忍、森千鶴夫、携帯型手作り GM 管放射線測定器、*Isotope News*, 4月号, 46-50 (2014)
 - 4) 藤村亮一郎、新しい固体線量計の原理 エキゾ電子放射による線量測定、原子力工業 **17**, No. 9, 50-54(1971)
- (受理 平成 28 年 3 月 19 日)