

ミニジェネレーターを用いた放射能教材の研究(その2)

豊原久夫

この研究は、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ miniature radioisotope generator を高校物理の学習に用いることを目指し、その基礎資料を得るために ^{90}Y の半減期、確率現象、 β 線の磁界による偏向、 β 線の吸収と最大飛程、 β 線の後方散乱に関する測定を行い、その教材化について考察している。

1 はじめに

¹⁾ 前報では、高等学校物理 I, II の「放射能」の学習指導における実験教材を用意するため、教育用の $^{137}\text{Cs}/^{137m}\text{Ba}$ ミニジェネレーターを用いて、主として γ 線に関する諸実験を行い、それらの教材性について検討した。

本研究では、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ミニジェネレーターを学習へ利用するための基礎資料を得るために、その原理を調べ、 β 崩壊、 β 線の磁界による偏向、 β 線の吸収と最大飛程の測定、 β 線の後方散乱など、 β 線に関する一連の実験を検討してみたので報告する。

2 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ミニジェネレーターの原理

^{90}Sr の崩壊型式と $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ の放射平衡について

この $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ミニジェネレーターは、原子炉の中で、 $\text{U}(n, f)$ → ^{90}Sr の生成反応により得られる ^{90}Sr からできている。

^{90}Sr は半減期 T_1 が 28y で、0.54MeV の β 線を放出して ^{90}Y に崩壊する。 ^{90}Y は半減期 T_2 が 64.2h で、2.25MeV の β 線を放出して安定な ^{90}Zr に崩壊する。(図1)

この ^{90}Sr と ^{90}Y は $T_1 \gg T_2$ であるため、永続平衡の関係にある。したがって、 ^{90}Sr から ^{90}Y を溶出(ミルク)したあと、 ^{90}Sr の崩壊で ^{90}Y はすぐ再生され、²⁾ 27d で平衡に達する。

本研究で使用する線源の強さは $0.09\mu\text{Ci}$ で、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」によって規制されている数量以下のものであり、教育用として、ユニオン・カーバイト社が開発したものである。

以下、筆者が、この線源を用いて行った測定例について述べ、その教材性を検討してみる。

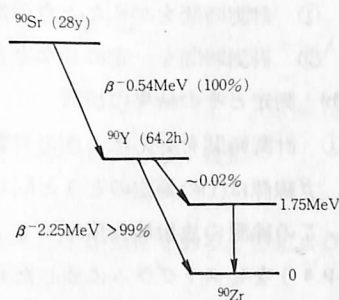


図1 ^{90}Sr の崩壊図

3 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ミニジェネレーターを用いた実験の検討

(1) 半減期の指導に関する検討

(a) ねらい

「放射性核種の崩壊の過程は完全に偶発的であり、確率の法則にしたがう」ことを理解させる場面に、この ^{90}Y の比較的ゆっくり減衰する放射能を利用することを検討した。

(b) 測定とその結果の検討

^{90}Y の β 線源を得るため、ミニジェネレーターに溶離液(EDTA 1gを1 ℓ の蒸留水にとかしたもの)を圧入し、ミルキングによって得た溶出液を試料皿にとって乾燥させた。この線源の放射能強度をGM管計数装置(Aloka TD C-1型)を用いて5日間継続して計測した。

その結果を図2に示した。 ^{90}Y の半減期は64hと得られた。

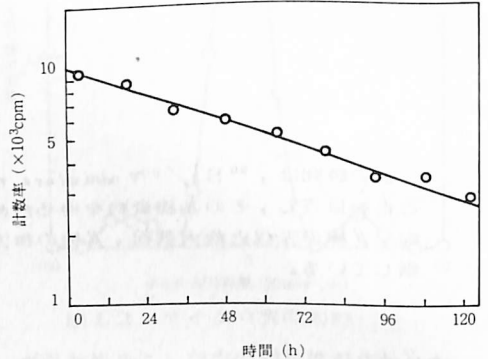


図2 ^{90}Y 半減期

この線源を用いて、1時間の授業の中で半減期の指導をすることは、放射能の減衰がゆるやかであるため容易ではないが、1週間にわたって計測を行えば、その放射能強度が減弱していくようすはわかり、その半減期の値も求めさせることができる。

逆に、数時間経過しても、計数率にあまり変動がないことに注目すれば、次に述べるように、放射性核種の崩壊の過程を確率的現象としてとらえさせる指導に利用されよう。

(2) 確率的現象の指導に関する検討

(a) ねらい

放射性核種からの放射線の発生は、確率的現象であることを、計数率の統計的処理を通じて理解させるため、次の①、②について検討した。

① 計測時間をかえたときの計数率の標準偏差のちがいを。

② 計測時間を一定にしたときの線源の強弱と計数率の標準偏差のちがいを。

(b) 測定とその結果の検討

① 計測時間をかえたときの計数率の標準偏差のちがいを

β 線源は(1)の測定のとおりと同じ方法で調整したものを用いた。

この線源の放射能強度を10, 40, 90秒間計測で各50回測定し、それぞれの場合の計数率(cps)をヒストグラムに表したものを図3に示した。10秒間計測のものに比べて、40秒間計測、90秒間計測の偏差値は、それぞれ1/2, 1/3になっており、その分布は狭くなっている。

一見でたらめな現象も、このように測定時間を長くすれば、そこにはっきりと規則性を見出すことができる。すなわち、このことを通じて放射性核種の崩壊は確率的現象であることを理解させることができよう。

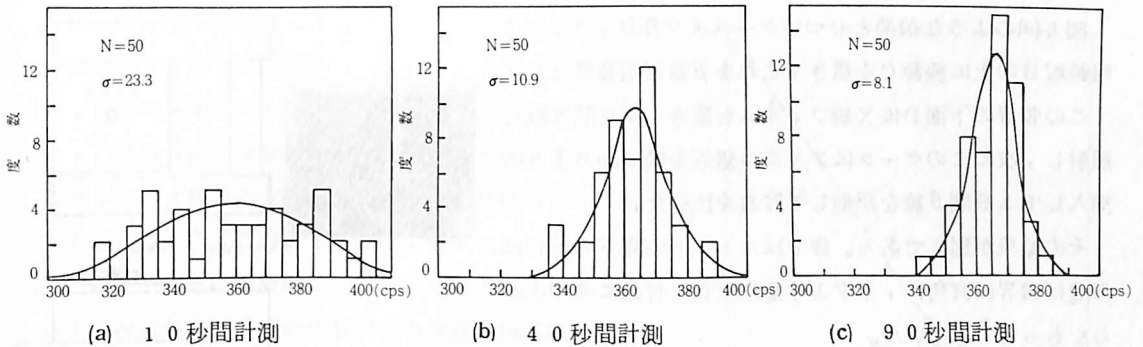


図3 計測時間と計数率の分布

② 線源の強弱と計数率の標準偏差のちがいについて

線源は①と同じ方法で調整したものをを用いた。

この線源を測定台の上段の試料皿に置き、その計数率を10秒間計測で約400カウントとする。一方同じ線源をGM管から離して置き、その計数率が10秒間計測で1000カウント程度となるようにし、それぞれの場合について100回ずつ計測を行った。これをヒストグラムで表したものが図4(a)である。また、このヒストグラムから半値幅を求め、それぞれの場合について、平均値に対する半値幅の値を図4(b)のAに、他の線源について行ったものをBに示した。

図4(b)のグラフの傾きが1/2であることから、半値幅は平均値の平方根に比例しているとみることができる。この関係は、偏差値が平均値に比例することとも一致し、一定時間内の計測では、計数率の大きいほど、その計数率の度数分布の広がり小さくなることを示している。

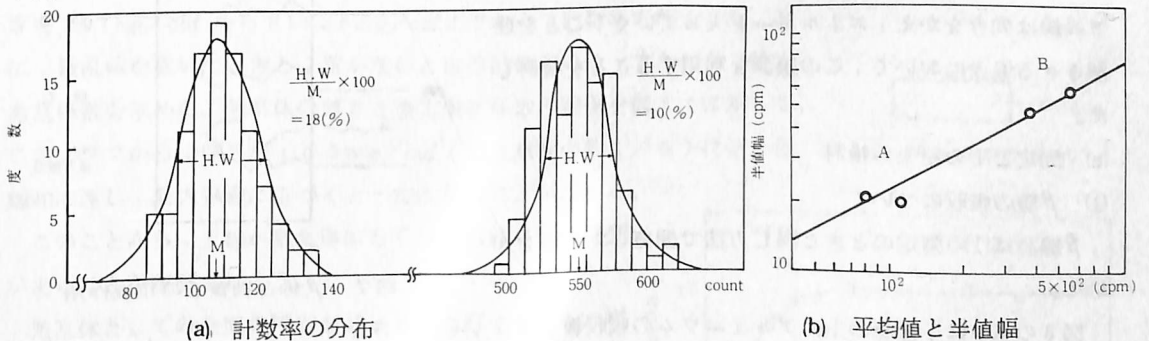


図4 線源の強弱と計数率の分布

以上のように利用してみると、この線源は、確率的事象を理解させるにはよい素材であるといえよう。

(3) β 線の磁界による偏向の指導に関する検討

(a) ねらい

「 β 線は負の電荷をもち、磁界によって曲げられること、および連続的に異なる運動エネルギーをもっていること」を理解させる場面に、この ^{90}Y 線源を利用することを検討した。

(b) 測定とその結果の検討

β 線源は(1)の測定のとくと同じ方法で調整したものをを用いた。

図5(a)のような線源と取り付けケースAを作り、スリット用鉛板Bの上に線源Cを置き、これをβ線照射装置とした。

この装置の下面DにX線フィルムを置き、2日間β線を照射し、次にこのケースにアルニコ磁石を図5(b)のように挿入して2日間β線を照射して写真を比べた。

その結果が図6である。像Pはスリットの真下の点Oに、像Qは磁界に直角に、像Pより離れた点X付近にやや広がりをもってできていた。

この写真から、β線が磁界から力を受けていること、また、広がりがあることから、β線のエネルギーは連続であることを指導することができよう。

このような実験においては、この線源は線量が小さいため、照射時間を長く要するが、β線の磁界による曲がりとその理由を考察させる学習には、じゅうぶん利用できる。

(4) β線と物質との相互作用—吸収・反射—の指導に関する検討

(a) ねらい

「β線がある物質の薄い層に入射した場合、透過、吸収、反射(とくに後方散乱)が起る。(図7)そしてその過程でβ線は向きをかえ、エネルギーを失っていく」ことを理解させる場面において、この線源を利用することを検討した。

(b) 測定とその結果の検討

① β線の吸収について

β線源は(1)の測定のとおりと同じ方法で調整したものを用いた。

図8のように、線源の上にアルミニウムの吸収板を置き、その厚さを2.01mg/cm²から819.26mg/cm²までかえて計数率を求め、⁹⁰Yのβ線の吸収のようすを、厚さと計数率(対数)の関係で示したのが図9である。

このグラフでは、厚さがかわると計数率が直線的に減衰する部分と、一定で、水平軸に平行である部分とに分かれた。

これは、β線の物質中での飛程には限度があることを示している。

ちなみに、この曲折点から最大飛程τ(mg/cm²)を求めてみると、

1.1 × 10³ mg/cm²であった。

さらに、Featherの式⁹⁾

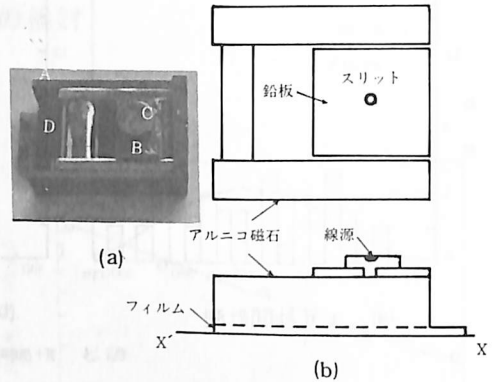


図5 β線の照射装置

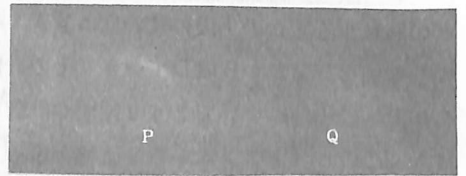


図6 β線照射による像

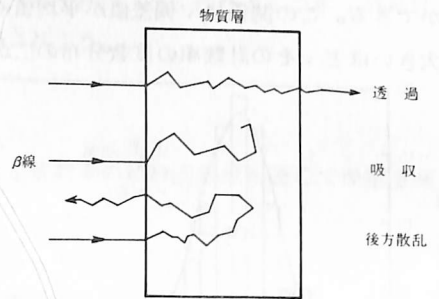


図7 β線と物質との相互作用

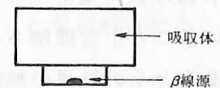
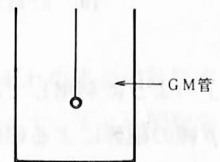


図8 β線の吸収

$$r = 542E - 133$$

ただし, $E > 0.8 \text{ MeV}$

より, 最大エネルギー E_{max} を求めると, 2.3 MeV が得られ, ^{90}Y の β 線の文献値 2.25 MeV とよく一致する。

また, この β 線の吸収曲線が途中から折れ曲らず, 直線的であることから, この ^{90}Y 線源は, 最大エネルギーが 2.2 MeV の電子群だけを放射していることが理解されよう。

以上の検討から, β 線の物質層での吸収の指導には, この ^{90}Y 線源はじゅうぶん利用されるものと考えられる。

一方, β 線が同じ厚さを透過するとき失うエネルギーが一定であることから, この β 線の吸収曲線を用いて金属板の厚さを測定することもできる。計数率から求めた厚さと, 実際にマイクロメーターで測定した値とを比較してみると, よく一致した。この実験は, 放射線の利用としての厚さ計の原理の学習に利用されよう。

② β 線の後方散乱について

β 線源には, ミニジェネレーターからミルキングによって得た溶出液をうすいビニール(後方散乱のない試料)上に置いて乾燥させた後, これにビニールでカバーしたものを用いた。

図10のように, 線源の下方にアルミニウムの散乱体を固定し, その厚さを 2.01 mg/cm^2 から 819.26 mg/cm^2 までかえて計数率を測定した。次に, 散乱体を置いたときと, 置かないときの計数率の比, すなわち, 後方散乱係数を求めた。散乱体の厚さと後方散乱係数の関係を図11に示した。このグラフから, 厚さが 100 mg/cm^2 (最大飛程の約 $1/5$) 付近から飽和に達し, 最大飛程に近づくとき一定になることがわかる。

このことから, β 線が散乱体にもぐりこむ厚さには限度があることが理解されよう。

散乱体としての金属の厚さをじゅうぶん厚くし, その種類をかえたときの原子番号と飽和散乱係数との関係を図12に示した。散乱体の原子番号が大きいほど, 飽和散乱係数が大きくなっていることから, β 線の散乱は, 散乱体の原子核との相互作用によるものであることが理解できよう。

図13(a)のような配置で, 鉛を散乱体として, その後方散乱による計数率の角度分布を測定した。図13(b)

同種類の散乱体であっても, その厚さが異ると, 散乱方向によって計数率にちがいがでてきた。

これは, 物質内部まで入りこんだ電子が再び飛び出してくるまでの様子が物質の厚さによって異なるこ

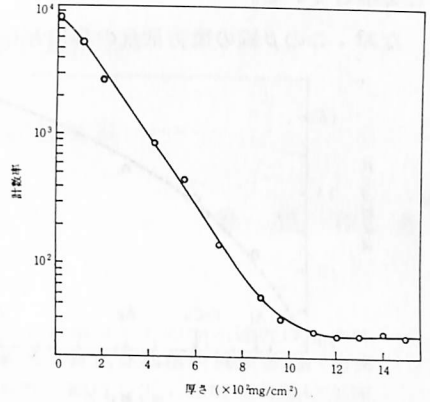


図9 ^{90}Y の β 線吸収曲線

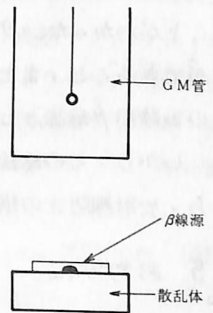


図10 β 線の後方散乱

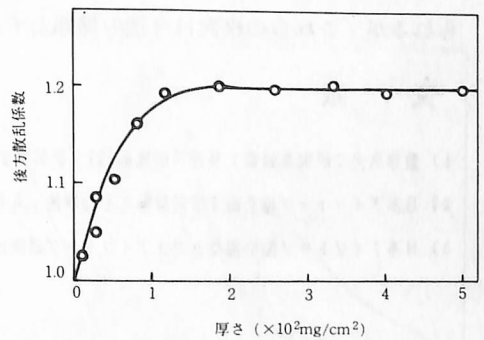


図11 散乱体の厚さと後方散乱係数

とを示している。

なお、この β 線の後方散乱の利用として、メッキの厚さの測定原理も理解されよう。

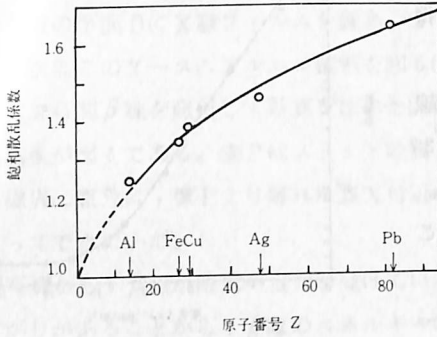


図12 原子番号と飽和散乱係数

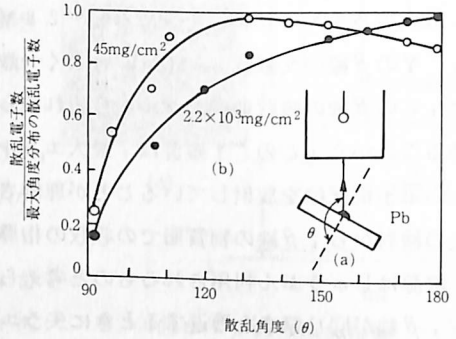


図13 後方散乱の角度分布

4 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ミニジェネレーターを学習指導に導入することの検討

以上、高校物理の「放射線の性質とその利用」の学習指導に、この $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ミニジェネレーターを導入することを旨として検討してきた。その結果、この線源は、かなりの実験に利用できるものであることがわかった。 β 線と物質との相互作用による現象の検討を通して、 β 線の本性を明らかにすることができること、また、簡易な取り扱いによって、 β 線の利用法が容易に理解されることから、高校物理の実験用 β 線源として導入するに値するものであると考えられる。

しかし、この線源は、法の規制以下の数量で、教育用として使用できるものであるとはいえ、日頃から、放射線防止の措置をじゅうぶん講じて適正な取り扱いをしていかなければならない。

5 おわりに

本研究では、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ミニジェネレータを用いた実験教材の検討をしてきたが、その指導展開までは追っていない。また、この線源は物理ばかりでなく、化学、生物分野においても利用できると思われるが、これらの検討は今後の課題とする。

文 献

- 1) 豊原久夫：研究集録第7集理科研究編(2)，新潟県立教育センター(1974) 11~16
- 2) 日本アイソトープ協会編：密封線源とその取扱，丸善(1973) 12
- 3) 日本アイソトープ協会編：ラジオアイソトープ講義と実習，丸善(1970) 29