

密封線源による β 線後方散乱係数の測定

山岡 義人*・井上 一正**

Measurement of the Backscattering Factors of Betas by a Sealed Sources

by Yoshito YAMAOKA & Kazumasa INOUE

In case of measuring the backscattering factors, it is customary to use the beta emitters such as P-32 or C-14 in thin bare sources in order to avoid the self-absorption, etc., together with a 2π gas flow type counter. But, in a laboratory such as having no controlled area and equipments to handle the bare active materials, and permitted to use only the weak sealed source, we have to combine the end-window type counter with the sources.

From the necessity of educating university students for the backscattering phenomena, a G-M tube and a sealed Tl-204 beta source were combined together to measure the backscattering factors of several backing materials. Consequently, the saturation backscattering factors obtained by this method were generally less than that mentioned in references. For lead, for instance, this value was depressed from 9pct to 13pct. It is suggested that the depression of the values would be attributed mainly to the geometry factor for the counter arrangement and the factor due to the energy distribution of sealed beta source.

1. ま え が き

一般に β 線の後方散乱係数の測定には 2π ガスフロー型計数管に自己吸収の無視できる β 線源を組合せて使用するのが理想的であるが、実際には実験室における測定器や設備などの都合で、必ずしもそのような条件が充たされない場合がある。

文献によれば^{1) 2)}, β 線源としては ^{32}P または ^{14}C を含んだ溶液を薄い雲母板またはプラスチック薄膜などに1~2滴ずつ滴下乾燥し、測定器としてはローリッツエン検電器を使用するように指示されている。また 2π ガスフロー型計数管における後方散乱についてはJ. S. Nader et al³⁾の ^{32}P , ^{204}Tl , MFP(混合核分裂生成物)および ^{35}S についての研究があり、その結果は β 線の後方散乱係数を β 線のエネルギーの関数および試料皿の原子番号の関数として求めるために利用されている⁴⁾。前者の場合は 2π 空間に散乱された全電子がローリッツエン検電器に入射しないから、幾何学的効率が使用段数によって異なったりすることになる。なお飽和後方散乱係数の値は0.6 MeV以上の β 線エネルギーに

* 理工学部物理学科教授 放射線物理

** 理工学部物理学科助手 放射線物理

対してはほぼ一定で、散乱体の原子番号と一定の関係を有する⁵⁾。しかし、幾何学的効率などの条件が異なると飽和後方散乱係数の値は異なってくるので正確には個々の装置についてこの値を求めなければならない⁶⁾⁷⁾。

筆者らはフードその他の裸の線源を取り扱う設備のない、いわゆる管理区域を持たない実験室において、使用許可申請を必要としない弱い密封 β 線源を用いて学生に後方散乱現象を修得せしめるために、密封 β 線源による後方散乱係数の測定を試みた。したがって検出器としては 2π ガスフロー型計数管を用いなくて $G-M$ 計数管またはローリッツエン検電器、線源としては ^{204}Tl 密封線源その他を使用して後方散乱係数の測定をおこなうことを検討したのでつぎに報告する。

2. 測定器類の幾何学的配置とその検討

後方散乱とは入射放射線の方角に対して90度以上の角度でおこる散乱のことであるから、 $G-M$ 計数管のマイカ窓に入射する散乱 β 線が入射 β 線に対して90度以上になるように計数管の位置、 β 線源および散乱体の位置を図-1のように定める必要がある。いま $G-M$ 管の外径を $2R$ 、マイカ窓の有効径を $2r$ 、 $G-M$ 管の下端からマイカ窓までの距離を Δ 、 $G-M$ 管の下端から散乱体までの距離を d 、入射 β 線の方角が x 軸となす角を α とし、原点0に入射し散乱してマイカ窓の左側の端を通過する散乱電子線が y 軸とする角が α となるようにすれば、この散乱電子線は入射 β 線に対して直角となる。

そこで図-1からつぎの関係がえられる。

$$\frac{R}{d} = \frac{d+\Delta}{r}$$

または、 $d^2 + \Delta d = Rr$ (1)

使用した $G-M$ 管では、 $R=25\text{mm}$ 、 $r=13\text{mm}$ 、 $\Delta=3\text{mm}$ であるから、(1)式より

$$d=16.6\text{mm} \text{(2)}$$

したがって α は約 $33^\circ 40'$ となる。これは単一の β 線に対する値であって、実際には日本同位元素協会製の ^{204}Tl 線源を直径5mmのプラスチック管でコリメートしたビームを使用したので、A点において $(2.5/\cos 33^\circ 40')\text{mm}=3.1\text{mm}$ だけ y 軸方向に平行移動する必要があるので d の値をそれだけ大きくとり、それに余裕をみて

$$d=20\text{mm} \text{(3)}$$

として測定をおこなった。

しかるに図-2に示したように幅のあるビームを使用した場合には、ビームの両側から散乱体の表面近くで散乱された散乱電子線A、B、Cのうち、Bは α が $33^\circ 40'$ のとき $x=4.5\text{mm}$ となるのでAの y 軸となす角 β が $29^\circ 30'$ となり入射ビームに対して90度以上の

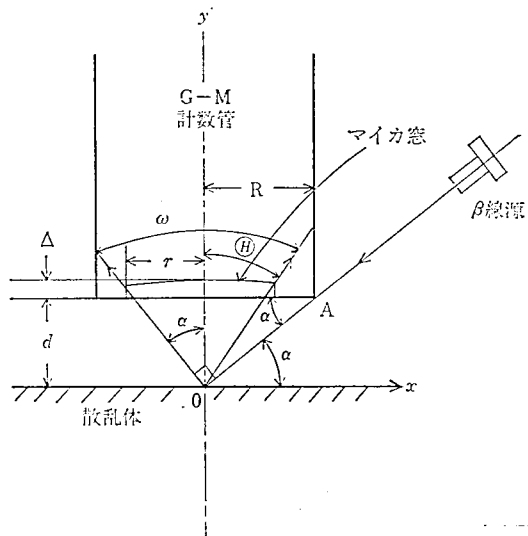


図-1 装置の配置図。

角度で散乱されるが、CのY軸となす角は $37^{\circ}20'$ となり90度に充たないので、入射 β 線の実際には $36 \sim 37$ 度とする必要がある。

3. β 線源のエネルギースペクトル

飽和後方散乱係数は β 線のエネルギーに依存し、 0.6MeV 以下のエネルギーについては一定となるので一応使用した線源のエネルギースペクトルを吟味した。

装置は富士電機製造K.K.製低バックグラウンド β 線エネルギースペクトロメータ（ピコベータ）で、線源は前述したように日本同位元素協会製の ^{204}Tl 線源である。測定器の構造上 0.035MeV 以下のエネルギーの β 線は測定できなかった。 ^{204}Tl からの β 線の最大エネルギーは 0.77MeV であるから、図-3に示すように、 $0.035\text{MeV} \sim 0.77\text{MeV}$ の間のエネルギースペクトルが測定されている。図-3はブラウン管に表示されたものを写図したものである。この線源は必ずしも自己吸収のない非常に薄い線源とも考えられないと同時に、密封線源である関係上、前面に薄い遮蔽膜があり、また厚いバックアップがあって線源自体で後方散乱電子を放出していると考えられるから、そのエネルギースペクトルは変形していると考えられる。最大密度で放出されている β 線のエネルギーも必ずしも裸の線源のそれと一致するとは考えられないから、図-3からその値を求めてみると 0.3MeV となった。これらのことについては精確にはあとで補正する必要がある。

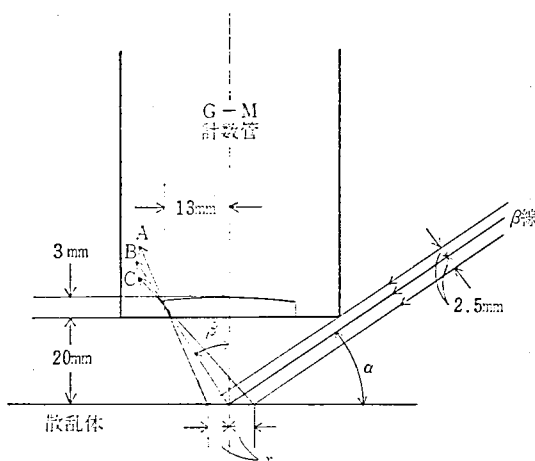


図-2 幅のある入射ビームによる散乱電子の入射方向を示す

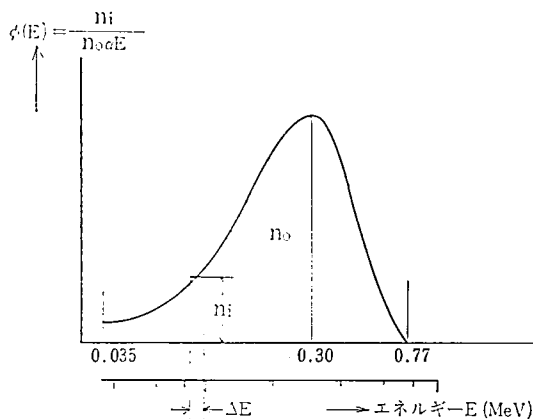


図-3 ^{204}Tl 線源からの β 線のエネルギースペクトル。最大エネルギーは 0.77MeV 、 0.035MeV 以下は測定不能

4. 後方散乱電子の角度分布の測定

後方散乱電子が果してどの方向に最も強く放出されているかを知るために図-4のようにZ軸に対して G-M 管およびコリメートされた β 線源を相互に 54 度の角度で固定し、散乱体の表面と入射 β 線のビーム（直径約 5mm ）との角度 θ を同じく Z 軸に対して 0 度か

ら2度ずつ増加させて136度まで変化させ、散乱線の計数率を測定した。散乱体としては放射線遮蔽用鉛ブロックを用い、計数率測定はタイマーを使用して1分間ずつ計数した。その結果を図—5に示す。図—5はしたがって xy 平面内の散乱電子の角度分布を示すことになる。

この結果をみると、この場合後方散乱電子が最も強く放出されているのは、 θ が42°~45°の方向であることがわかる。 θ が94度を越えると、散乱体表面の方向がG-M管のマイカ窓の左端にかかってくるので、それ以上の角度では次第に窓の有効面積が減少し、126度で窓の有効面積は1/2に減ってしまう。

$\theta=42^\circ$ におけるPbの飽和后方散乱係数 $(f_B)_{\text{sat}}$ をこの方法で測定してみると、後方散乱された β 線の強さは最大値で734cpmで、このときの入射 β 線の強さは1813cpmであるから、 $(f_B)_{\text{sat}}=1.41$ となり文献³³⁵⁾に比較すると6~10%小さい。

5. 後方散乱係数の測定方法

G-M 計数管、線源および散乱体を図—6のように配置し、さきに検討したように、散乱された β 線が入射 β 線の方角に対して90度以上の角度でマイカ窓に入る条件を充たすようにする。すなわち、 $d=20\text{mm}$ 、入射 β 線と x 軸のなす角 $\alpha=36^\circ\sim37^\circ$ とし、散乱体の傾き角 θ は $42^\circ\sim45^\circ$ とする。まず線源を0点からDの距離にあるAの位置において散乱線の強さを測定してこれを I_x とし、つぎに散乱体を除いて線源を0から同じくDの距離にあるBの位置に移して線源の強さを測定してこれを I_0 とすれば、後方散乱係数 f_B は

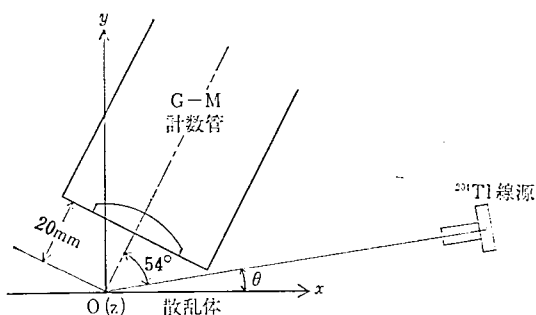
$$f_B = \frac{I_x + I_0}{I_0} \quad \dots\dots\dots(4)$$

で与えられる。この値は β 線の最大飛程の1/5程度の散乱体の厚さで飽和するから、散乱体の厚さを十分に厚くとした場合には、

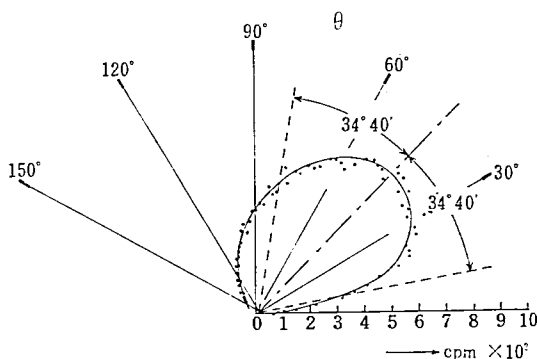
$$(f_B)_{\text{sat}} = \frac{I_x + I_0}{I_0} \quad \dots\dots\dots(5)$$

となる。

この方法では線源自体の問題のほかに、線源をAに置いた場合は β 線が空気中を距離D通過する間に吸収を受けること、さらに散乱体によって散乱された後にG-M管に入射す



図—4 後方散乱電子の角度分布測定のための配置図



図—5 xy 平面内の後方散乱電子の角度分布

るまでに23mmの空気層を通過して吸収を受け、さらにマイカ窓によって吸収を受けることなどの問題がある。またBの位置に置いた場合には β 線は($D+23$)mmの空気層による吸収とマイカ窓による吸収を受ける。

そこでこのうち、空気層Dによる影響について調べてみるとつぎのような結果が得られた。

6. 空気層による吸収の影響

図一6に示すようにG-M計数管、 β 線源および散乱体を配置し、0点から線源までの距離Dを変化させて飽和後方散乱係数(f_B)_{sat}の変化を測定すると図一7のようになった。この図は直径約5mmにコリメートされた²⁰⁴Tl β 線源を用い、散乱体としては厚い遮蔽用鉛を使用して距離Dを8.5cm~20cmまで変えて測定した結果である。この結果からみると、(f_B)_{sat}の値は距離Dが16.5cm以下では次第に小さくなり、それ以上ではほぼ一定になることがわかる。そこで実際の測定に当ってはこの(f_B)_{sat}の値が一定になる範囲の位置に線源を置くようにした。

7. 実測例

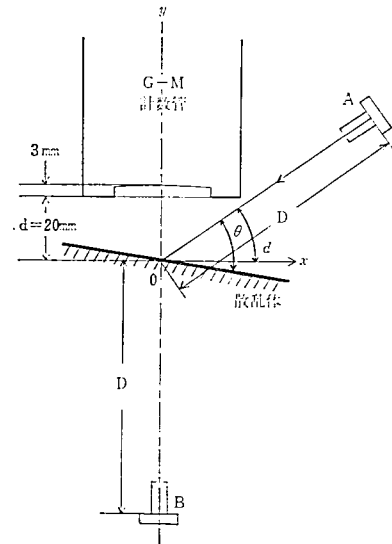
図一8および図一9にこの方法を用いた実測例を示した。検出器としては日本無線医理学研究所製のG-M計数管を用い、線源は日本同位元素協会の²⁰⁴Tl標準線源(1972年12月25日製、5 μ C₊)を直径5mm、長さ45mmのプラスチック管で細く絞ったもの、Al板はサンアルミニウム工業K.K.製家庭用アルミ фоль (厚さ; 4.67mg/cm², 17.5 \times 17.8cm²)を用いこれを1枚1枚重ねて使用した。その他の材料は適宜Fe, Cu, Sn, W, Pb板を切断して用いた。

図一8は²⁰⁴Tl β 線源による β 線の後方散乱電子によるビルド・アップを示し、最大飛程の約1/5(約56~60mg/cm²)附近で飽和していることを示す。その飽和値の延長とY軸との交点Aが(f_B)_{sat}となる。

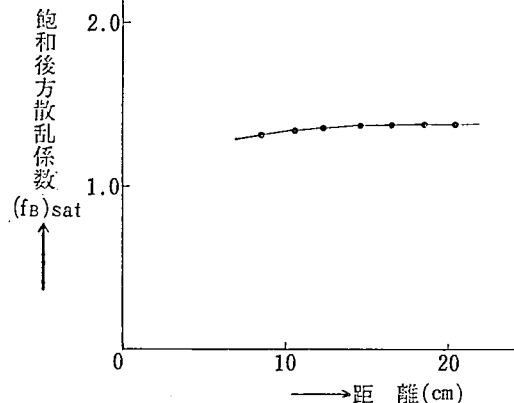
図一9はそれぞれAl, Fe, Cu, Sn, W, Pbについて求めた飽和後方散乱係数(f_B)_{sat}とそれらの原子番号Zとの関係を描いたもので、多くの文献にみられる曲線と類似の曲線であるが、全体的に(f_B)_{sat}の値が小さく出ていることがわかる。

8. 結果の検討

バックングの真上に極めて薄い裸の線源を置き、バックングを垂直に真上から β 線照射



図一6 密封線源を用いた後方散乱係数の測定のための配置



図一7 線源から散乱体までの距離と鉛の飽和後方散乱係数との関係

いても同様に角度分布をとり、 Z 軸に対する散乱体の傾斜角を φ として、散乱電子数を θ および φ の関数 $F(\theta, \varphi)$ として幾何学的効率 G を求めるべきである。しかし、ここで仮りに xy 平面の角度分布のみによる比1.174を図-7に示した Pb の距離 D が16.5cm以上の3つの $(f_B)_{sat}$ の値の平均値1.365に乘じてみると、1.603をうる。1.365値は文献³⁾⁵⁾による値に比べて、9~13%低い値である。

つぎに図-3のようなエネルギースペクトルを持つ β 線源を使用した場合について考えよう。いま、エネルギー E の関数としての飽和散乱係数を $f_{BS}(E)$ で表わし、 ^{204}Tl 線源より放出される全電子(β 粒子)数を n_0 とし、任意のエネルギー E における dE なるエネルギーの幅での放出 β 粒子数を n_i としてその確率関数を裸の薄い線源の場合に $\Phi(E) = n_i/n_0 dE$ 、密封線源の場合に $\phi(E)$ で表わせば、

$$f_e = \frac{\int_0^{E_{max}} f_{BS}(E) \phi(E) dE}{\int_0^{E_{max}} f_{BS}(E) \Phi(E) dE} = \frac{\int_0^{E_{max}} f_{BS}(E) \phi(E) dE}{[(f_B)_{sat}]_{2\pi}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

と書ける。ここで $[(f_B)_{sat}]_{2\pi}$ は 2π ガスフロー型計数管で自己吸収のない裸の薄い線源を用いて測定した飽和後方散乱係数の値である。

このほか G - M 計数管のマイカ窓から線源までの距離、すなわち空気層による β 線および散乱電子の吸収も考えなければならないが、図-7に示したように8.5~20.5cmの範囲内に線源を移動した結果では、線源を G - M 管に接近させた場合の方がかえって $(f_B)_{sat}$ の値が小さく、16.5cm以上の距離でほぼ一定とみなしてよい結果となったので、ここでは考慮しないでおく。したがって補正された密封線源による飽和後方散乱係数の値 $(f_B)_{sat}$ は、

$$(f_B)_{sat} = [(f_B)_{sat}]_{2\pi} \cdot G \cdot f_e \quad \dots\dots\dots(8)$$

で表わされることになる。

9. あとがき

裸のアイソトープを取扱うことのできない実験室において、後方散乱係数の測定実験を学生に習得せしめることは、その現象的な諸問題は一応密封線源を用いても実現できることがわかった。また定量的な値も自己吸収のない裸の線源とガスフロー型計数管を用いた場合に一致せしめるには、検出器、線源および散乱体の配置などに十分注意し、求められた値に幾何学的効率およびエネルギースペクトル分布による係数の補正を加えれば可能であるという結果をえた。

ただ今後の問題として、さらに yz 平面内の散乱電子の角度分布、距離 d の変化の影響、 $F(\theta, \varphi)$ 、 $f_{BS}(E)$ 、 $\phi(E)$ 、 G および f_e などの検討を十分におこなっておく必要がある。

参考文献

- 1) 日本放射性同位元素協会編, ラジオアイソトープ講義と実習, 丸善 (1966)

- 2) 日本原子力研究所ラジオアイソトープ研究所, 実験と演習, 基礎課程 (1960)
- 3) J. S. Nader et al : Nucleonics, Vol. 12 No. 6 (1954)
- 4) Bureau of Radiological Health and the Training Institute : Radiological Health Handbook, U. S. Department of Health, Education and Welfare (1970)
- 5) 山崎文男編 : 放射線, 共立出版 (1973)
- 6) W. J. Price : Nuclear Radiation Detection, McGraw-Hill (1964)
- 7) 江藤秀雄, 他共著 : 放射線の防護, 丸善 (1972)
- 8) 日本放射性同位元素協会編, アイソトープ便覧, 丸善 (1970)

(昭和50年9月10日受理)