

狭いスリットから放出するガンマ光量子の分布

鈴木 辰三郎

I 序 言

ガンマ線の吸収断面積や、計数管の性質を研究するためガンマ線用のスリットが使用されているが、これらはいずれも数 cm から数 mm のものである⁽¹⁾。

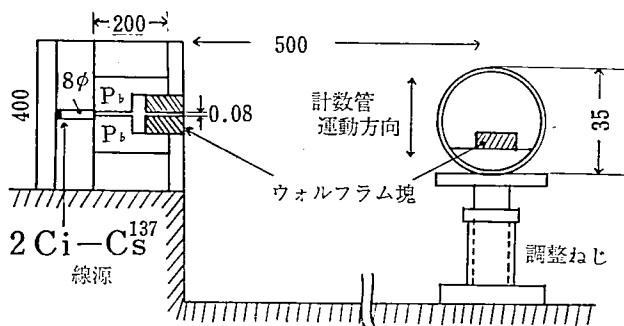
しかしながら計数管の部分的な特性を詳細に研究するためには、幅 0.1mm 以下の狭いスリットが必要で⁽²⁾⁽³⁾、このためウォルフラムの 0.08mm スリットを作った。ガイガー計数管や比例計数管では、陽極や管壁の一部では計数効率に異様な変化が観測され⁽²⁾⁽³⁾、その実験結果を解析するためには、このような狭いスリットから放出されるガンマ線の光量子分布を知る必要がある。このため特殊な計数管を設計製作した。この計数管はウォルフラム塊を内蔵しており、ガンマ光量子の分布を精密に測定することができたので、その結果を報告する。

II 実験方法

1. スリットとガンマ線のコリメーション

ガンマ線スリットは第 1 図に示すように、20mm×30mm×50mm のウォルフラムヘビーメタル（比重約 19）を 50mm×100mm×200mm の鉛ブロックに埋めこんだもの 2 個を間隔が 0.08mm になるように向い合せてつくり、ガンマ線源（2 キュリーの Cs—137）は別の鉛ブロックの径 8 mmφ の穴に入れてある。

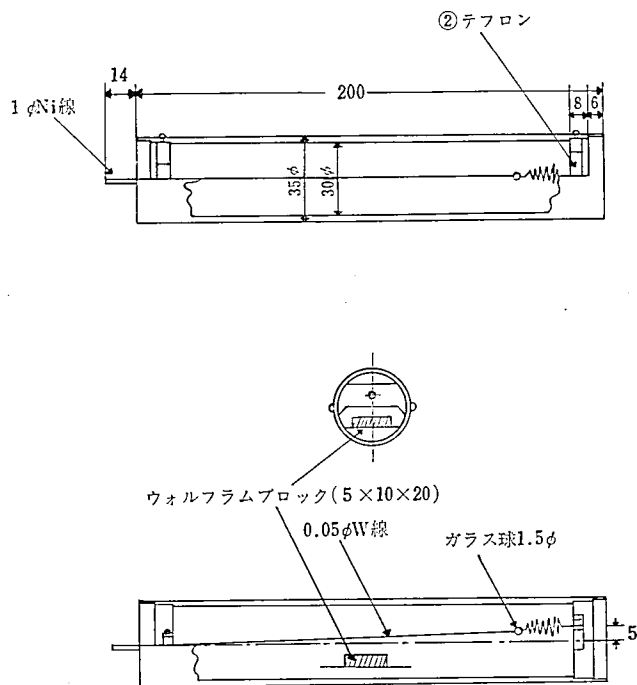
このスリットで、ガンマ線の放出される出口以外の場所は比重の大きい金属で遮蔽し、余分のガンマ線によって計測が妨害されないようにした。



第 1 図 ガンマ線スリット及び実験配置図

2. 計 数 管

ガンマ光量子の分布を正確に測定するためには、計数管の1部分だけが非常に大きいガンマ線計数効率をもつようにする必要がある。本研究では第2図に示すように外径35mm、内径30mmの真ちゅうのパイプに5mm×10mm×20mmのヘビーメタルのウォルフラム塊を入れ、0.05mmφの陽極はこのブロックから数mm離れるようにしてある。



第2図 本研究のため特に設計製作したガスフロー型計数管

3. 測定方法

第1図に示すスリットから20～30mmの距離に0.05mmφのウォルフラム及び白金の陽極をもった別の計数管をおき、陽極効果を利用して¹²⁾、毎分スリットから放出される光量子の総数を測定する。

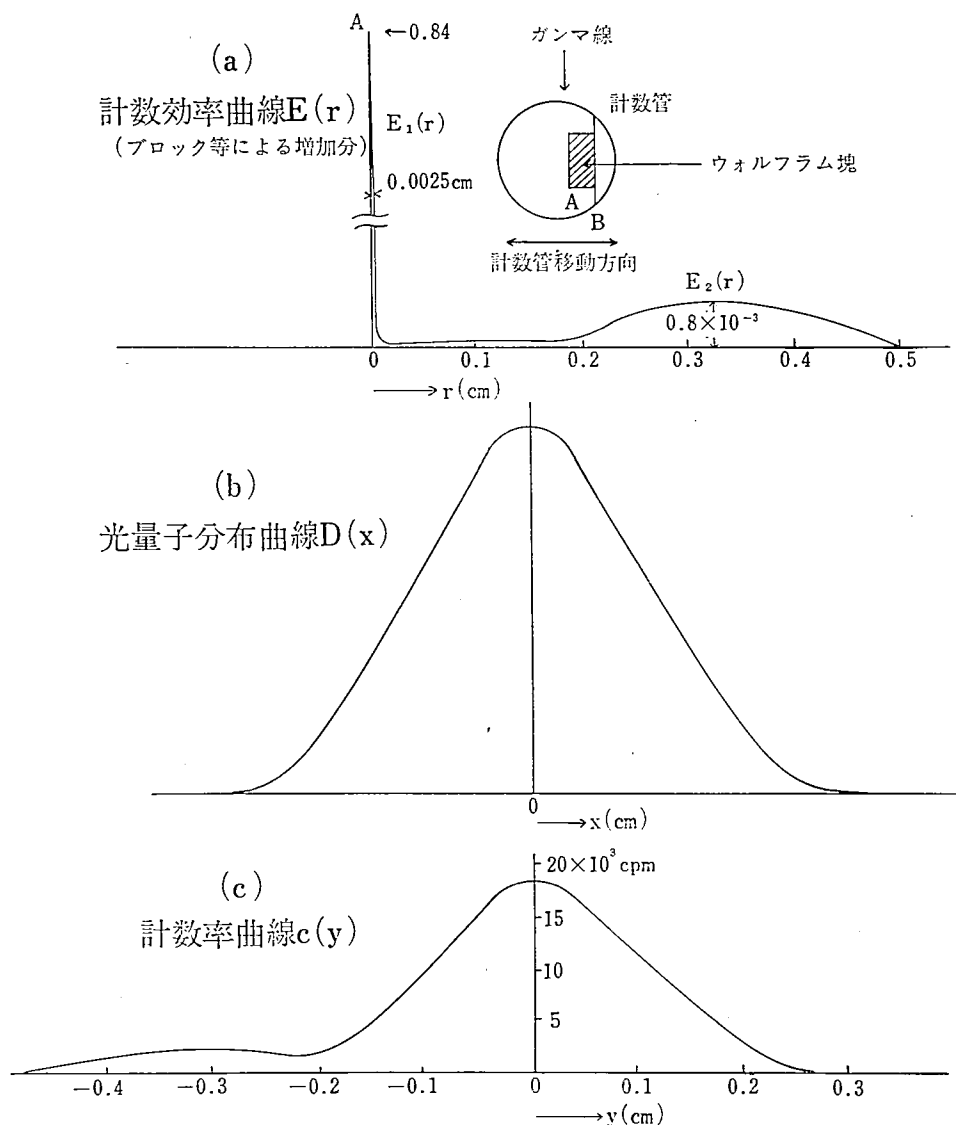
次で第2図に示す計数管を、その中心がスリットの出口から500mmの距離でガンマ線の方角と垂直な平面内にあるようにして、金属ブロックの上面が正しく γ 線の方角と一致するように調整し、計数管を上下に移動して、その移動距離に応ずる計数率を測定する。

III 測定結果と考察

本実験では、計数率に応じ各点における測定時間を選定し、計測標準偏差が1%以下になるようにした。

単位時間にスリットから放出されるガンマ線を陽極効果を利用して測定した結果、毎分174万個の光量子がでてくることが分った。更にスリットの附近(スリットの出口と計数管の中心の移動する平面との距離は7.3cm)で第2図の計数管を上下に移動させ金属ブ

ロック表面附近の計数効率を測定した。その結果（陰極の内壁附近でガンマ線が内壁に垂直に入射する部分の計数効率を差引いたもの）を第3図(a)に示す。



第3図 計数効率・光子分布及び計数率の関係—(6)式

次で第2図の計数管を 500mm の距離で同様に移動させて各位置の計数率を測定した。その結果を第3図(c)及び第4図（実線）に示す。

第3図(a)は計数管の効率の増加分で、そのうち $E_1(r)$ の部分は金属ブロックの表面による計数効率である。また $E_2(r)$ の部分は入射ガンマ線が計数管の内壁に対して小さな角度をなすために効率が増した量である³⁾。 $E_1(r)$ と $E_2(r)$ との中間のところでは、金属ブロックからの背面散乱電子による増加分と、金属ブロックが内壁の陰極と同電位にあるための電場の強さの減少による効率低下とが打消し合って、効率の増加分の殆んど零になる場

所がある, また $E_2(r)$ の部分では r が大きくなるほどガンマ線と内壁との角度が小さくなり計数は急激に増加する筈であるが (本誌本号「ハロゲン計数管の計数効率」参照) 一方電場は r が増すほど弱くなるため図のような形をとる。

ブロックの表面 ($r=0$) の附近 (深さ約 0.003cm 以内) で発生した多くの 2 次電子はカウンタガスの中に放出され, その部分では計数効率は極めて大きく, かつその半値幅は約 0.0025cm で非常に小さく, かつ第 3 図(a)で

$$\int E_1(r) dr = A \quad \dots\dots\dots(1)$$

は一定のとなるので,

$$\int \delta(r) dr = 1 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\int f(x) \delta(r-x) dr = f(x) \quad \dots\dots\dots(3)$$

で定義されるディラックのデルタ関数を用いるとこの部分の計数効率は近似的に

$$E_1(r) = A\delta(r) \quad \dots\dots\dots(4)$$

と数式化することができる。実験値を入れて計算すると A の値は約 0.00208cm となる。

(a)の計算効率 $E(r)$ を

$$E(r) = E_1(r) + E_2(r) \quad \dots\dots\dots(5)$$

とし, 求めるべき光量子分布をスリットの中からの距離 x の関数 $D(x)$ として仮に第 3 図(b)であらわすと第 3 図によって観測される計数率 $C(y)$ は

$$C(y) = \int_{-\infty}^{\infty} E(r-y) D(r) dr \quad \dots\dots\dots(6)$$

となる⁽²⁾。 $E(r)$ と $C(y)$ とは観測値として測定されているので, 理論的には積分方程式 (6) を解けば光量子分布 $D(x)$ は求められる筈であるが, 計数率曲線の両端附近の観測値の精度が不十分なため, この実験では積分方程式から光量子分布関数を求めることは困難と思われる。本研究では (4) 式のデルタ関数を用いて近似計算をした。まず (5) 式と (6) 式から

$$\begin{aligned} C(y) &= \int E_1(r-y) D(r) dr + \int E_2(r-y) D(r) dr \\ &= C_1(y) + C_2(y) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(7)$$

とすると (3) 式 (4) 式から

$$\begin{aligned} C(y) &= A \int \delta(r-y) D(r) dr + \int E_2(r-y) D(r) dr \\ &= AD(y) + \int E_2(r-y) D(r) dr \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(8)$$

となる。(7) (8) において $E_2(r)$ は $E_1(r)$ に比して小さいので (最大値で約 1000 分の 1, 積分値で約 8 分の 1) この第 2 項は第 1 項に対して補正項と考えることができる。(8)式か

ら光量子分布曲線 $D(x)$ は

$$D(x) = \frac{1}{A}C(x) - \frac{1}{A} \int E_2(r-x)D(r)dx$$

となるので、第2項を省略した $C(y)$ のうち、第2項の影響の少ない右半分を y 軸に対して対称にとり、かつ

$$\int D'(x)dx = 1.74 \times 10^6 / \text{min}$$

と規格化した近似値 $D'(x)$ から

$$C_2'(y) = \int E_2(r-y)D'(x)dr$$

を計算し、 $C_1(y)$ の第1次近似値

$$C_1'(y) = C(y) - C_2'(y)$$

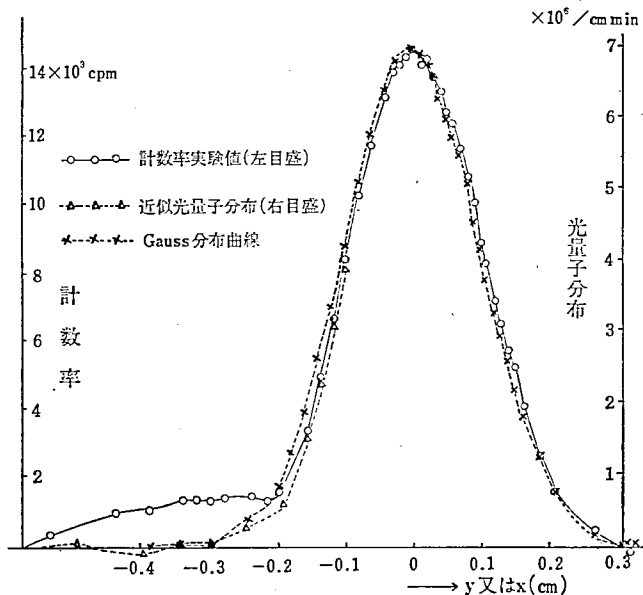
を求めることができる。(7), (4)式から

$$\begin{aligned} C'(y) &= \int E_1(r-y)D(r)dr \\ &= \int D(r)\delta(r-y)dr \\ &= AD(y) \end{aligned}$$

を考えると

$$D_1'(x) = \frac{1}{A}C_1'(x)$$

として光量子分布第1近似 $D_1'(x)$ を求めることができる。この操作を繰返せば希望する精度の光量子分布曲線が得られる。本研究では近似計算を2回行なって第2次近似の光量



第4図 狭いスリットから50cmの距離における
ガンマ光量子分布及び計数率

子分布曲線を求めた。その結果は第4図に示してあり、同図に示したガウス分布曲線とよく一致している。ガウス分布では半値幅と、単位時間に放出される全光量子数が実験値と一致するように定めてあり、 x をcmで表わすと

$$D(x) = 6.956 \times 10^6 \exp(-50.2x^2) \text{ 光子/cm. min.} \quad \dots\dots\dots(9)$$

となる。

IV 結 言

放射線計測や、放射線による検査等で、細いビーム状のガンマ線を要求される場合が多い。しかしながらスリット幅を小さくすると、単位時間に放出する光量子の数が減少し、測定誤差が大きくなり、また検査等に多くの時間を要するので放射線源として特に放射能の大きいものを用いる必要がある。

測定結果の検討に当っては、場所によるガンマ光量子の分布状態をよく知っておく必要があるが、実験結果の理論的な解析では、実験分布値を使うと計算の繁雑な場合が多いので、例えば(9)式のように数式化された光量子分布を用いる方が便利である。本研究のような狭いスリットでは光量子はほぼガウス分布となるが、スリット幅が大きくなるほど、矩形分布に近づくことを考慮しておく必要がある。

文 献

- (1) C. M. Davisson, R. D. Evans: Rev. Mod. Phys. Vol. 24, 79 (1952)
- (2) T. Suzuki: J. Atomic Energy Soc. Japan. Vol. 3, 416 (1961)
- (3) T. Suzuki: J. Atomic Energy Soc. Japan. Vol. 3, 329 (1961)