熱中性子によって生ずる放射能の簡易計算法[†]

岡 田 実

日本原子力研究所 東海研究所

放射性核種の製造に遅い中性子を使う場合、中性子エネルギーが広い範囲に分布していることが多い。しかし、生成放射能を計算するに当たって計算を簡単にするため熱中性子に着目し、それ以外の中性子を無視するのがふつうである。

そこで、熱中性子を使う場合の簡易計算法をここに説明する。

計 算 法

(1) 図2の曲線を図1に重ねる。そのさい、(i)曲線の水平部分を図1の横軸に平行に保ち、(ii)曲線上のP点が「照射時間に等しい目盛」の上に来るようにする。

照射時間が1時間の場合は図3のとおりになる。

(2) この曲線を上下に移動させることによって問題の点が曲線に乗るようにする。

ルテシウムとヨウ素と金の3例を図4に示す。

(3) 曲線の水平部分の高さを縦軸の目盛で読む。

ルテシウムの例では「ルテシウム 1 mg あたり 7×10^9 mCi の ^{176}Lu が生ずる」という答が読み取れる。

なお、利用する熱中性子束が異なる場合には、その熱中性子束と 1×10^{13} との比を図1の縦軸目盛の値に掛けて得られる新しい目盛を使えばよい。

この計算法の原理^{1), 2)}

天然元素から成る試料に熱中性子を t 秒間照射することによって試料内の一核種から生ずる放射能 A_t (sec^{-1}) はつぎの式で表わされる。

$$A_t = f \sigma_{ac} N (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

ここに f は熱中性子束 ($\text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$)、 σ_{ac} は問題とする天然核種の熱中性子放射化断面積 (cm^2)、 N は問題とする天然核種の原子の数、 λ は生成した放射性核種の壊変定数 (sec^{-1}) である。 N と λ は周知のとおりそれぞれつぎの式で表わされる。

$$N = N_A (W/M) K \quad (2)$$

図2 等放射化線の形

$$\lambda = \ln 2 / T \quad (3)$$

ここに N_A は Avogadro 数、 W は問題とする天然元素の量(g)、 M はその元素の原子量、 K はその元素の中における問題の天然核種の存在度、すなわち原子

[†] Rapid Estimation of Thermal Neutron Activation, Minoru OKADA: Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai Research Establishment, Tokai, Ibaraki.

図3 図式計算において照射時間を入れる方法の一例。照射時間が1時間の場合。

数比, T は生成した放射性核種の半減期(sec)である。

いま $1 - e^{-\lambda t} \equiv S$ と置けば, (1)~(3)式からつぎの式が得られる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{ac}K}{M} = \frac{A_t}{N_A f W} \cdot \frac{1}{S} \\ S = 1 - e^{-(\ln 2)t/T} \end{array} \right. \quad (4)$$

両対数方眼紙の縦軸に $\sigma_{ac}K/M$ を取り横軸に生成核種の半減期を取って天然核種を図中に配置すると図5が得られる。図の左上の部分にある核種は短時間に強く放射化される。また、短時間の照射によって、図の左下の部分にある核種を含む元素は、図の右上にある核種を含む元素と同じ程度に放射化される。たとえば1時間以下の照射による水銀とセシウムの放射化は同程度である。両核種を図上で結ぶ線は等放射化線とも言うべきものである。つぎに、この線の形を求める。

f 一定という条件のもとで時間 t_1 だけ照射することによってたがいに等しい比放射能に到達するような諸元素を考え、これらの元素における「生成核種の半減期 T と $\sigma_{ac}K/M$ との関係」をまず求める。いま、比放射能 A_t/W が一定であるから(4)式中の $A_t/(N_A$

図4 1時間照射の場合の計算において元素の種類を入れる方法の例。上はヨウ素とルテシウムの例。下は金の例。

fW) は一定である。したがって「 T と $\sigma_{ac}K/M$ の関係」を見る代わりに「 T と $1/S$ の関係」を見ればよい。そこで、両対数方眼紙の横軸に T を取り縦軸に $1/S$ を取り(5)式によって図2の曲線を描くと、これが等放射化線形である。図からわかるように、この曲線には2本の漸近線がある。

図2の曲線上で $T=t_1$ の点をPとする。

前記の計算法の(1)~(2)にならって図2を図5に重ねたとき、曲線に乗るいくつかの核種が等放射化元素を示す。等放射化元素の例は図4にもある。

f と S に適当な値を与えることによって図5の縦軸を A_t/W 値で目盛ることができる。図1はその一例であって、 $f=1 \times 10^{13} \text{ ncm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ と $S=1$ を与えたものである。

図5には省略したが、ウランの (n, f) 反応で生ずる核種に対応する多数の点は $1.4 \times 10^{-27} \text{ cm}^2$ よりも下にある³⁾。

文 献】

- 1) 岡田実：東工試，58，1～6（1963）
- 2) 岡田実：同位体と放射線，3，189～205（1960）
- 3) 岡田実：東工試，58，58～63（1963）

図1 $1 \times 10^{13} \text{ ncm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ の熱中性子によって半減期 20分～30 年の放射性核種を天然の元素から作る場合に使える放射能計算図表。図中の核種名はターゲットの核種。反応を付記したもの以外は (n, γ) 反応。下線を付けた核種は反応によって準安定核種になる。

図5 天然に存在する核種を「天然に存在する元素 1amu あたりの熱中性子放射化断面積」と「生成核種の半減期」とによって配列した図。反応を付記したもの以外は (n, γ) 反応。下線を付けた核種は反応によって準安定核種になる。