

資料紹介

The Role of Nuclear Data in Nuclear Material Safeguards

C. Weitkamp, A. V. Baeckmann, K. Böhnel, M. Kuchle and L. Koch

IAEA/SM-170/78

核燃料計量における核データの役割

久武和夫(東工大)

1973年3月にパリで開かれた核データ利用に関するIAEAシンポジウムの全般的内容は出席された更田さんからJNDCニュース№27に報告されている。その中でSafeguardsに関する報告が4つあり、ここで紹介するのは⑬(更田氏の通し番号)である。⑭も殆ど同じ題名であるが、中味は大分違う。⑭は核データよりも計測技術の方に重点を置いているので、その方の専門家に紹介して頂きたいと考えている。

Nuclear Material Safeguardsとは、核燃料サイクルにおいて核分裂物質を検出してその拡散を防ぐ目的で世界各国で採用しつつあるシステムである。この測定には古典的(非核物理的)手段を用いることは不可能であるか、非実的である。従ってこの測定には核燃料物質の核物理的性質を使うことになる。この報告の目的は核燃料計量に核データおよびその精度がどう影響するかを示すことにある。種々の方法の核データに対する依存度を第1表のように4つに分類される。

第1表 各種計測方法の核データ依存度

| 分類 | 方法の核データに対する依存度 | 例 |
|----|--|--------------------------------------|
| A | 方法そのものの将来性が核データに依存するもの。 | γ線共鳴散乱 中性子捕獲γスペクトル |
| B | 測定値を物理量(同位体の存在比, 物質の質量)に変換するために核データを必要とする。標準試料は使わない。 | αスペクトル 熱量測定 |
| C | 標準試料に対する相対値を測定するが、補正に核データを使う。 | 熱中性子照射して放射中性子を測定 放射化分析 n-γ同時計数 |
| D | 標準試料を使用するだけで十分なので核データは現状で十分。 | 崩壊γの測定速中性子法 |

(1) γ 線共鳴散乱

これは試料に γ 線を照射し共鳴散乱された γ 線をよく遮蔽された検出器で測定するものである。勿論照射 γ 線は試料の核の単位エネルギーに非常に近いものである必要がある。また核の反跳による γ 線のエネルギー損失は通常 γ 線幅の10倍位ある。従って ^{235}U 以外の γ 線源を探さなければならぬ。放射性同位体の γ 線エネルギーと ^{235}U の既知の単位エネルギーを比較して候補者が探されている。¹⁾ 1 MeV程度の単位に着目すると、 γ 線エネルギー、単位エネルギー共25 eVの誤差があり、そのうち22 eVが標準 γ 線の誤差で、13 eVが実験誤差である。²⁾ 10 eV以上の γ 幅はCoulomb fragmentation (気体分子が例えば電子捕獲のようなdecayの後、多価な状態となり分子が分解する現象)のような特殊な方法で得られる³⁾ のでこの方法は望みがないことはない。然し異った研究者のデータは規準エネルギー誤差の求め方がまちまちで論文によく書かれていないので比較できない。 ^{235}U の単位(1116.2 ± 0.2) keVと ^{66}Zn の(1115.518 ± 0.025) keV はうまく組合すことができるかも知れない。エネルギー以外の励起準位の性質すなわちスピン、 γ 線分岐比、準位の寿命等が分れば、共鳴散乱の寿命が計算できる。共鳴散乱の方法は他の方法に比べてかなり優れた方法であるけれども、上のような核データが測定されて始めてこの方法の有用性が決定されるだろう。

(2) 中性子捕獲 γ スペクトル

この方法も共鳴散乱法と同じく、核データの如何によって有用性が決まるものである。この方法が提案された後で、熱中性子捕獲による ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Pu の γ 線のエネルギーおよび発生断面積が測定された。その結果、その γ 線は原子炉を形造っている他の物質、Cr、Fe、Ni、Cuからの γ 線エネルギーより低く、強度も同程度であることが分った。従って余程統計よく計数しないとこの方法は無理だということが分った。もっと初期に核データが発表されておれば、この予想はその当時に出来た筈であった。

(3) α スペクトル

^{238}Pu の測定は原子炉中のPuを熱量法で決定するために重要であるが、この測定には α スペクトルの方法がよい。質量分析ではUからの238がさけられないからである。 ^{238}Pu の α 線と、 ^{239}Pu の α 線の値から3つのPu同位元素の重量比を決めるためには、これらの半減期を精度よく求める必要がある。

(4) 熱量測定

Puの半減期は余り長くないので、その崩壊熱の測定からその量が決定できる。この方法は精度のよい核データに依存している。標準試料を使うことは、パラメータが多すぎて実際のでない。そ

ういう意味でこの方法は α スペクトル法と共に、Puの量を絶対的に測定するよい方法である。原論文のTable Vには崩壊熱の実験データと崩壊Q値と半減期による計算値とが数値を上げて比較されている。 ^{239}Pu ではその差は0.01%にすぎないが、 ^{240}Pu では1.37%もある。これは両者の誤差の和よりも大きい。この点に関して核データの再検討が必要である。

(5) 中性子による分析技術

現在広く使われている核物質の非破壊分析法は試料に中性子を照射して、その結果放射される核分裂中性子を計数する方法である。照射中性子と核分裂中性子を区別する方法は、パルス中性子を使って遅延中性子のみを検出するか、低エネルギー中性子を照射線源に用いて、しきい値を持つ検出器で核分裂中性子を検出するか、核分裂中性子のmultiplicity(多重度)を使用するかである。

この場合は標準試料を用いて較正するのがよい。この方法はきれいな試料の場合はいまいくが、スクラップのようなものだとすましくない。特にHの含有量が主な誤差となり、核データの精度を超えてしまう。

(6) 放射化分析

この方法の一例は再処理工場での廃棄液中にふくまれる ^{235}U 、 ^{239}Pu の含有量を決定する場合である。この方法の原理は核分裂生成物 $^{88}\text{Kr} \rightarrow ^{88}\text{Rb}$ と $^{138}\text{Xe} \rightarrow ^{138}\text{Cs}$ の量を γ 線スペクトルで決定し、両者の生成量が ^{235}U 、 ^{238}Pu でかなり違うことを利用する。従って ^{88}Kr 、 ^{88}Rb 、 ^{138}Xe 、 ^{138}Cs の半減期、 ^{138}Cs の1426 keV γ 、 ^{88}Rb の1837 keV γ の強度、 ^{235}U 、 ^{239}Pu の核分裂断面積、 ^{88}Kr 、 ^{138}Xe の生成量を使わなければならない。然し測定系が標準試料で較正されておれば、上記の核データは余り重要でないが、実際には必ずしもそうも行かぬので、上記データを使わねばならない。

(7) 同時計数法

核分裂の際に数ケの中性子と数ケの光子が同時に放射されるので、同時計数法が分析に使われる。特にこの方法はPuのように自然核分裂をする同位体の含有量決定に役立つ。核データとして使われるのは、自然核分裂半減期、即発中性子数である。この場合も標準試料を多く用意すれば核データは不要であるが、現実にはそうも行かないので、内挿、外挿に核データが必要である。

(8) 自然崩壊 γ による分析法

^{235}U の量をこの方法で決定する場合には、これ以上核データの精度を上げては仕方がない。何となれば、 ^{235}U から放射される185 keV γ の自己吸収の補正が精度を決定しているからである。

Puの場合は非常にエネルギーが接近した γ 線が異った同位体から放射されるので自己吸収によ

る誤差はきかない。然し現在の所質量分析、 α スペクトル法の方が精度がよい。というのは γ 強度のデータが確立しておらず、測定者により2倍も違う場合もある。この種のデータはもっと精度よく測かる必要がある。

(9) 同位体相関

燃焼度と核分裂物質の量は計算よりも実験的に正確に決定できるので、使用燃料の同位体分析は燃料サイクルの一つの重要点となる。しかし同位体の溶液分析は非常に手数がかかるので、もっと簡単な方法が模索されている。同位体相関とは燃料中の同位体比と同位体含有量との相関である。一例をあげると、 ^{235}U の変化は $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比で決定できる。この量は個々の原子炉および ^{235}U の濃縮度に無関係である。別の例では燃焼度と $^{132}\text{Xe}/^{131}\text{Xe}$ 比の関係も原子炉の構造、とか初期の濃縮度に影響されない。

このような相関性を理解するためには、燃焼度計算と実験を比較することが必要である。この点に核データが必要であるが、現在の所計算と実験の一致はよくない。しかしこれは核データのせいだけでないかも知れない。例えば計算に使用したエネルギー群の分け方に問題があるかも知れない。

(10) 結 語

上にあげた9つの方法は核データと多かれ少なかれ関係しているが、よりよい核データが測定方法を劇的に進歩させる場合は多くない。その主な理由は較正用の標準試料が使えるからである。また試料が複雑なことも原因している。また今までの研究が測定器の開発に重点があり、この測定器を実用に供するシステムに重点がなかったためであろう。このようなシステムの研究が核データ利用の前提条件であろう。

文 献

- (1) Weitkamp, C, KFK 1745 (1973), in press
- (2) Helmer, R.G., Greenwood, R.C., Gehrke, R.J., Nucl. Instr. and Meth. 96 (1971) 173.
- (3) Metzger, F.R., Phys. Rev. Letters 18 (1967) 434.