

核データ部会・炉物理部会合同企画セッション

(5) 断面積以外の活動—遅発中性子 (SG6) と FP 崩壊熱 (SG25)

武蔵工業大学

吉田 正

tyoshida@sc.musashi-tech.ac.jp

1. はじめに

一昨年の 2005 年春、ベルギーのアントワープ中心街（写真は会場窓からの眺め）で開催された WPEC 年会で、崩壊熱の pandemonium 問題（後出）に絡んだ新しいサブワーキンググループ（現在の SG25）の設立を提案した。これに対しロシアの Ignatyuk 氏が、「これは断面積の問題ではないから・・・」と難色を示したが、NEA の Nordborg 氏が「今までにも断面積以外の核データを扱うサブグループは存在した」と助け舟を出してくれて、他に反対意見はなく、SG25 の新設は承認された。その「今までにもあった断面積以外の核データを扱うサブグループ」が SG6 “Delayed Neutron Data for Major Actinides”である。



2. 遅発中性子データ（サブグループ 6）

SG6 の設立はその番号からも推察できるとおりかなり古く、1990 年にまでさかのぼる。ウプサラ大学の G. Rudstam 氏をコーディネータに活動を開始したが、しばらく実質的な前進がないまま時が過ぎ、1997 年、イタリア ENEA の D'Angelo 氏がコーディネータを引き継いでから活動が活発化した。このように、かつては WPEC の活動ものんびりしていて、現在のように 2 年ないし 3 年の期間をぴったり切って、期間内に確実に結論を出して終了するというスタイルは定着していなかった。SG6 の目的は主要アクチナイド ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu の遅発中性子データの精度向上である。報告書[1]の冒頭には次のような記述がある。

『現状の実効遅発中性子割合 β_{eff} のC/Eには10%におよぶ不一致があり、原子炉制御系の設計・運用に望ましくないマージンを見込まなければならない。遅発中性子にかかわる誤差は以下のように分類されよう。絶対収率(v_d)4~5%、グループパラメータ3~15%、遅発中性子エネルギースペクトル10~20%』

同報告書は遅発中性子に関する微分データ、積分データを広範にレビューした後、JAEAの桜井・岡嶋両氏の論文[2]も引用しつつ、SG6の推奨データから計算される β_{eff} は、目標精度3% (1- σ ベース)を達成するだろう、と微妙な表現で結論をのべている。原文は“It is considered that using these averaged values the target accuracy of 3% will be achieved in β_{eff} calculations, and for fast spectrum systems the accuracy could be closer to 2%.”

報告書でさらに特徴的なのは、Keepin[3]以来の遅発中性子放出時間群6群を8群に拡張する提案をおこなっていることである。8つの各時間群の半減期は、それぞれ、55.6s, 24.5s, 16.3s, 5.21s, 2.37s, 1.04s, 0.424s, 0.195sである。この新たな提案の売りは、55.6sが ^{87}Br 、24.5sが ^{137}I 、16.3sが ^{88}Br 、という具合に、はじめの3つの群の半減期が、 ^{87}Br 、 ^{137}I 、 ^{88}Br という三大先行核の実際の半減期に正確に一致しているため、遅発中性子発生量の長時間側の漸近挙動が正確に再現されることがひとつ。つぎが、核分裂する親核種の如何にかかわらず同じ時間群を使えることであるとしている。JEFF-3.1は下に示すように、この提案を採用している。JEFF関係者とこの話をし、設計コードや解析コードと折り合いは大丈夫かきいたところ、メリットが分かればユーザーが対応するさ、というあっさりした答がかえってきた。

* * * * *

U-235

9.223501+4	2.330250+2	0	2	0	09228 1455	1
0.000000+0	0.000000+0	0	0	8	09228 1455	2
1.246670-2	2.829170-2	4.252440-2	1.330420-1	2.924672-1	6.664877-1	19228 1455
1.634781+0	3.554600+0					9228 1455
0.000000+0	0.000000+0	0	0	1	109228 1455	5

8群

同じ時間群分割

8群

PU-239

9.423900+4	2.369980+2	0	2	0	09437 1455	1
0.000000+0	0.000000+0	0	0	8	09437 1455	2
1.246670-2	2.829170-2	4.252440-2	1.330420-1	2.924672-1	6.664877-1	19437 1455
1.634781+0	3.554600+0					9437 1455
0.000000+0	0.000000+0	0	0	1	129437 1455	5

* * * * *

一方、JENDL-3.3 と ENDF/B-VII は従来手法との整合性に重きを置き、6 群分割を採用している。ENDF/B-VII の例を次に示す。JENDL-4 でどうするのか、議論しておく必要があるろう。

* * * * *

U-235

9. 223500+4	2. 330248+2	0	2	0	09228 1455	0
0. 000000+0	0. 000000+0	0	0	6	09228 1455	1
1. 249056-2	3. 182406-2	1. 093753-1	3. 169898-1	1. 353983+0	8. 636377+0	09228 1455
0. 000000+0	0. 000000+0	1	1	1	69228 1455	3

6群



異なった時間分割

PU-239

9. 423900+4	2. 369986+2	0	2	0	09437 1455	0
0. 000000+0	0. 000000+0	0	0	6	09437 1455	1
1. 248110-2	2. 994667-2	1. 071553-1	3. 176193-1	1. 352380+0	1. 069116+0	19437 1455
0. 000000+0	0. 000000+0	0	0	1	49437 1455	3

6群



* * * * *

3. FP 崩壊データ (サブグループ 25)

冒頭、1. はじめに述べた経緯で設立された SG25 だが、内容については、本誌上でなんども書かせていただいている[4], [5]。興味をお持ちの方は[4], [5]をご覧くださいとして、ここでは補足とその後の進捗についてだけ手短かに述べよう。短寿命、高 Q_{β} 値核の崩壊スキームにつきまとう pandemonium 問題とは、ベータ崩壊後の娘核の複雑なガンマ遷移のため、我々の知る崩壊スキームでは、高励起域にある準位が完全に抜け落ちていたり、あるいは不完全だったりするという問題である。

この pandemonium 問題の根の深さを実例で示そう。図はそれぞれ JEF-2.2 と JEFF-3.1 の崩壊データを用いて、 ^{239}Pu 瞬時照射後の崩壊熱のガンマ線成分を計算したものである。JENDL ではなく欧州の JEF-2.2 と JEFF-3.1 を引用しているのは、欧州では JENDL や ENDF/B-VI のように pandemonium 問題に対する理論補正を採用していないがために、pandemonium 問題があからさまに崩壊熱計算結果に表れるためである。全体が測定値よりかなり低いのは pandemonium 問題からの帰結である。高励起域にある準位が抜け落ちていけば、とうぜん全励起準位からのガンマ線の全エネルギーは過小評価される。それが図の結果につながる。

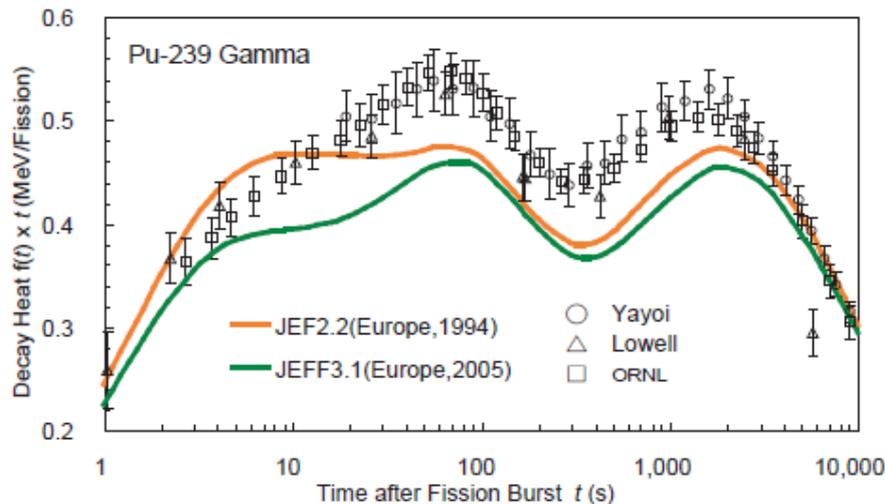


図 Pandemonium 問題の崩壊熱ガンマ線成分への影響

さらに興味深いのは 1994 年に公開された JEF-2.2 よりも、その後あらたに蓄積された新しい崩壊データを取り入れ 2005 年に公開された JEFF-3.1 の方が更に過小評価の程度が激しくなっている点である。1994 年時点では崩壊スキームが無い短寿命核種については、 Q_{β} を三等分し、1/3 のエネルギーをニュートリノが持ちだし、残り 1/3 ずつをベータ線とガンマ線が持ち出すものと簡単に仮定していた。その後の十年間に利用可能となった新しい崩壊データ（崩壊スキーム）を JEFF-3.1 にとりこんだため、これらデータに内在していた pandemonium 問題が一緒にとりこまれ、かえって傷を深くしたというのが実情である。

4. おわりに

理論計算予測にたよらず、実験データのみで pandemonium 問題を克服する有力な手段として TAGS (Total Absorption Gamma-ray Spectroscopy) が脚光を浴びた。この手法で FP の崩壊データを採るという長期計画を持つスペイン・バレンシア大学を中心としたグループと密に連携し、pandemonium 問題を克服していこうと設立されたのが、冒頭で述べた WPEC のサブグループ (SG25) である。SG25 は、崩壊熱ガンマ線成分の冷却時間 300~300 秒での不一致が Tc 同位体由来するであろうとした筆者らの問題提起[6]の実験による解決という幸先のよいスターをきり[7]、測定候補核種を選定することで本来の目的をほぼはたした。現在最終報告の推敲中である。今後何年間かはバレンシア大グループの実験の着実な進展を見守ることになる。結果に期待したい。

参考文献

- [1] G. Rudstam, P. Finck, A. Philip, A. D'Angelo, R.D. McKight , “Delayed Neutron Data For the Major Actinides,” NEA/WPEC-6
- [2] T. Sakurai, S. Okajima, J. Nucl. Sci. Technol, Vol.39, No.1 (2002) pp.19-30
- [3] G.R. Keepin, “Physics of Nuclear Kinetics”, Addison-Wesley Publishing (1965)
- [4] 吉田 正、「IAEA 諮問家会議『ベータ崩壊と崩壊熱』」、本誌、No. 83 (通巻 119 号) 2006 年 2 月
- [5] 吉田 正、「崩壊熱研究の最近の動向と WPEC 新サブグループ SG25」本誌、No. 85 (通巻 121 号) 2006 年 10 月
- [6] T. Yoshida, T. Tachibana, F. Storrer, K. Oyamatsu, J. Katakura, J. Nucl. Sci. Technol, Vol.36, No.2 (1999) pp.135-142
- [7] A. Algora *et al.*, “ β -Decay Data Requirements for Reactor Decay Heat Calculations: Study of the Possible Source of the Gamma-ray Discrepancy in Reactor Heat Summation Calculations,” presented at Int. Conf. Nuclear Data for Science and Technology, Nice (April 2007)