

資料紹介

Une etude du desaccord entre les valeurs calculée et mesurée de l'integrale effective de capture de l'uranium 238, H. Tellier et al.^{*}, CEA-N-2078(1979)

NAIG 吉田 正

U-238の実効共鳴積分に関して、共鳴パラメータから計算された値と、積分実験からのものとの間に看過し得ない不一致が見られる。これは炉物理・核データコミュニティでの年来のPuzzling problemsの一つであった。1975年には、BNLでこの問題に焦点を合わせたかなり大がかりな専門家会議が開催された程で(NEANDC(US)192L, 1975), 特にそれ以後、欧米ではU-238の共鳴パラメータの高度測定の結果が、多数報告されている。我が国では原研中島氏らの測定がある(1975)。

ここで紹介する資料は、サクレーのグループによる上記の問題への炉物理側からの対応の一つで、1978年のGatlinburg会議^{注)}で発表された“an attempt to explain the U-238 resonance integral discrepancy”を発展させた仕事である。

序論の要旨は次のようなものである。U-238の共鳴積分では、共鳴パラメータから計算された値が、積分実験値より常に大きい。この問題はphysicistsの興味を引き、断面積の再測定が行われ、共鳴パラメータに関する知識は近年増大している。しかし、共鳴パラメータだけを置き換えても、上記の不一致は解消しない。断面積の計算法の問題がここに介在する。 $\langle \Gamma \rangle / \langle D \rangle$ の小さな、U-238のような核では、断面積はBreit-Wignerの一準位公式(以下BW式と略記)で精度良く記述出来るとされている。これは σ_γ については正しいが散乱断面積については正しくないことが、ORNLの厚いサンプルのtransmissionの測定の解析から明らかになってきた。散乱断面積のこの干渉の効果は、実効共鳴積分の計算に、複雑な形で入り込むことになる。

この序論のあとを受けて、著者らはまず、U-238中性子データを、特に共鳴パラメータに重点をおいてレビューする。更に、最新の測定データを考慮しながら新しい評価済み共鳴パラメータセットを作成し、ENDF/B-4と比較する(TABLEAU II)。B-4に比し、 Γ_γ の

^{*}) H. Tellier, M. Grandotto-Biettolli, J. Vanuxeen

注1) ANS Topical Meeting on Advanced Reactor Physics, CONF-780401(1978)

きなり小さくなっているのが特徴的である。更に第Ⅲ章では、序論にあったORNLでの transmission¹⁾の解析をBW式と多単位公式(以下ML式と略記;ここではReich-Mooreの両方で行い、散乱断面積の計算にML式が必須であることをdemonstrateしている。なおML解析に際しても、p波はBW式で扱われ、ドブラー効果は“convolution numerique”法を用いて考慮されたと記されている。

以下、新しい微分測定結果を採り入れて作成した評価済パラメータセットを、BW、ML両式で処理し、これをベースに熱中性子炉系の積分実験の解析を行っている。結果は用いられた formalism (BWかMLか)、及びパラメータセットの観点から検討されており、ここでやや詳細に紹介しておこう。

1. 多単位効果の重要性

a). 実効共鳴積分 I_{eff} への影響

多単位効果を次のように書こう。ここでRMはReich-MooreのML式を用いたとの意味である。

$$\frac{\Delta I_{eff}}{I_{eff}} = \frac{I_{eff, BW} - I_{eff, RM}}{I_{eff, RM}}$$

ΔI_{eff} をdilutionの関数としてFIGURE 10に示す。普通のPWR latticeのdilutionでは、ML効果は-1%ほどとなり、無視出来ない。この結果、U-238のepithermal capture ratioは小さくなる。これは望ましい方向である。

b). 反応度収支への影響

反応度へのML効果を、 $\Delta k_{eff} = k_{eff, RM} - k_{eff, BW}$ と書く。計算は種々のセル及び燃料ビン半径の、グラファイト、重水及び軽水latticeについて行われた。結果はTABLEAU IVに示されている。ML効果は、スペクトルによってlattice毎にかなり異なる。また Δk_{eff} とslowingdown density q は強くcorrelateし、ほぼ $\Delta k_{eff} = -924(q-1)$ という関係で表わすことが出来る。代表的なPWR latticeではML効果は300~350pcm程度で、無視し得ない大きさである。

2. ライブラリー間の比較

本レポートで用いられたU-238の断面積と、他の核データライブラリーとを、積分量で比較検討する。比較の際の標準としては、常温の種々のタイプのlatticeの測定値を用いてadjustedされた、adjusted UKNDL 68 計算値を採る。

a). 反応度収支

adjusted UKNDL 68の結果を基準に、各ライブラリーの反応度のズレをTABLEAU Vにまとめている。TABLEAU IIの評価済みパラメータセットを含む最新のライブラリーをML式で処理したもの(nouvelles donnees nucleaires et multiniveau)は基準計算値と最も良く一致している。^{注2)} ML式を用いたこと、共鳴パラメータに最新のデータを採用したこと、高エネルギーでも新しいデータを用いたことが良い結果を与えた原因だが、三番目(高エネルギー断面積)の効果は小さい。

b). 温度係数

Doppler 効果を検討するためKRITZ実験^{注3)}の結果を利用する。KRITZ latticeは外部熱源により一様に加熱され、反応度変化が測られている。TABLEAU IVは、測定値が $\Delta k_{eff} = 0$ となるようにまとめられている($20^\circ \rightarrow 210^\circ \text{C}$)。どの核データベースでも、測定値からのズレは約 $-4 \text{ pcm}/^\circ\text{C}$ となっており、核データを更新しても、一致は改善されていない。

c). Pu 生成量

Pu 生成量は、動力炉運転上重要な量である。adjusted UKNDL 68を使った場合でも、 30 MWJ/kg までの燃焼ではPu 生成量が4~5%過大評価されることがわかっている。このadjusted UKNDL 68を基準に、他のデータベースでの計算結果を比較し、TABLEAU VIに示す。adjusted UKNDLで4~5%の過大評価であるから、本レポートの手法(nouvelles données nucléaires et multiniveau)では、2.5~3.5%の過大評価に止まる。この程度の誤差は、他の原因(Pu-239の σ_a 、燃料温度等の誤差)からも起り得る。以上のような結果をもとに、著者らは次のように結論づけ、レポートを結んでいる。

結 論

U-238の実効共鳴積分に関する問題を完全に解決した訳ではないが、計算値(マイクロベース)と積分実験値との間の不一致は、おおかた解消したと考えて良い。実際、最新の共鳴パラメータから出発し、多単位公式で処理した実効断面積を用いると、常温のthermal latticeの k_{eff} 測定値を正しく再現出来る。更に多数の、タイプの異なるlatticeを対象とした同種の研究²⁾でも、このことが確かめられている。照射燃料中のPu 生成率についても、計算と測定の間の一一致はかなり小さくなり、残された不一致もかなりの程度Pu-239の吸収断面積と燃料実効温度の

注2) adjusted UKNDL 68は、adjustmentの結果、熱中性子炉系の k_{eff} 測定値を良く再現出来るようになっているという前提がある。

注3) SwedenのStudsvikにある軽水臨界集合体

不確かさに帰せられよう。最後に、温度係数に見られる計算値と測定値間の不一致については、多準位公式の使用やライブラリーの改訂によっても、改善は見られない。おそらく、これはU-238の共鳴吸収以外の問題に起因していると考えられよう。しかし、新しい微分測定に準拠したライブラリーと、多準位公式の採用により、全体として十分満足の行く結果が得られることは注目に値する。

1) D.K.Olsen et al., ORNL/TM-5256 (1976)

2) P..Reuss, These de Doctorat (1979)

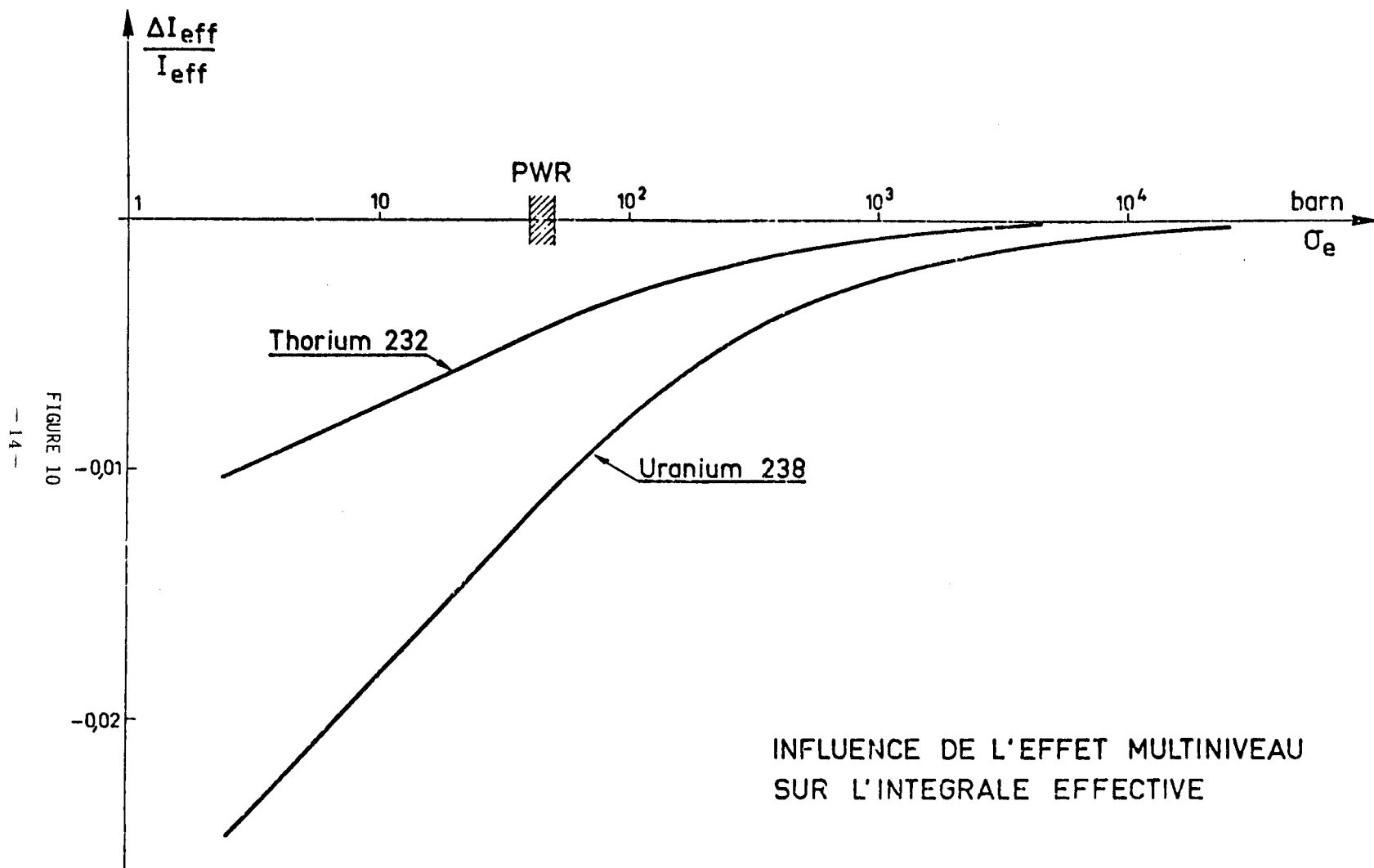
TABLEAU II

Valeurs des paramètres de résonances recommandées par ENDF/B4
et valeurs utilisées dans ce travail (en meV)

Energie (eV)	ENDF/B4	Ce travail
6,67 Γ_n	1,50	1,48
Γ_γ	25,6	23,0
20,9 Γ_n	8,8	9,7
Γ_γ	26,8	23,0
36,8 Γ_n	31,1	33,0
Γ_γ	26,0	23,0
66,1 Γ_n	25,3	25,0
Γ_γ	23,5	23,0
80,7 Γ_n	2,0	1,9
Γ_γ	23,5	24,0
102,4 Γ_n	71,0	70,0
Γ_γ	26,0	24,0
116,4 Γ_n	28,27	26,0
Γ_γ	23,5	22,5
189,6 Γ_n	169	169
Γ_γ	24,7	23,5

Energie (eV)	ENDF/B4	Ce travail
208,4 Γ_n	55,1	53,0
Γ_γ	23,5	22,0
273,2 Γ_n	27,0	26,0
Γ_γ	23,1	22,5
291,0 Γ_n	16,98	16,0
Γ_γ	23,1	22,5
347,7 Γ_n	83,6	81,0
Γ_γ	23,5	23,0
307,4 Γ_n	6,4	6,0
Γ_γ	25,2	24,0
410,2 Γ_n	20,6	19,0
Γ_γ	22,6	21,9
433,7 Γ_n	9,98	9,2
Γ_γ	23,5	23,0
462,8 Γ_n	5,5	5,0
Γ_γ	23,5	23,0

Energie (eV)	ENDF/B4	Ce travail
518,3 Γ_n	51,6	49,0
Γ_γ	24,4	23,8
535,2 Γ_n	47,0	44,5
Γ_γ	23,5	23,0
579,9 Γ_n	44,1	40,0
Γ_γ	23,5	23,0
594,8 Γ_n	85,1	85,1
Γ_γ	23,1	22,4
619,8 Γ_n	33,0	30,0
Γ_γ	23,5	22,5
628,5 Γ_n	6,7	5,4
Γ_γ	23,5	23,0
661,1 Γ_n	135,6	130,0
Γ_γ	25,1	24,5
692,9 Γ_n	43,8	42,0
Γ_γ	24,1	23,4



INFLUENCE DE L'EFFET MULTINIVEAU
SUR L'INTEGRALE EFFECTIVE

TABLEAU IV

*Influence de l'effet multiniveau
sur le bilan de réactivité*

Réseau	Rayon combustible cm	Rayon cellule cm	Densité de ralentissement	Δk_{eff} pcm
Graphite Uranium naturel	1,5	10,83	0,763	315
	2,0	12,64	0,738	329
	2,0	17,87	0,835	157
	2,5	17,87	0,785	218
Eau lourde Uranium naturel	1,46	6,77	0,769	238
	1,46	9,59	0,839	122
	1,46	11,85	0,873	82
	2,2	9,59	0,760	224
Eau légère Uranium enrichi	0,413 [*]	0,714	0,576	331
	0,447 [*]	0,738	0,555	358
	0,492	1,513	0,864	125
	0,492	1,141	0,709	238
	0,492	0,948	0,622	378

^{*} réseau à oxyde d'uranium

TABLEAU V

Comparaison des diverses bibliothèques pour le calcul de k_{eff}
 $(\Delta k_{eff} = k_{eff} - 1 \text{ en pcm})$

Bibliothèque \ Réseau	Graphite	D ₂ O	H ₂ O 15x15	H ₂ O 17x17	TRX2
UKNDL 68 ajustée	0	0	0	0	0
UKNDL 68 sans ajustement	- 1140	- 895	- 675	- 615	- 555
Nouvelles données nucléaires et simple niveau*	- 452	- 352	- 192	- 296	- 300
Nouvelles données nucléaires et multiniveau*	- 136	- 114	+ 166	+ 35	- 62

* sans aucun ajustement

TABLEAU VI

Comparaison des diverses bibliothèques pour le calcul du coefficient
de température et de la production de plutonium

Bibliothèque	Variation de k_{eff} avec la température $\Delta\theta = 190 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta k_{eff} \text{ en } 10^{-5}$	Variation relative de Pu239/U238 en %		
		I=10 MWJ/kg	I=20 MWJ/kg	I=30 MWJ/kg
UKNDL 68 ajustée	- 747	0	0	0
UKNDL 68 sans ajustement	- 854	+ 3,5	+ 4,1	+ 4,7
Nouvelles données nucléaires et simple niveau*	- 864	+ 1,2	+ 1,6	+ 2,1
Nouvelles données nucléaires et multiniveau*	- 748	- 1,6	- 1,6	- 1,6

* sans aucun ajustement