

Consultant Meeting "EXFOR Data in Resonance Region and Spectrometer's Response function" に関する会合報告

日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究部門
応用核物理研究グループ

木村 敦

kimura.atsushi04@jaea.go.jp

1. はじめに

平成 25 年 10 月 8 日～10 月 10 日の日程でウィーンの IAEA 本部で開催された EXFOR に関する核データコンサルタント会合、“Consultants’ Meeting on EXFOR Data in Resonance Region and Spectrometer’s Response Function”に、日本からは筆者が参加してきた。本稿では、会議の内容を私の理解し得た範囲内で報告させていただきます。

2. 会合の目的と概要

皆様ご存じのとおり、IAEA の Nuclear Data Service では、EXFOR と呼ばれる断面積の実験値や共鳴パラメータのデータベース (<https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>) を運用している。しかしながら、EXFOR に記載されている多くの実験値には簡単な実験条件などは記載されているものの、詳細な実験・解析条件、実験装置の中性子の時間分布 (response function)、発生要因毎に分離した誤差がほとんどの場合格納されていない。そのため、実験結果を他の装置で行った実験結果と比較することが困難だけでなく、EXFOR に掲載されている、実験装置が異なる複数の実験値を用いた共鳴パラメータの再評価による精度の向上や、共分散の導出もできない状況となっている。

そこで、本会合の目的は、共鳴領域の実験結果を EXFOR へ登録する際に、測定装置固有の中性子の時間分布、詳細な実験条件、測定値の誤差をどのように格納するか検討する事であり、欧州、米国及び日本で核データ測定を行っている代表的な研究所の 7 名の研究者、及び実際に EXFOR の管理を行っている IAEA の 3 名の研究者が参加した。以下に参加者のリストを示す。

会議の参加者等

議長	Peter Schillebeeckx 氏	ベルギー	EC-JRC-IRMM (欧州標準研究所)
報告者	Frank Gunsing 氏	仏国	CEA Saclay (サクレ原子力・代替エネルギー庁)
	Gilles Noguere 氏	仏国	CEA Cadarache (カダラッシュ原子力・代替エネルギー庁)
	Gasper Zerovnik 氏	スロベニア	IJS (ヨーージェフ・ステファン研究所)
	Yaron Danon 氏	米国	RPI (レンセラー工科大学)
	Klaus H. Guber 氏	米国	ORNL (オークリッジ国立研究所)
	Stanislav Simakov 氏		Head of Nuclear Data Service Unit, IAEA
	Valentina Semkova 氏		Nuclear Data Services Unit, IAEA
	大塚 直彦氏		Nuclear Data Services Unit, IAEA
	木村 敦		JAEA (筆者)

3. 会合の概要

参考資料 I に記載した Agenda にあるように、本会合は IAEA 核データサービスユニットの長である Stanislav Simakov 氏の挨拶、参加者の自己紹介、会議のとりまとめでもある Valentina Semkova 氏から本会議の概要説明、大塚直彦氏から EXFOR の概要説明で始まり、Peter Schillebeeckx 氏からは、IRMM にある GELINA での全断面積測定及び中性子捕獲反応断面積の測定法と誤差の発生要因を示した後に、既に EXFOR で採用されている誤差を記述する新しいフォーマット (Analysis of Geel Spectra Format: AGS フォーマット、Becker et al., JINST 7 (2012) P11002) の紹介があった。

その後、Peter Schillebeeckx 氏から IRMM にある GELINA について、Frank Gunsing 氏から CERN にある n₂TOF について、Yaron Danon 氏が RPI にある鉛スペクトロメータについて、Klaus H. Guber 氏から ORNL にある ORELA について、Gasper Zerovnik 氏から INS (Grenoble) にある鉛スペクトロメータについて各実験装置の response function、断面積の測定例、EXFOR への登録例などが報告された。

筆者は J-PARC/MLF にある中性子核反応測定装置 (ANNRI) の代表として ANNRI の response function の計算・測定結果 (K. Kino et al., Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A, 736 (2014) 66.)、Cm 同位体の中性子捕獲反応断面積の測定結果やその誤差 (A. Kimura, et al., J. Nucl. Sci. Technol. 49 (2012) 708.)、AGS フォーマットを用いた EXFOR への登録について報告を行った。

なお、各発表の詳細については <https://www-nds.iaea.org/index-meeting-crp/CM-RF-2013/> に発表資料の pdf ファイルがあるので参照いただきたい。

4. 議論の結果

各報告の終了後、実際に EXFOR に格納する方法や格納すべき内容についての討議が行われた。EXFOR は実験者（＝EXFOR への実験データの登録者）に登録を依頼して実験値を登録していただいていることから、実験者の負担を軽減するために各施設がすべき事についても同時に議論を行った。

(1) response function について

response function は同一の施設であっても実験装置の運転状況、実験条件によって異なる。また、時間分布の表し方も、施設によって中性子エネルギーと時間の 2 次元分布で与えられている場合、SAMMY や REFIT 等の解析コードに取り込まれている場合、時間分布を何らかの関数でフィッティングしている場合などがあり、特定の書式で EXFOR に格納するのは困難であるとの結論に達した。そのため、施設毎に代表的な中性子の時間分布を各施設が EXFOR のホームページ上に参考文献の情報と共に別途格納するとともに、中性子分布に影響を与える実験条件についてはテンプレートを作成しそれによって EXFOR に格納するとの結論に達した。

(2) 実験・解析条件

実験・解析条件については、筆者が登録した Cm 同位体の実験条件のテーブルをもとに、解析条件や実験装置の運転条件などを加えた参考資料 II のようなテンプレートを実験施設毎に作成した。このテンプレートは同一の施設で実験を行った場合多くの項目が同じになるため、各施設においてテンプレートにあらかじめ共通の項目を書いたものを作成して実験者に公開することにより、実験者の負担を軽減することとなった。そして、実験者には EXFOR への実験値の登録に際しては、テンプレートの内容を実験条件に合わせて変更した物を作成して頂き、実験値と一緒に登録していただくようお願いするとの結論に達した。

(3) AGS フォーマットでの登録（発生要因毎に分離した誤差の登録）

データの登録に際しては、実験者に対して AGS フォーマットを用いて誤差要因毎に登録し、少なくとも中性子のエネルギーに依存しない（実験結果全体に同じ割合で含まれる誤差）と依存する誤差は分離して登録するよう強く推奨することとなった。参考資料 III に AGS フォーマットのヘッダー部分の例を示す。例（Cm の測定結果）の場合、ビン毎にそのビンの中性子エネルギーの中心値、得られた断面積、誤差のデータ 6 種類の計 8 個のデータを記述し、規格化などによって発生した中性子エネルギーに依らない誤差は別枠で与えている。

(4) その他の内容

これらの他にも、その他にも可能であるならば、

- 中性子エネルギーではなく Time-of-flight を利用する。
- Time-of-flight がゼロのガンマフラッシュの部分から登録する。
- 断面積以外に実際の測定値等も登録する。

事を実験者にお願いすることとした。

なお議事録は INDC(NDS)-0647 として出版される予定である。

5. 謝辞

最後に、IAEA 核データセクションの大塚直彦氏には会合の手続きから、会議中、更には会議終了後の夕食まで大変お世話になりました。この場を借りて御礼申し上げます。



会議の Social event（レストラン“Ofenloch”）での一幕。

写っている食事はヴィーナー・シュニッツェル（Wiener Schnitzel）と呼ばれるウィーン名物の子牛のカツレツ。（美味しかったです。）

参考資料 I

Consultants' Meeting on
“EXFOR data in resonance region and spectrometer's response function”

8-10 October 2013

VIC, Room M0E59, IAEA Headquarters, Vienna, Austria

AGENDA

Tuesday, 8 October 2013

09:30 -10:45	Opening Session Welcome address (Stanislav Simakov) Self-introduction of Participants Election of Chairperson and Rapporteur Approval of Agenda Administrative Announcements (Alexander Oechs) Objectives of the Meeting (Valentina Semkova)
Presentations <i>(presentations' time include questions and discussion)</i>	
11:00-11:30	Naohiko Otsuka, IAEA-NDS “Time-of-flight spectra in EXFOR”
11:30 -12:00	Peter Schillebeeckx, IRMM “Introduction on response function for TOF-measurements”
12:00 -12:30	Peter Schillebeeckx, IRMM “Reporting of experimental observables obtained from TOF-facilities”
12:30 -14:00	Lunch break
14:00 -15:00	Frank Gunsing, CEA “Generalities on the time-of-flight resolution function”

15:00 -16:00	Yaron Danon, RPI “Nuclear Data Measurements at the RPI Gaerttner LINAC Center and EXFOR reporting”
16:30 -17:30	Atsushi Kimura, JAEA “Neutron capture cross section measurements at ANNRI in J-PARC”

Wednesday, 9 October 2013

9:00 -10:00	Klaus H. Guber, ORNL “Neutron Cross Section Measurements at ORELA”
10:30 – 11:30	Gilles Noguere, CEA “Analytic model of the time resolution for the Neutron Resonance Shape Analysis”
11:30 – 12:30	Gašper Žerovnik, JSI “Use of the Grenoble lead slowing-down experiment for cross section validation”
12:30 -14:00	Lunch break
14:00 -15:00	Stanislav Simakov, IAEA-NDS “Response function of the fast neutron time-of-flight spectrometer”
15:00 – 17:30	Discussions and drafting of Conclusions & Recommendations
19:00 -	Social event: Visit to restaurant “Ofenloch”

Thursday, 10 October 2013

09:00 – 12:30	Discussions and Drafting of Conclusions & Recommendations
12:30 -14:00	Lunch break
14:00 -	Final Remarks and End of the Meeting.

参考資料 II

実験・解析条件を記載するテンプレートの例（ANNRIの場合。一部略）

A. EXPERIMENT DESCRIPTION

1. Main Reference		1
2. Facility	ANNRI	2,3,4
3. Neutron production		5
Neutron production beam	Proton	
Nominal beam energy	3 GeV	
Pulse width	Two bunches, each with a width of 60 ns, at intervals of 600 ns	5
Pulse frequency	25 Hz	
Nominal beam power	120 kW	4
Primary neutron production target	Mercury	
Neutron source position in moderator	See. Ref. [5].	
4. Moderator		5
Material	Para H	
Dimension (thickness, height×width×depth,...)	140 mm thick See. Ref. [5].	
Target nominal neutron production intensity (n/sec)	0.6×10^8 (n/sec/cm ²) @ moderator surface (120kW). See. Ref. [5].	
5. Other experimental details		
Measurement type	Capture	
Flight path length (m) (moderator – target (detector): face to face distance)	21.502 ± 0.005 m	
6. Detector		3
Type	Ge detectors. (An array consists of 14 Ge crystals and BGO Anti-Compton shield.)	
7. Sample		
Type (metal, powder, liquid, crystal)	curium oxide and aluminium powder mixture	
Chemical composition	CmO ₂	
Temperature	Room Temperature	
Sample mass (g)	0.6mg	

Containment description	Sealed in an Al case (9 mm in outer diam., 280 mg, 0.5 mm-thick walls)	
8. Data Reduction Procedure		
Flux determination (reference reaction, ...)	$^{10}\text{B}(n, \alpha_1 \gamma)$	
Normalization	1.1 eV resonance of Pu-240 (JENDL-4.0).	
Detector efficiency	Assumed as a constant.	
Self-shielding	Corrected with MCNP	
9. Response/Resolution function	INDC(NDS)-0647 (CM report)	
Mean energy-time correspondence	$\langle E \rangle = (72.3 \langle L \rangle / t)^2$ with $\langle L \rangle = 21.502$ m, t in μsec , E in eV.	
Resolution function	See. Ref. [6].	6
Initial pulse	See section A.3.	

References

- [1] A. Kimura, et. al., J. Nucl. Sci. Technol. **49** (2012) 708.
- [2] Y. Kiyanagi, et al., J. Kor. Phys. Soc., **59** (2011) 1781.
- [3] T. Kin, et al., The 2009 NSS-MIC Conf. Rec., Orland USA, Oct. 25-31, 2009, N24-2, (2009).
- [4] K. Kino et. al., Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A, **626** (2011) 58.
- [5] F. Maekawa, et.al., Nucl. Instrum. Meth.. Phys. Res. A, **620** (2010), 159.
- [6] K. Kino et. al., Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A, 736 (2014) 66.

参考資料 III

AGSフォーマットのヘッダー部分の例。

B. DATA FORMAT

Column	Content		Unit
1	Energy	See Section A.9.	eV
N/A	TOF _{min}		ns
N/A	TOF _{max}		ns
2	Observable	Capture cross section	b
3	Uncertainty	Total uncertainty	b
4	(1σ)	Unc. due to contribution of capture events by other nuclei (uncorrelated)	b
5		Unc. due to contribution of fission events (uncorrelated)	b
6		Unc. due to counting statistics (uncorrelated)	b
7		Unc. due to corrections of self-shielding and multiple scattering (uncorrelated)	b
8		Other uncertainty (neutron flux, contaminations of scattered events, dead-time correction; uncorrelated)	b
Const.		Unc. due to ²⁴⁰ Pu abundance (fully correlated)	4.4%
Const.		Unc. due to ²⁴⁰ Pu resonance parameter (fully correlated)	2.2%
Const.		Unc. due to difference in efficiency between ²⁴⁰ Pu and ²⁴⁴ Cm (fully correlated)	2.4%