

会議のトピックス (Ⅲ)

IAEA/CRP「光核反応データの格納及び評価」
第1回検討会合報告

原研核データセンター

深堀 智生

e-mail: fukahori@cracker.tokai.jacri.go.jp

1. はじめに

評価済光核反応データファイルを実験データまたは純粋な理論的研究のみから作成することは困難なため、光核反応データ評価方法に関する要求が高まっている。このため、光核反応データ評価に役立てる目的で組織されたのが IAEA/CRP 「光核反応データの格納及び評価」である。ここでは、参加各国がそれぞれ実施している研究成果を持ち寄り、実験データの系統的なコンピュータファイル化、これを基にした実験データの吟味及び評価のための理論的なアプローチを討議した。

今回の会合は、第1回会合で、1996年12月3-6日にロシア共和国オブニンスクの物理・動力研究所(IPPE)にて開催され、計画の進め方及び役割分担などの同意事項を採択するための検討作業を行った。最初に、Opening Address として、開催地の IPPE を代表して Nikolay S. Rabotonov 副所長、モスクワ大学の B. Ishkanov 教授、IAEA から本CRPの Scientific Secretariat の Pavel Oblozinsky 博士からの挨拶があった。続いて、本CRPの chairman としてロスアラモス国立研究所(LANL)の Mark B. Chadwick 博士を選出した。参加者の自己紹介の後、本CRPの最終目標として、推奨ライブラリ及び会合の詳細をまとめた IAEA/TECDOC の発行をしたい旨 chairman から動議があった。これに実験データの空白の確認、データニーズ(NEA/NSCの High Priority Request List への提案)、EXFOR へのできるだけ多くの実験データの格納などを盛り込むことが提案され、後の詳細な議論に加えることとして了承された。以下、Agenda にそって会合内容を報告する。

2. 各国の研究状況

2.1 BOFOD - Present Status of the Evaluated Photonuclear Data File of CJD

(A. I. Blokhin, IPPE)

IPPE で開発している光核反応データファイル BOFOD の紹介があった。含まれ

ているのは(γ ,abs)、(γ ,f)、(γ ,n+np)、(γ ,2n+2np)反応に対する 20 MeV 以下の断面積のみであり、原子炉の中性子散乱マトリックスの補正用に利用される。平均で数%の効果があるという説明だった。中性子スペクトルに、多核温度の Maxwell 分布を利用する試みを現在行っている。

2.2 Model Calculations of Photonuclear Reactions up to 150 MeV

-- Plans at Los Alamos for Producing Photonuclear Libraries --

(M.B. Chadwick, LANL)

医療用線型加速器の放射線輸送計算に用いられる MCNP のライブラリ用に LANL で開発している 150 MeV までの光核反応データ評価に関する報告があった。評価は巨大共鳴(GDR)及び擬似重陽子モデル(QDM)と GNASH を組み合わせて行っており、これに残留核の基底状態への直接遷移及び Kalbach Systematics を改良した前平衡放出粒子角分布も考慮している。現在、C と Pb がほぼ評価終了で、今後 O、W を評価する予定である。

2.3 Status of Nuclear Data Evaluation for JENDL Photonuclear Data File

(T. Fukahori, JAERI)

筆者が JENDL Photonuclear Data File (JENDL-PDF)について現状を報告した。

2.4 Discrepancies between Saclay and Livermore Photoneutron Cross Sections

(M.N. Martins, Sao Paulo Univ.)

Saclay と Livermore の実験データは(γ ,2n)のしきいエネルギー以下では一致しているが、それ以上では大きく異なっている。これは、多分、検出器の効率決定過程の相違によるもので、Livermore のデータは多重度で、Saclay のデータは絶対値で正しく測定されているようである。これを考慮して、両者のデータを補正すると、よい一致が見られる。

2.5 CDFE Evaluation Task and Methodology

(V.V. Varlamov, CDFE)

500 件程度の実験データの EXFOR エントリーを行った。格納した実験データを基に、その相違を除く方法で EPNDL-1,-2 の評価を行っている。評価した γ 線の最大エネルギーは最大で 40 MeV 程度である。この他、文献データリストも作成している。

2.6 Method of Reduction as Photonuclear Reaction Cross Section Evaluation Tool

(N.G. Efimkin, CDFE)

基本的には Gatlinburg94 会議に出したのと同じ実験値の分解能と共分散を仮定した、実験データを基にした評価手法の話であった。

2.7 Current Status of Photonuclear Data Calculation and Evaluation in CNDC Beijing

(Yan Shiwei, CNDC)

中国原子能科学研究院核データセンターで開発した、巨大共鳴及び光子の Coherent Thomas Scattering を考慮した UNF の光子用バージョン GUNF による評価手法の話があった。現在、 ^{27}Al , $^{54,56-58}\text{Fe}$, $^{63,65}\text{Cu}$, ^{209}Bi の評価が終了している。

2.8 FP Photoneutron Data below 50 MeV (Yu. Shubin, IPPE)

20 核種ほどの FP の消滅処理のためのデータを巨大共鳴及び疑似重陽子吸収と崩壊過程を考慮して計算している。エネルギースペクトルは核温度を仮定した Maxwell 分布で与えている。実験値との比較はいっさい行われていない。

2.9 その他

以上の他に

- Evaluation of Photonuclear Cross Sections in the Frame of MSC+MSD Model
- Photofission Correction Factors in Fission Neutron Dosimeters
- Structure of Photonuclear Cross Sections in the Framework of Quasiparticle-photon Microscopic Model
- Detailed Measurements of Photofission Yield and Cross Section with γ -rays below 11 MeV

等について報告があった。

3. 一般議論

3.1 データ・ニーズ

本検討会合では、光核反応のデータニーズについての議論が行われた。以下、参加各国から出されたデータにずに関する議論をまとめたものを紹介する。

光核反応データは医学用加速器の放射線防護・線量測定、原子炉（光核反応による中性子バランス）や核融合炉（プラズマ診断、遮蔽）の炉物理、核廃棄物の消滅処理、宇宙物理などで重要なデータとなる。以下、それぞれの利用分野での優先度の高い核種を挙げる。

- 加速器構造材：Fe, Pb, W, Al, Cu, Be (Cr, Co, Zn, Ni, Zr, Mo, Sn, Te, Ta)
- 放射線治療：O, C, N, Ca, P
- 核分裂物質： ^{232}Th , $^{235,238}\text{U}$, ^{237}Np , $^{239,240}\text{Pu}$
- 消滅処理： ^{90}Sr , ^{93}Zr (^{94}Nb , ^{107}Pd , ^{108}Ag , ^{129}I , $^{135,137}\text{Cs}$, ^{151}Sm , ^{158}Tb)
- 放射化分析： ^{29}Si , ^{31}P , ^{36}Ar , ^{39}K , $^{44,48}\text{Ca}$, $^{48,49}\text{Ti}$, $^{50,52}\text{Cr}$, ^{54}Fe , ^{58}Ni , ^{59}Co , ^{63}Cu , ^{64}Zn , ^{70}Ge , ^{100}Mo , ^{110}Pd , ^{116}Cd , $^{121,123}\text{Sb}$
- 宇宙物理： ^{27}Si

必要な光子エネルギーは最低でも 50 MeV である（最初は 30 MeV まででも良い）。

3.2 実験データの格納状況

実験データの格納方法には文献リスト及び EXFOR による 2つの方法がある。文献リストに関しては、モスクワ大学光核反応実験データセンター(CDFE)のもの(V.V. Varlamov et al., “Photonuclear Data Index 1976-1995”, CDFE, Institute of Nuclear Physics of Moscow State University (1996))と原研(JAERI)のもの(T. Asami and T. Nakagawa, “Bibliographic Index to Photonuclear Reaction Data (1955-1992)”, JAERI-M 93-195 (1993))がある。それぞれ、25 及び 20 の雑誌などから 2200 件及び 9000 件のエントリーが格納されている。

EXFOR に関しては、G シリーズとして IAEA/NDS により 14 件、L シリーズとして Berman のものが 59 件モスクワ大学によって、M シリーズとして 500 件モスクワ大学によって格納されている。これらは、モスクワ大学の文献リストの約 25% に当たる。これらの活動は今後も継続される予定である。

3.3 評価の現状

評価済光核反応ファイルとしては、BOFOD(IPPE)、EPNDL(CDFE)、Shubin(IPPE)、LANL のファイル、CIAE のファイル、JENDL-PDF(JAERI)の 6 つある。これらのスペックのまとめを Table 1 に示す。ほとんどのファイルが ENDF-6 フォーマットを採用しているため、統一フォーマットしてこれを用いるには問題は生じない。ただし、完全な評価済ファイルとしての体裁を整えているのは、最後の 3 ファイルだけであるし、格納核種も大きく異なっている。したがって、これらのファイル間で最低(γ ,abs)及び(γ ,xn)反応断面積について実験値との比較を行った国際相互比較を Be, C, O, Al, Fe, Ni, Cu, Zr, W, Pb, Bi, U について行う。

3.4 評価方法について

評価手法は大きく実験値のみによるもの、評価済ファイル作成のための実験値を考慮した理論及びモデルによるものに分けることが出来る。モスクワ大学の方法は、異なる実験手法による実験データを、現実的な入射光子スペクトラムを盛り込んだ再処理により、統一的な結果を導くものである。これは、相互に異なる実験データを用いて評価を行う場合に有効である。一方、理論及びモデルによるものは、巨大共鳴や擬似重陽子吸収に基づいて光吸収断面積を評価し、通常の前平衡過程を考慮した統計モデルにより崩壊過程を追うというものである。この手法に関しては、使用しているコードの相違こそあるが、3.3 で述べた評価済ファイルとしての体裁を備えている LANL、CIAE のファイル、JENDL-PDF(JAERI)については共通している。

3.5 光核反応データライブラリ公開に関する出版物について

上記議論を踏まえて、本 CRP の最終結果の一部として IAEA/TECDOC を出版することとし、その章立て執筆分担について議論した。

4. 目標及び作業計画に関する議論

4.1 目標の詳細な設定

本 CRP の最終目標として以下の 2 点を採択した。

- IAEA/TECDOC の出版
- 統一光核反応データファイル(IAEA Photonuclear Data Library)の編集

4.2 詳細な作業計画

IAEA/TECDOC に関しては、その章立て執筆分担について検討し、採択された。

IAEA Photonuclear Data Library の編集に関しては、3.3 で述べた国際相互比較を参考に各ファイルからのエントリーを選択することとした。フォーマットは ENDF-6 とする。

5. 結論及び提案に関するレポート作成

以上の議論を踏まえて第 1 回会合の Summary Report を出版することとし、その執筆作業を行った。

6. おわりに

以上の討論のほかに、12月3日(火)には Welcome Party、12月4日(水)には I P P E 見学、12月5日(木)には Meeting Dinner が催された。幸運なことに、この時期では信じられないことであるが、気温が氷点下にならなかった。モスクワ及びオブニスクの町並みも 1 年前に訪れたときよりずいぶん明るくなったように感じたし、シェルメチボ 2 空港の中も普通の飛行場並にサービスが出来るようになったようだ。活気を取り戻しつつあるのかなとの印象を受けた。モスクワで泊まったロシアホテルでは、なんと日本語をしゃべれるおばちゃんがフロントにいたりもした。ただ、何となく緊張感を覚えるのは以前と同じであった。これは、筆者の勘違いであろうか？

Table 1 評価済光核反応ファイルの概略

Name	Max. E γ	Quantities	Reactions	Isotopes	Format	Application
BOFOD	20 MeV	σ $d\sigma/dE$	(γ ,abs) (γ ,n+np) (γ ,2n+2np) (γ ,fis)	63(+17)	ENDF-6	Fission Reactor
EPNDL-1, -2	30 MeV	σ	(γ ,abs) (γ ,n), (γ ,xn) (γ ,p), (γ ,xp) (γ ,2n) (γ ,n), (γ ,p)	15(+21)	ENDF-6	Fission Reactor Fusion Reactor Transmutation Activation Medical Astrophysics
Shubin	100 MeV	σ $d^2\sigma/dEd\Omega$	(γ ,abs) (γ ,n), (γ ,2n)	~20	?	FP Transmutation
LANL	150 MeV	σ $d^2\sigma/dEd\Omega$	(γ ,abs) (γ ,xn) (γ ,xz)* (γ ,n ₀), (γ ,p ₀) (γ ,isotope)**	2(+2)	ENDF-6	Radiation- Transportation Medical
CNDC	30 MeV	σ $d^2\sigma/dEd\Omega$	(γ , γ), (γ ,abs) (γ ,n), (γ ,z)* (γ ,2n), (γ ,3n) (γ ,np), (γ ,2p), (γ ,n α)	8(+6)	ENDF-6	Accelerator- Shielding Fission
JENDL-PDF	140 MeV	σ $d^2\sigma/dEd\Omega$	(γ ,abs) (γ ,xn) (γ ,xz)* (γ ,isotope)** (γ ,fis)	26(+24)	ENDF-6	Accelerator- Shielding Radiation- Transportation Activation Medical

*: "z" means p, d, t, ³He and α particles.

** : isotope production cross sections