

7.核融合研究と核データ

Fusion Research and Nuclear Data

西谷 健夫

原子力機構

Takeo Nishitani

Japan Atomic Energy Agency

takeo.nishitani@jaea.go.jp

はじめに

ITERの建設サイトが決定し、本格的な核燃焼プラズマ実験やテストブランケットモジュールといった DEMO 炉を目指した工学実験が射程距離内に入って来ている。また「幅広いアプローチ」の一環として国際核融合材料照射施設 (IFMIF) の工学実証・工学設計活動 (EVEDA) が開始されようとしている。これらの施設的设计開発には中性子反応断面積をはじめとする核データが不可欠である。ここでは、核融合と核物理・核科学の接点ともいえる核データについて、現状と課題を紹介する。

核融合炉設計のための核データの現状と課題

核融合炉核設計では、14MeV～熱中性子の核データが必要であるが、汎用評価済核データである JENDL (日本)、ENDF (米国)、JEFF (EU) 等は 20MeV～熱中性子をカバーしているためほぼそのまま核融合炉核設計に適用することができる。ただし、核融合炉では核分裂炉より中性子のエネルギーが高く、散乱中性子の非等方性の取り扱いが重要であり、反応後の放出中性子の角度ごとのエネルギースペクトルを表す二重微分断面積が重要である。2002年に公開された JENDL の最新版である JENDL-3.3 は核融合に関連する 60 核種について二重微分断面積を取り入れており、汎用核データではあるが核融合炉の核設計に最も適した評価済核データのの一つである。ちなみに 2009 年度公開を目指して JENDL-4 への改定作業が開始されており、二重微分断面積及び誤差の共分散データの充実が予定されている。

IFMIF のための核データの現状と課題

IFMIF では $\text{Li}(d, xn)$ 反応により中性子を発生するが、そのスペクトルは 14MeV 付近にピークを持ち、テイルは約 55MeV まで続く。したがって IFMIF の遮蔽設計・放射化評価さらには照射試料の損傷やヘリウム・水素生成評価では、約 55MeV までの精度の高い核データが必要であるが、20MeV 以上の核データは、単色の中性子源が無いこともあり、極めて乏しい。むしろ 100MeV 以上の高いエネルギー領域のほうが、J-Parc 等の核破砕中性子源施設の要請から、実験や量子論的分子動力学計算によって整備が進んでいるが、エネルギー点数や精度の上で、IFMIF の設計や照射データの評価には不十分である。

IFMIF の中性子発生反応は一般に D の Li による

ストリッピング反応といわれているが、D の乖離反応、2 体及び 3 体反応の重ね合わせであり、既存の計算コードでは実験値を再現できず、FZK で専用の計算モデルの開発を行っている。また IFMIF 加速のビーム輸送系では、40MeV の D がアパチャー等に衝突して放射化させる恐れがあるため、D 入射による放射化断面積が必要となる。EU では統計モデル、前平衡過程モデル、直接反応モデルを取り入れた最新の断面積計算コード TALYS により IFMIF 設計に必要な D 入射放射化断面積の整備を行っているが、原子力機構では、高崎研究所の TIARA AVF サイクロトロンを用いて、20～40MeV の D 入射による放射化断面積の測定も進めている。TIARA で得られたデータを TALYS による計算値と比較すると、数倍の差があるものもあり、実験データの充実とそれに基づく計算モデルの確立が課題である。

核融合用核データの高度化と核科学

核融合炉の中性子環境では、 $1 \times 10^{18} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を超える中性子束、 $\sim 10^{26} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を超える中性子フルエンスであり、これまであまり問題とならなかった、中性子との反応で生成した核種と中性子との反応 (多段階反応) や中性子との反応で生成した粒子と他の核との反応 (連続反応)、極短寿命の核種・核異性体からのガンマ線データが必要になってきており、核科学側からも重要な情報を含んでいる。

核発熱評価用データの高度化の一環として原子力機構の 14MeV 中性子源 FNS で実施した、 $^{68}\text{Zn}(n, p)$ 反応で生成する ^{68}Cu (半減期 31 秒) の γ 線データ測定では、 γ 線放出励起準位の寿命を世界ではじめて測定した。最近の核物理研究で、中性子過剰核では、中性子数 40 が魔法数になることがわかってきており、 ^{68}Cu は陽子数 29 (魔法数 28+1)、中性子数 39 (魔法数 40-1) で、2 重閉殻核種 ^{68}Ni に近い殻構造を有している。測定された励起準位寿命は、この殻モデルで予測される値とよく一致しており、中性子数 40 を魔法数とするモデルを支持する結果を得ている。

まとめ

核融合用の核データは、整備は進んではいるが、まだ十分とはいえない。特に IFMIF 関係では、実験データに乏しく、精度も悪い。今後、核融合側と核データ・核科学側が連携して、充実を図ってゆく必要がある。