

14MeV Neutron Cross Sectionの問題点

神田幸則(東京工大)

14 MeV neutron でおこる核反応の主なもの(n, n)(n, n')(n, p)(n, α)(n, 2n) などがあり, それらの cross section は多くの人々によって測定されている。そのほか, d, t, ³H を放出する反応, および各種粒子が組合わされた 2 次粒子放出反応も可能であるが, 測定例は少ない。ここでは話を主に(n, p)(n, α)(n, 2n)の範囲に限り, neutron energy も 14MeV 附近に限る。理由は当委員会核データ・グループの中で 14MeV 附近の(n, 2n) cross section data の収集評価をする提案が認められ, 機にふれて言い出されていたデータ評価作業の一つとして出発したことにある。(n, p)(n, α) は(n, 2n) と強く競争し測定法も同様で, 評価にさいして考慮の必要があるので, あわせて検討すべきと考えている。しかし, まだデータを個々に検討していないので, 今迄に気がついた点を断片的に拾ってみることにする。

第 1 の問題は, 多くの実験値の不一致はどの程度かということである。例として, 比較的測定値が多い反応をみると, ⁶³Cu(n, 2n)⁶²Cu に対して, 14 MeV で 330—550 mb, 上下の誤差も含めると 260—590 mb の拡がりとなり, 上下約 40% の巾がある。同様に, ⁵⁸Ni(n, p)⁵⁸Co は 250—650 mb, ⁵⁹Co(n, α)⁵⁶Mn は 28—36 mb の拡がりがある。これらの測定値に示されている誤差は少ないもので ±6% 程度である。これは fast neutron による fuel の fission cross section が誤差 ±3% 程度で測定されているものに比べると大きい誤差である。この差は cross section の大きさ, 測定法の違いにもよるが, data に対する要求度の違いからくる諸々の条件によると思う。

(n, p)(n, α)(n, 2n) の全断面積は絶対測定, 相対測定いずれの場合も, 殆ど activation 法によって測定される。絶対測定で一番誤差を持ちこむのは, absolute neutron flux の測定である。但し, cross section が小さいとき, 又は, 測定の仕方では統計誤差がより大きくなる。誤差の例を次頁に示す。これは ⁵⁶Fe(n, p)⁵⁹Co(n, α)⁶³Cu(n, 2n) の測定例である。

activation 法では放射線を検出して, 照射による生成量を求めるために, radioactive nuclei の decay scheme がよくわかっていて, その branching ratio が求められていることが前提である。nucleus によってはこの値が大きな誤差を持ちこむ可能性がある。これと関連して, β と γ いずれを検出したかで cross section に systematic な誤差を与える可能性を ⁶³Cu(n, 2n) で調べた報告があるが, 特に偏りは認められなかった。

14MeV に限って data を集めると, 現在までに, 各核種についてほかの energy region に比べて非常に多くの実験結果があるが, 核種によって Q-value が異なるから, excitation function 上違った位置の cross reaction を与えることになる。前の例で ⁶³Cu(n, 2n) では excitation

Table: Source and typical value of errors*

| Source of uncertainty | Typical uncertainty contribution (%) |
|---|--------------------------------------|
| Absolute neutron flux determination | ±4.0 |
| Irradiation geometry | ±1.7 to ±3.8 |
| TD-neutron angular distribution | ±2.5 |
| Absolute efficiency of the activity counters including γ -ray absorption | ±1.5 to ±2.3 |
| Counting rate including statistics, backgrounds, dead times, and decay factors | ±0.6 to ±2.0 |
| Neutron absorption and scattering within the sample | ±0.5 |
| Chemical purity of the sample material | ±0.3 |
| Neutron flux variation with time | ±0.1 |
| Sample weight | ±0.1 |

* H. Liskien and A. Paulsen, J. Nucl. Energy A/B (1965) 73

function の立上り部分, $^{58}\text{Ni}(n, p)$ では下降部分, $^{59}\text{Co}(n, \alpha)$ では peak にそれぞれ対応している。このように異った excitation function 上の位置で測定された値に対する neutron energy の拡がりがあるが cross section におよぼす影響は違ってくる。更に, 14MeV 付近で, (n, p) (n, α) $(n, 2n)$ の excitation function の微細構造が認められている。例えば, $^{27}\text{Al}(n, \alpha)$ ^{24}Na では約 0.1 MeV 周期で ±10% の fluctuation が示されている。

第2の問題は, 14MeV に energy を限った場合, 個々の核の値だけでなく広い範囲の元素と質量数の systematics を検討しなければならない。 (n, p) (n, α) $(n, 2n)$ 各々について, 14MeV の cross section の質量数に対する変化に核構造の shell effect が認められ, それを或る程度説明した報告がある。しかし, この傾向は個々の核について測定値を評価した値を用いれば, もっとはっきりする性質のものではないかと思われる。

第3の問題は (n, p) (n, α) $(n, 2n)$ の cross section を理論的に計算出来るかどうかである。統計理論を用いた計算と実験値との比較は今迄に多くなされているが, (n, α) で広い質量数について $\sigma(\text{experiment})/\sigma(\text{calculation})$ の比をとった例をみると, 1 から 10^3

まで分布している。この分布にも shell effect がみられ、計算の parameter をかえても、比の大きさは改善されない。即ち計算と実験の不一致は parameter だけの問題ではない。計算する際に統計理論を用いる限界は、放出粒子のスペクトル及び角度分布の実験から確認する必要がある。(n, 2n) の場合は 2 個の neutron の角相関をとった実験からも、直接過程の寄与が少いことが確められている。(n, α) については、直接過程の寄与を示す実験がいくつかあり、特に軽い核では顕著である。しかし、 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)$ では反応の主な過程は、角度分布から統計的と考えられる結果があり、それは先程の $\sigma(\text{exp})/\sigma(\text{cal})$ がこの辺の核で 1 であることと一致する。(n, p) についても同様の実験的裏付けがある。

最後に、(n, 2n) 以外の 2 次粒子放出反応は一般的に、cross section が小さいと考えられている。しかし、少い実験例の中で、 ^{58}Ni に対する (n, pn) + (n, np) + (n, d) の cross section が 560 mb で (n, 2n) の 20 mb に比べて非常に大きい。これは先にふれた Q-value との関連もあるので、個々の核について検討しなければならない。

文献を一々引用しなかったが、総括的内容のものをあげる。

N. Cindro, Rev. Mod. Phys. 38 (1966) 391

fast neutron による核実験についてまとめてある。

A. Chatterjee ; Phys. Rev. 134 (1964) B374

A. Chatterjee ; Nucl. Phys. 60 (1964) 273

M. Bomann ; Nucl. Phys. 65 (1965) 257

以上は 14 MeV における (n, α)(n, p)(n, 2n) cross section を図示して、shell effect を解析している。

M Bomann et al ; nuclear Data 1A (1966) 103

(n, p)(n, α)(n, 2n)(n, np)(n, n α) の experimental excitation function を graph で示している。