

その2

A Review of the Total Radiation

Width of the Neutron Resonances of ^{238}U

Frank Rahn and W.W.Havens, Jr.

EANDC(US)-179/U

INDC(US)-53/U

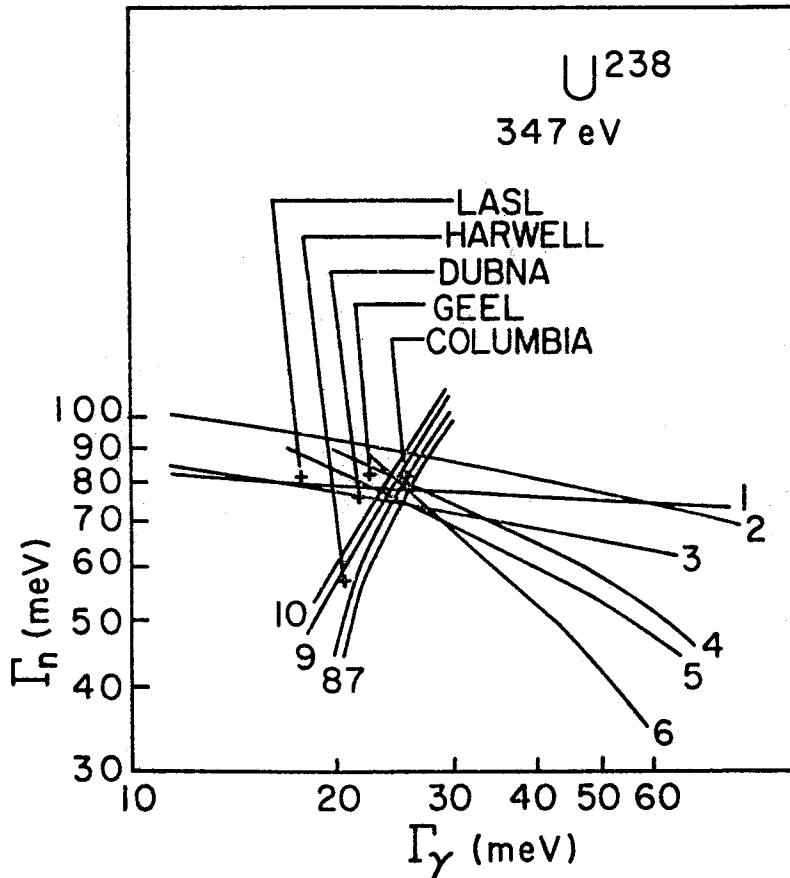
水本 元治(原研)

この資料はここ数年来コロンビア大学のネービスサイクロトロンを用いて精力的に中性子共鳴の研究を行なっている F. Rahn, W.W.Havens, Jr. の ^{238}U の全輻射巾 Γ_γ の値に関するレビューである。言い迄もなく ^{238}U の共鳴の Γ_γ の値は核分裂を利用する原子炉にとっては最も有用でかつ重要な物理量のうちに入るものであり、世界各地の中性子関係の実験を行なっている研究所ではこの量の重要さのため測定系その他の改善が行なわれるたびごとに測定が繰り返され、たえずその誤差を小さくする努力が続けられている。しかし残念ながら現在までのところ特に平均的全輻射巾 $\langle \Gamma_\gamma \rangle$ においても高速増殖炉計画に必要とされている精度以上に各所のデータにばらつきがあり、共鳴ごとの Γ_γ の値の一致はさらによくない。

このレビューでとり上げられている最近のデータは, Harwell¹, Los Alamos Scientific Lab. (LASL)², Geel³, Dubna⁴, そして著者自身の Columbia⁵ のものであり測定のエネルギー範囲はすべて熱中性子からおよそ 2.5 keV までに限られている。表1は筆者が原著の記事を表にまとめたものでおのおのの主な実験条件, $\langle \Gamma_\gamma \rangle$ の値, および得られた個々の Γ_γ の結果についての χ^2 分布の自由度の計算値を表わした。データ間の差は大きいものでおおよそ 20% にも達している。また一見して解ることは原爆実験を用いて行なわれた LASL の glass 達の値が他に比べて特に著しく低いことであり、彼らはさらに個々の Γ_γ の値のエネルギーに関する擬周期構造 (Quasi-periodic Structure) を観測している。原理的に言えばもちろんすべての測定値は誤差の範囲内で一致しなければならないが実際にはかならずしもそうはならず一般的にいってその原因をさぐるのは極めて難かしい。通常低エネルギーの共鳴の共鳴パラメーターを出す場合面積法による解析が行なわれる。数種類の厚さのサンプルごとに透過法による全断面積, 散乱中性子断面積, 捕獲断面積さらに Self-Indication などの測定が行なわれ、多い場合には一つの共鳴に対して 10 を越えるサンプルの厚さと実験の種類のがみ合せが測られることもある。そしてバックグラウンド, ドブラーの広がり多重散乱, 自己遮蔽などの補正がなされた後その面積が計算され、中性子巾 Γ_n , 輻射巾 Γ_γ と面積との間の関係が導き出される。そして

いくつかの (Γ_n, Γ_γ) の関係を示す曲線からそれらの交点が求められ Γ_n, Γ_γ の最適値として取られる。 Γ_n, Γ_γ の値ごとに多様であり一概には言えないが、同じ種類の測定では多少サンプルの厚さが変わっても各 (Γ_n, Γ_γ) 曲線は似たような傾向を示すことが少なくないため、一つの共鳴に関しては出来るだけ多くの厚さに対してまた出来るだけ異った種類の測定が望ましい。図 1 は 347 eV 共鳴に関する Columbia のグループの解析の一例であり、脚注にもあるように 1 から 6 までの曲線は透過法によるもの 7 から 10 までは捕獲断面積の測定結果によるものである。これを見ると解るように同じ Columbia のデータでもサンプルの厚さ、および測定の種類によってかなりばらつきが見られる。他のグループの値も同時に図示してあるが、不一致の状況が良く解り、また数多くの測定が信頼度を高める様子を示す例にもなっている。さらに著者達は特に捕獲断面積のデータには全断面積の測定などにはない問題点があることを上げている。それらを列記すると、データの絶対値の規格化、多重散乱の補正、中性子束のエネルギー依存、さらに検出器の検出効率、不感時間や自己遮蔽による検出ロスなどである。完全にこれらを系統的な誤差によるものとする統計誤差を小さく見積り過ぎることになり先程の (Γ_n, Γ_γ) 曲線の交点を求める際に捕獲断面積の測定に重みをかけ過ぎたことになり、一方逆に全て統計誤差によるものとすれば多めにとり過ぎたことになる、ふつう実験グループごとく 2 つの部分に分ける個別のやり方を持っており Columbia の場合他のグループのものに比べて統計誤差を大きく見積ったことが述べられている。また中性子束の規格化を例にとってみても、LASL では 100 keV 以下では滑らかな断面積を持つ ${}^6\text{Li}(n, t)$ ${}^4\text{He}$ 反応を利用しており、Schwarz⁶らの測定データをもとに計算しているが、それも最近の Harwell⁷グループの値によれば 4% 程小さいことが解っている。また Geel では ${}^{10}\text{B}(n, t)$ ${}^7\text{Li}$ 反応を利用し $1/v$ の断面積を持つことを仮定して完全に飽和している ${}^{238}\text{U}$ の 6.67 eV の共鳴を用いて規格化を行なっているがこれ自体実際に使用する場合捕獲断面積を求める時と同様多重散乱、自己遮蔽などの効果で $1/v$ からはあきらかにずれる。一方 Columbia では ${}^{238}\text{U}$ の 1 つではなくいくつかの共鳴を使ってその飽和計数率と検出効率の積を求めることとさらに別に Au の捕獲断面積を測ることを規格化に用いている。Dubna は $\Gamma_n \ll \Gamma_\gamma$ を持つ共鳴から中性子束と検出効率との積を決定しており Harwell も同様なやり方をしている。概していえば低いエネルギーに比べて高い部分ほど規格化による誤差は大きくなっている。

結論として $\langle \Gamma_\gamma \rangle$ の値について LASL のデータが他の 4 つのデータとあきらかにかけはなれていてその原因についてまだはっきりしない。例えば LASL と Dubna の同じエネルギー領域でのスペクトルが図示されており、目で見てもピークごとの相対強度の差があらわれている。但し図 1 によっても解るように Γ_γ の値は Γ_n の取り方に強く依存するが LASL では古い Columbia



The analysis of the resonance parameters for the 347 eV level in ^{238}U obtained at Columbia. The curves numbered 1 through 6 are from 200 and 40 meter transmission samples of inverse thicknesses of $(1/n) = 8.5$ to 478 barns/atom; curves 7 through 10 are from capture samples of 119 and 478 barns/atom from two different detectors. The dispersion in the curves is an indication of the uncertainties in the resonance parameters. The (+) indicate the values of Γ_n and Γ_γ obtained by the various laboratories. The resonance at 347 eV is strong and well isolated.

図 1

による Γ_n の測定結果を使用しており、その値は新しいものに比べて系統的に小さな値を持ち $\langle \Gamma_\gamma \rangle$ の小さくなる原因にもなっている。最後に著者達は LASL のデータを除いた 4 つのデータに対して彼ら自身の好みによって重みを付けた平均を行ない

$$\langle \Gamma_\gamma \rangle = 23.55 \pm 0.16 \text{ meV}$$

の値を得た。この値は全てのデータに引用された誤差の中で一致している。 χ^2 分布の自由度は非

常に大きな値をとり、 Γ_γ 値のエネルギー依存性は L A S L のいうように擬周期構造は見られず実験からくる誤差の範囲にあるとしている。

References

- 1 M. Asghar, C.M. Chaffey and M.C. Moxon, Nuclear Physics 85, 305 (1966)
- 2 N.W. Glass, A. Schelberg, L. Tatro, J. Warren, " ^{238}U Neutron Capture Results from Bomb Source Neutrons, " Proc. Conf. Neutron Cross Sections & Technology, Washington, D.C. Vol. 1, p. 573, March 4, 1968.
- 3 G. Rohr, H. Weigman and J. Winter, " Resonance Parameters from Neutron Radiative Capture in ^{238}U , " Proc. Conf. Nuclear Data for Reactors, Helsinki, Vol. I, p. 413, June 15, 1970.
- 4 H. Malecki, L.B. Pikel'ner, M. Salamatin, E. Sharapov, Atomnaya Energia 32, 49 (1972).
- 5 F. Rahn, H.S. Camarda, G. Hacken, W.W. Havens, Jr., H.I. Liou, J. Rainwater M. Slagowitz and S. Wynchank, Phys. Rev. C6, 1854 (1972).
- 6 S. Schwarz, L. Stromberg and A. Bergstrom, Nuclear Physics 63, 593 (1964).
- 7 M.G. Sowerby, B. Patrick, C. Uttley and K. Diment, " A Measurement of the Ratio of the $^6\text{Li}(n,d)$ Cross Section from 10 eV to 80 keV, " Proc. 2nd International Conf. on Nuclear Data for Reactors, Helsinki, Finland June 15, 1970. p. 161.

^{238}U 平均の全輻射巾の測定

	装 置	中性子 エネルギー範囲	測定の種類	分解能 (飛行管の長さ)	$\langle \Gamma_r \rangle$ meV	個数	ν
Harwell	45 MeV Booster LINAC	6 eV ~ 823 eV	Capture Scattering	120 m ~ 190 m	23.74 ± 1.09	27	~ 80
LASL	原 爆 実 験	30 eV ~ 2000 eV	Capture		19.1 ± 0.6 (stat) ± 1.4 (sys)	62	44 constant $+3.7$ ± 0.7
Geel	60 MeV LINAC	50 eV ~ 1000 eV	Transmiss- ion Capture	100 m 60 m	24.64 ± 0.85	28	
Dubna	Fast IBR Reactor	66 eV ~ 1197 eV	Transmiss- ion Capture	500 m	24.	31	
Columbia	Nevis Cyclotron	~ 2400 eV	Transmiss- ion Self-Indir- -cation Capture	200 m 40 m 33 m	22.9 ± 0.5 (stat) ± 0.9 (sys)	71	70