

資料紹介

その2

RCN-192

Error Analysis of Neutron Capture Group Cross Sections for Fast Reactors Applied to Fission Products

J. B. Dragt and H. Gruppelaar

菊池 康之(原研)

この論文は RCN-Petten で行なわれた, FP 群定数の積分実験によるテストの一環として, Lautenbach (RCN) の評価した 75 FP 核種の捕獲断面積の誤差を評価したものである。以下章毎に述べる。

2. Nuclear model for the Capture Cross Section

この章では, RCN の FP セット (RCN-1) の計算に用いられた 3つのモデルが述べられている。

- Model A single level Breit-Wigner

$$\sigma^A = \sum_{i=1}^N f_i(E) = \sum_{i=1}^N \frac{\pi}{k^2} q \frac{g_i \Gamma_i^n \Gamma_i^{\gamma}}{(E-E_i)^2 + \Gamma_i^2/4}$$

- Model B 1/v Cross Section

$$\sigma^B = \Delta\sigma_{th} \sqrt{\frac{E_{th}}{E}}$$

$$\Delta \sigma_{th} = \sigma_{EXP} - \sigma^A(E_{th})$$

○ Model C statistical model (Garrison and Roos)

$$\sigma^C(E) = \sum_{\ell=0}^{\infty} \frac{2\pi^2}{k^2} q \sqrt{E} \Gamma_{\ell}(E) S_{\ell}(2\ell+1) \phi(\theta_{\ell})$$

○ group cross section

1/E spectrum が model A, B に用いられる。

model C は group の幾何平均値で計算される。

3. Errors in the Cross sections for the resolved resonance region (Model A)

Model A の誤差の原因としては Γ_i^0, Γ_i^r 及び J が不明なら g_i の不確定さが考えられる。一つの共鳴の不確定さは全ての群に影響するので, covariance が必要となる。

4. Errors in the 1/v-contribution to the Cross section (Model B)

Model B における誤差の原因は, $\Delta \sigma_{th}$ の誤差であり, これは全群に correlate している。Model A の精度が良い時には, この誤差は小さい。しかし, もし分離共鳴レベルが不明で, Model B を Model C に 1 keV で直結させる場合は, 誤差は大きくなり, 100% 以上となりうる。

5. Errors in the cross sections for the statistical energy region (Model C)

5.1 Errors due to parameter

Garrison-Roos formula の parameter としては neutron strength function (s. p. p-wave) S_0, S_1, S_2 , photon strength function $S_7 = \langle \Gamma^r \rangle / D_{obs}$, この 4 parameters の誤差は独立として計算する。

5.2 Correlation between different isotopes

前述の4 parametersを推定する際に、自身の実験値がなく、近傍核のデータから内外挿している場合がある。この為 isotope 間に correlation を生じる。この事は、FPの断面積をランブして、pseudo FPとする場合に、誤差の打消しが小さくなる事で注目される。

ここにおいては、correlation の式が導かれているが、correlation coefficient の推定が難かしい為に、実際の計算は行なわれていない。

5.3 Error associated with level statistics

この節では、レベルの統計的性質を、Wigner distribution の場合と、Dyson and Mehta の random matrix theory の場合とでまず論じ、各々の場合について、群内のレベル数の変動を議論している。

さらにそのレベルの数と、共鳴パラメータの統計を考慮して、point cross section の covariance を計算し、それを、level width fluctuation による項と、レベル数の変動による項に分けて議論をしている。しかし、群定数の検討においては、レベル数の変動を無視して、群間の covariance は0とし、varianceのみを、level width fluctuation から計算している。

6. Energy group weighting errors

1/E spectrum で平均した群定数と、STEK炉心スペクトルで平均した場合を比較して、pseudo FPの群定数として、1~14群で2%、15~26群で5~15%の誤差となる事が判明した。

7. Errors due to Approximations in model C

7.1 Approximation in model C

model C において、以下の近似が行なわれている。

- Γ^r/D は energy independent
- inelastic width を無視
- spin and energy independent strength function
- $\Gamma_{\text{radiation}} = \Gamma_{\text{capture}}$
- $l_{\text{max}} = 2$

さらに, statistical model 本来の仮定による近似による誤差として, 以下の3点が考えられる。

- statistical error
- level overlapping による誤差
- direct capture の効果

7.2 Comparison with Benzi's model

7.1での近似を, Benziの計算法と比較検討する。

Benziの長所

- direct 及び collective capture が考慮されている。
- inelastic width も考慮されている。

Benziの短所

- level fluctuation を無視。
- black ^knucleus strength function を用いている。
- resolved resonance が 1 keV 以上に分っていても, これを無視。

以上の点から考え, 100 keV 以下では RCN-1 の model の方が良く, 数 100 keV 以上では Benzi が良いと思われる。

7.3 Quantitative estimation of model errors

model error を Benzi と比較する為に, FP 核種を4つのカテゴリー (off-magic-N odd-A, magic-N odd-A, off-magic-N even-A, magic-N even-A) に分けて検討したものが Fig. 4 に与えられている。

その結果, off-magic-N odd-A の一致は 1 MeV 以下で良好で, 1 MeV 以上では RCN > Benzi となる。off-magic-N even-A と magic-N odd-A は, 数 100 keV 以上で RCN < Benzi, 数 MeV 以上で RCN > Benzi となる。magic-N even A の偏差は大きい, このカテゴリーは重要でない。

結論として, 100 keV 以上では, かなり systematic error のある事が分る。この誤差は reactivity の error の数%を与える程度である。

8. Results and Discussion

8.1 The covariance matrix of the cross section for one isotope

前述の種々の誤差を計算した例を ^{101}Ru と ^{108}Pd で Fig. 5 に示す。この図より以下の事が指摘される。

- 100keV 以上では model error 大
- photon strength function による寄与が大
- model C の下限においては, level statistics error 大

8.2 The covariance matrix of the cross section for fission product mixtures

HFR-101 sample の誤差を Fig. 6 に示す。

高速炉に重要な 11~17 群での誤差は cancellation により小さくなっている事が分る。

8.3 Discussion

他のセット (Australia, Renzi, UKNDL) との比較を HFR-101 の組成で行なった図を Fig. 7 に示す。一部の例外を除いては, 標準偏差内に入っている。

このように計算した ^{239}Pu の pseudo FP の誤差による reactivity worth の不確定性は 10% 程度となり, 炉物理側からの要求を大体満していると言える。

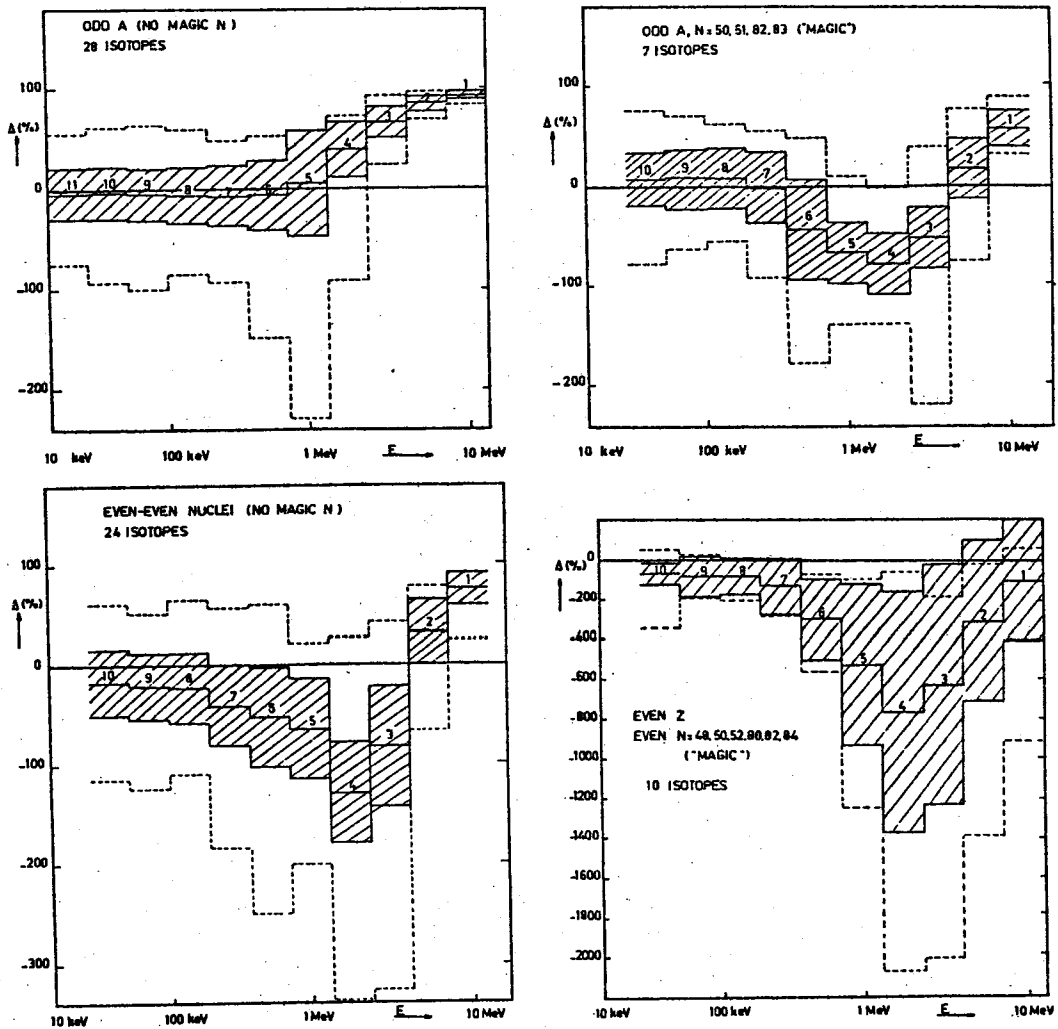


Fig. 4

Comparison of the fast neutron capture cross section sets of RCN-1 [12] and Benzi et al. [5] for four different classes of isotopes, indicated in the figure. The comparison has been made for the first ten or eleven ABBN energy groups. The mean deviation

$$\Delta = \{ \sigma(\text{RCN-1}) - \sigma(\text{Benzi}) \} / \sigma(\text{RCN-1})$$

is indicated by a full line with the appropriate group number on top. The envelopes of the dashed area represent a corrected mean standard deviation (see text). The extreme differences per energy group between the two sets are indicated by dotted lines. The relative importance of each class of nuclei is given in the text.

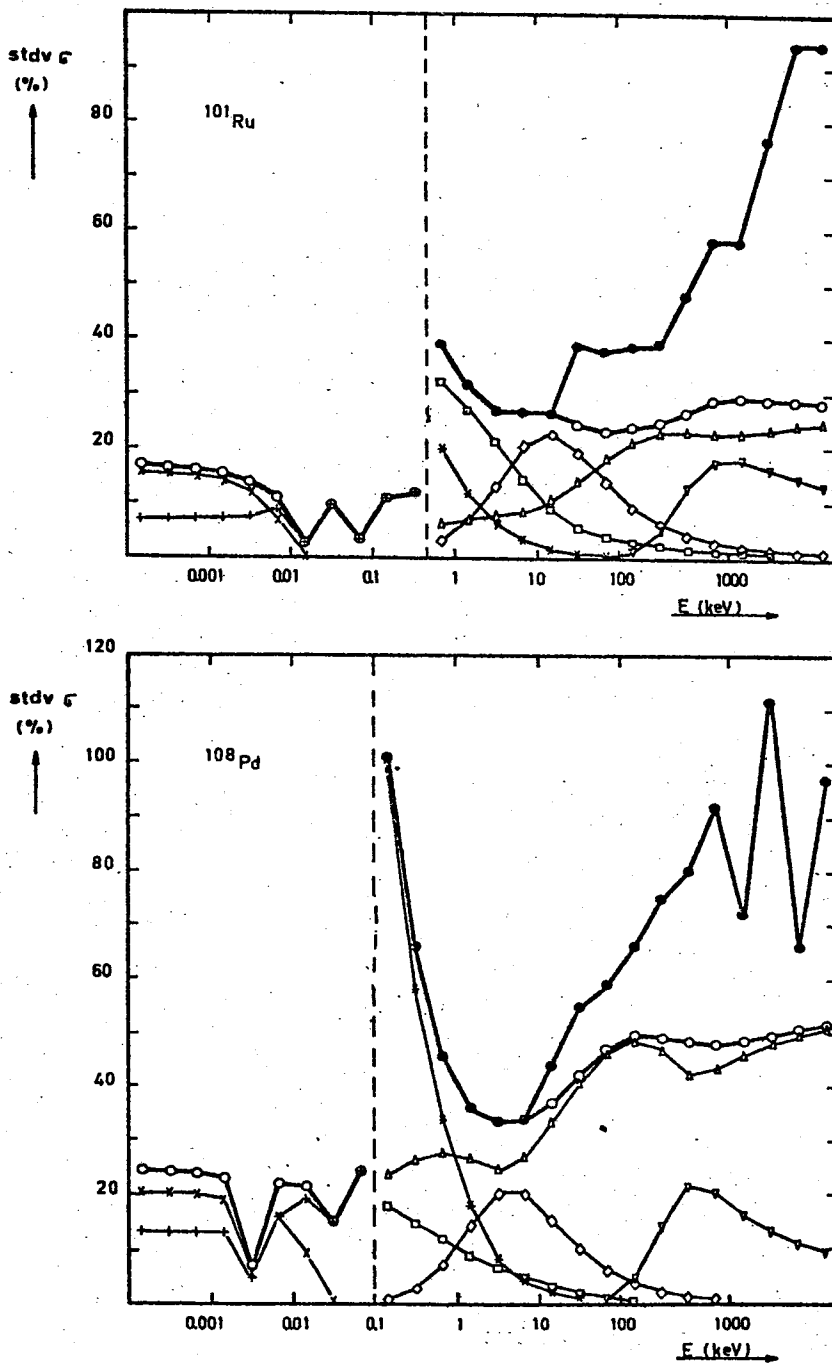


Fig. 5 Contributions to the standard deviations of the group cross sections for the 26 ABBN energy groups for the isotopes ^{101}Ru and ^{108}Pd .

Explanation of symbols:

- + = resolved resonances ; x = $1/v$ contribution;
- Δ = photon strength function; \square = s-wave strength function;
- \diamond = p-wave strength function; ∇ = d-wave strength function.
- * = statistics of levels ;
- o = sum of contributions listed above;
- = total error, including systematic and statistic model-errors.

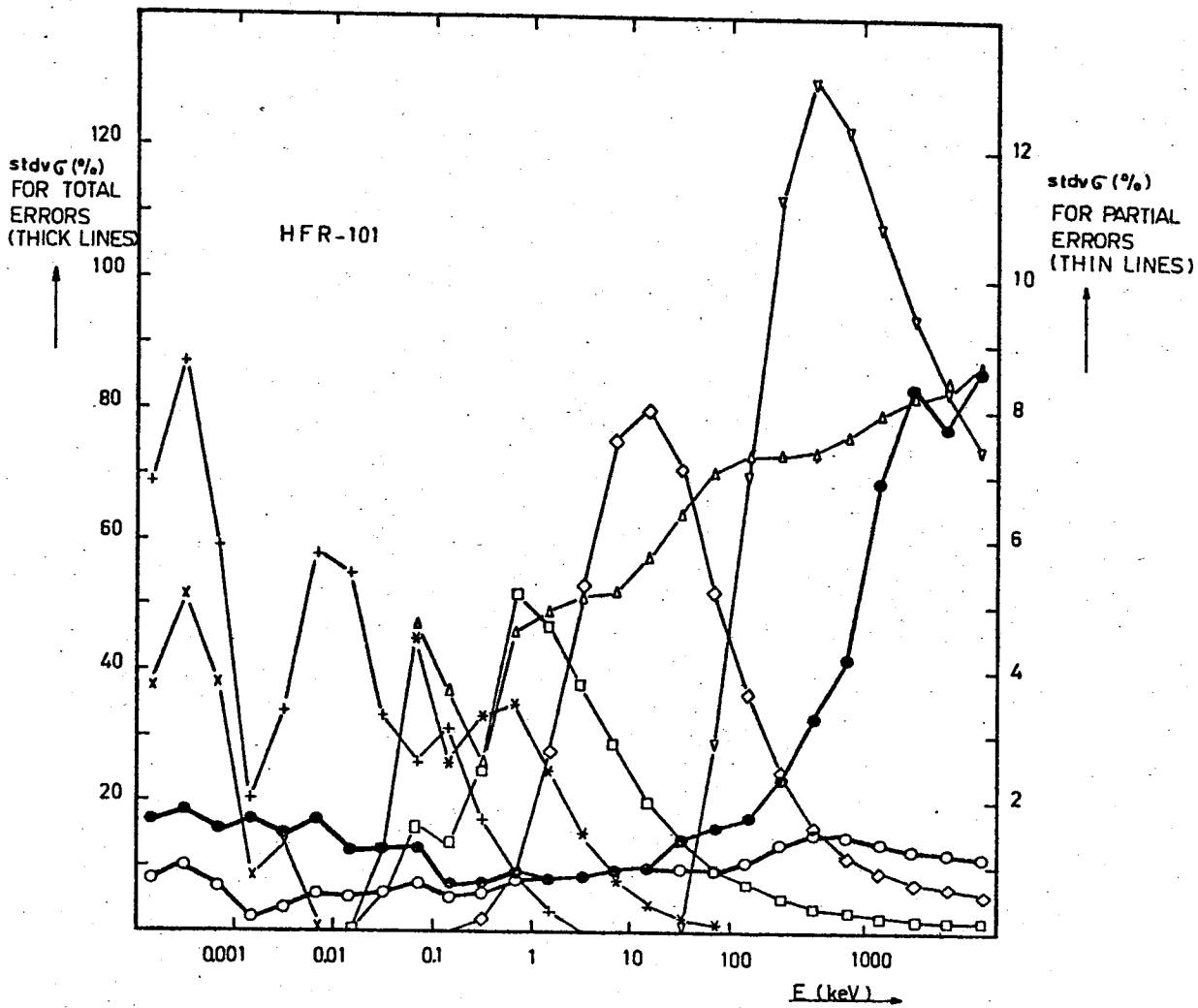


Fig. 6 Contributions to the standard deviations of group cross sections for the 26 ABBN energy groups for the fission-product mixture HFR-101. Explanation of symbols: see fig. 5. At low energies the total error also contains a weighting spectrum error. Note the difference in scale for the total errors.

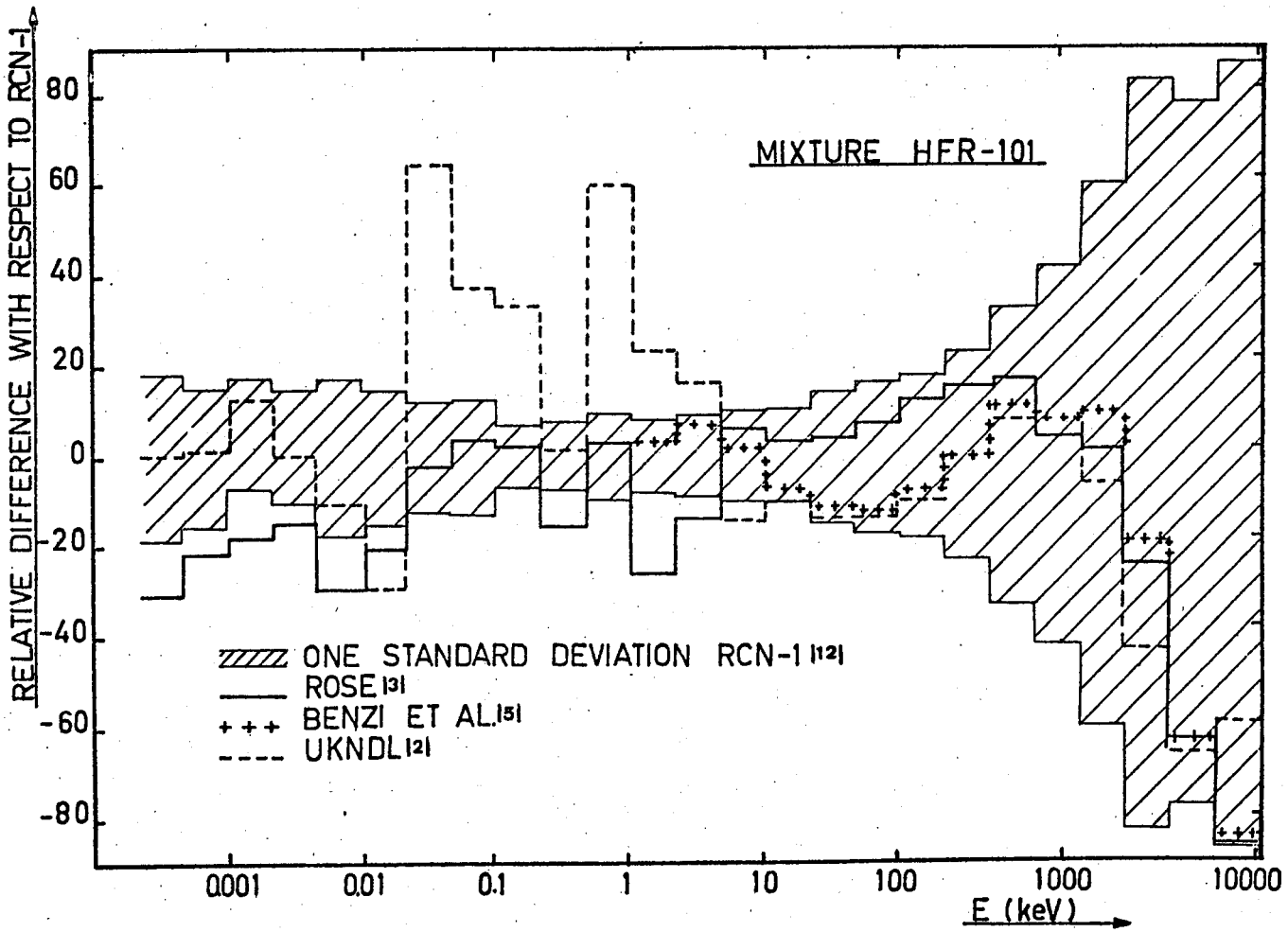


Fig. 7 Comparison of group constants for the sample HFR-101, calculated with different cross section sets. The relative difference with respect to the set RCN-1 is plotted for the first 25 ABBN groups. The envelopes of the dashed area represent the standard deviations of the RCN-1 group cross sections.