

J E F (Joint Evaluated File) の現状

(原 研) 中 島 豊

1. はじめに

J E F はOECD/NEA Data Bank加盟国の共同プロジェクトとして作られた評価核データファイルであり、ENDF/BやJENDLに相当する。そもそもJ E Fを作ることになった事の起りは、ENDF/B-Vの一般ファイルが公開されなくなったことである。西ヨーロッパの研究者はENDF/B-Vの非公開には大変困り急拠J E F-1が作られた。J E F-1は改めて評価されたものはほとんどなく、既存の評価核データファイル(ENDF/B-IV, JENDL-2, KEDAK, UKNDLなど)のデータを比較して最もよいと思われるデータを採用してENDF-5 Formatでファイル化されたものである。各種のベンチマーク・テストを行った後、1985年3月公開された。J E F-1は若干ヨーロッパでの評価活動の成果をとり入れてはいるものの、既存の評価ファイルのまるうつしに近いものであったので独自に評価ファイルを作ることが計画され、J E F-1が公開された直後からJ E F-2の作業が開始された。予定されている核種とその責任者を表-1に示した。責任者が評価者を依頼し、評価を進め、春(4月か5月)と秋(10月か11月)Data Bankに評価者が集まりworkig groupの会議を開き、評価の進捗状況を報告することになっている。これとは別に年1回政策的な問題を討議するために科学調整グループの会合が開催される。

表-1に示した核種のうちO-16とNa-23はJENDL-3を採用することが予定されており、Li-7とBe-9についてはオランダのECN Pettenと米国のLANLが共同で評価する予定になっている。またHf-isotopeの評価については一度もworking group会合で報告されたことがなく、J E F-2に含められるかどうかかわからない。こうしてみるとJ E F-2に含められる新評価核種はJENDL-3などに比べると大変少ないことになる。しかし評価される核種については長年の研究成果の積み重ねの結果が盛り込まれるので、質の高い評価になるものと思われる。

評価作業の進捗状況はあまりかんばしくなく、1989年2月末まで主要核種(U-235, U-238, Pu-239, Fe, Cr)のファイルを作り、直ちにベンチマーク・テストに入ることになっている。1989年4月15~18日にworking group会合が開催され、ベンチマーク・テストの予備的な結果も報告されることになっている。

しかしながら、Data Bankからの最近の情報やJ E FのCoordinatorのSalvatores(CE N Cadarache)から評価責任者への督促状などから察してこのスケジュールも相当遅れている様子が察せられる。

私は1985年11月から1988年12月まで3年余りData Bank に勤務し、J E F - 2 に関係しU - 238, Pu - 239などの評価を行なった。本年3月早々にはJ E F - 2の暫定ファイルを送付することを約束して帰国致したが、再三の督促にもかかわらず評価作業が遅れ、送付されて来ておりません。従いまして本報告は1988年末現在のものになる。主に1988年11月に開催されたワーキング・グループの会合での報告に基づいたものである。以下に主要核種の評価結果を述べる。

この報告は正式な研究論文ではないので、実験データの出典は明記しなかった。C I N D A, Academic Press 発行のNeutron Cross Sections vol. 1, vol. 2. (通称BNL-325 4 thedition) を御覧になれば、ほとんどのデータの出典を見つけることが出来るでしょう。

2. U - 235

2.1 η の問題

η は $\bar{\nu}\sigma_f / (\sigma_f + \sigma_c)$ として定義される。即ち中性子が1個吸収された時発生する核分裂中性子の個数である。 η のこれまでの評価値はどれも0.1 eV以下で一定値に近いものであるが、軽水炉の反応度の減速材温度係数の実験値と計算値の不一致を改善するためにWinfrithのHalsallやCadacheのSantamarina 達によってエネルギー依存を持たせることが提案された。Geelでの実験はSantamarina 達の提案した曲線を再現して (Fig. 1) この不一致を一見解決したかかのように見えるが、最近の全断面積と核分裂断面積の実験値はいずれも $1/v$ のエネルギー依存性を持っており、 η は0.1 eV以下では一定値を持つことが期待される。J E F - 2の予備的ファイルではGeelの実験値の誤差を考慮して、thermal cross sections は $1/v$ の形を持たせる様になることになった。これは η を一定値にすることに対応する。

2.2 分離共鳴領域

Gwin 達の20eV以下, Weston and Todd の15eV以上の核分裂断面積の測定値およびSpencer 達の数eV以下, Harvey 達の数eV以上の全断面積の測定値にR - matrixに基づく、解析コードS A M M Yを用いてde Saussure 達によって得られたReich - Moore のパラメータを採用する。110eV以下では個々の共鳴準位のパラメータであるが、110eVから2,250eVのものは個々のピークが単独の共鳴準位である保障はないので実験値を現象論的に再現するパラメータである。Derrien 達の解析結果の一部をFig. 2に示す。参考のためにBlonsのデータも示してあるが共鳴の谷の部分で実験値が系統的に大きくなっていて、バックグラウンドの差引きが不適当であるとしてDerrien 達はこの実験データを採用していない。しかしBlonsのデータは試料を液体窒素で冷却して得られたもので分解能が良いので共鳴の分離が良くこの解析に大変役立っていることがわかる。

3. U - 238

3.1 分離共鳴領域

de Saussure 達, Moxon, Macklin 達による捕獲断面積の測定値およびOlsen 達による中性子透過率の測定値を解析コード R E F I T を用いて Moxon 達によって評価された。4keV までは個々の共鳴準位のパラメータが得られていると考えられるが、4 keV から10keV のパラメータは個々に共鳴準位のパラメータが得られた保障はなく、実験値を再現する現象論的なパラメータを示すものと考えられる。また4 keV から10keV では、共鳴パラメータの値から計算した平均断面積はこのエネルギー領域の低分解能の実験値に比べて大きい。これはこの領域で重きを置いて解析に使われた Macklin 達の捕獲断面積の実験データのバックランドの差引きと規格化が不相当であるためと考えられている。しかしこれらの補正を適切に行うことは簡単でなく、予備的なファイルには現在の値が入れられる予定である。Macklin 達の捕獲断面積の測定値と Olsen 達の中性子透過率の測定値を R E F I T コードで解析した例を Fig. 3 に示す。

3.2 非分離共鳴パラメータ

このエネルギー領域の J E F - 2, E N D F / B - VI の評価方法並びに評価値については原研核データセンター中川氏による解説がある⁽¹⁾。Froehner は、非分離共鳴領域での平均部分断面積の厳密な式を導出し、それを全断面積と捕獲断面積、非弾性散乱断面積の実験値に一般化最小自乗法でフィットし、それぞれの部分断面積の評価値を得た⁽²⁾。Kononov 達や Smith 達, Tsubone 達の全断面積, Kazakov 達の捕獲断面積, Winters 達や Tsang and Brugger, Smith 達の非弾性散乱断面積の測定値に重点を置いて評価された。この評価値は J E N D L - 3 T と Poenitz による評価値の中間に位置していた。Poenitz による同時評価の値は大部分の実験値と余りにもかけ離れているとの指摘が J E F 側から出され、Poenitz は実験値の重み (Covariance) を変えて、若干大きめの値に修正したので Froehner の評価値とほぼ一致することとなった。その様子は Fig. 4 に示されている。それでも依然として Froehner の評価値も Poenitz の評価値も 50keV から 500keV までは大部分の実験値より小さい。この理由を Poenitz は実験データ間の相関によるものだと説明している (原研核データセンター五十嵐氏への私信)。断面積の形を決める実験データと絶対値を決める実験データがあり、このエネルギー領域の大部分のデータは形を決めるデータであり、評価値からずれても問題にはならないと云いたい様である。そう云われてもこのエネルギー領域でだけこんなことが起こることに簡単に納得するわけにはいかない様に思う。しっかりした信頼出来る実験データがいくつか複数早急に出ることが望まれる。Froehner と Poenitz の評価値を支持する理由の一つとして M. Sowerby (A E R E, Harwell) は共鳴領域での Poenitz の評価値と J E F - 2 の共鳴パラメータから計算した平均断面積がほぼ一致することを挙げている。その様子を Fig. 5 に示した。共鳴パラメータのところ述べた様に 4keV 以上では共鳴パラメータの値が大きくなりあまり良く一致しない。

4. Pu - 239

1keV以上のエネルギー領域でDerrieuとde SaussureによってReich-Mooreの共鳴パラメータが評価された。Spencer達(数eV以下)とHarvey達のTransmissionの実験値, Gwin達(20eV以下)とWeston and Fodd(15eV以上)の核分裂面積の実験データが主に用いられた。Fig.6にWeston and Foddによる核分裂断面積の実験データとENDF/B-V, ENDF/B-VI(JEF-2)との比較を示した。明らかにENDF/B-Vに比べて実験値との一致が良くなっていることがわかる。

5. Pu - 241

分離共鳴領域は300eV以下であり, これもSAMMYを用いてReich-Moorの共鳴パラメータがDerrienとde Saussureによって評価された。評価に用いられたデータは, HarveyとSympsonのTransmissionの測定値とMigneco達, Blons達, Weston達による核分裂断面積の測定値, Weston達の捕獲断面積の測定値(吸収断面積から核分裂断面積を差引いて得られた。)である。特にBlons達の測定は試料を液体窒素で冷却して得たものだけに他の測定値に比べて共鳴の分離が格段に良く, 分離共鳴パラメータの評価を容易にしている。その様子はFig.7の250eVから300eVのエネルギー領域での評価に明瞭に示されている。

6. Ni

JENDL-2をベースにしてファイルを作る方針でPettenを中心に評価が進められている。既にファイル1,2,3は完成している。分離共鳴パラメータは500keVまでDerrienの評価値を採用した。Pereyの新しい評価値が間に合えばそれを採用することを考える。1MeV以上はUhl(IRK, Vienna)の評価値を採用する。500keVから1MeVはPettenでUhlの光学ポテンシャルを使って評価する。Fig.8に ^{58}Ni の (n, γ) 断面積の評価結果を示す。Uhlの光学ポテンシャルとDerrienの平均共鳴パラメータを使った計算値は実験値並びに共鳴パラメータから計算した平均断面積に比べて大きかったのでDobsと Γ_γ を調節し, 実験値に合わせた。100keV~500keVの共鳴パラメータから計算した平均断面積は小さいのでスムーズなバックグラウンドで補正をした。

7. Fe

分離共鳴パラメータ(多分Reich-Moore formalism)は新たにFrohnerが評価した。1~20MeVにおける評価はBolognaにおいて行われた。これには γ 線生成断面積も含まれている。その結果の一部をFig.9に示す。

8. Cr

γ 線生成断面積を含めて安定な4核種の評価はBolognaのグループによって完成している。

9. 核分裂生成核種

大部分の核種の分離共鳴パラメータはBNL-325 4th editionを使って更新した。またSingle-level parametersはすべてmulti-level parametersに変更した。

多くの核分裂生成核種に対して低い励起準位への非弾性散乱断面積の実験値は評価値（複合核過程しか含んでいない。）に比べて最大2倍大きいことが分かっている。これは例え低い入射エネルギー（1MeV以下でも）でもこれ等の核では直接過程が大きく寄与しているからと考えられる。Fig.10に ^{102}Ru と ^{104}Ru の1st 2^+ への非弾性散乱断面積の評価値と実験値の比較を示す。この場合実験値にはKonobeevskii達のものしかないが、 ^{96}Mo , ^{98}Mo , ^{100}Mo についてはA. B. Smith(A N L) 達の実験値があり、これはKonobeevskii 達の値と良く一致している。Pettenでは直接過程を含めた計算を行なって主なeven-even核の評価値を改良する予定でいる。

10. 放射化断面積

Pettenで作成されたREAC-ECN-2をJEF-2の放射化断面積ライブラリーとして採用する。

References

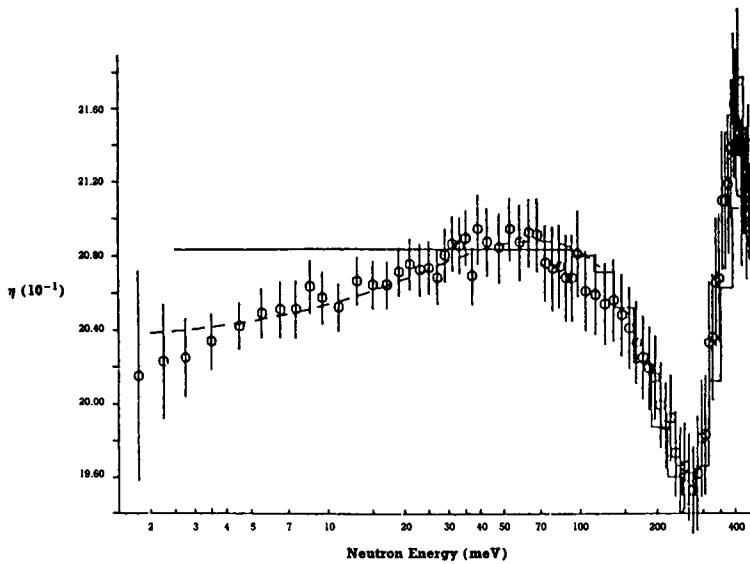
- (1) 中川庸雄, 核データニュース, No32, P. 57 (1989).
- (2) F. H. Froehner, Proc. 1988 Int. Reactor Physics Conf., Jackson, U.S.A., 18-22 September 1988, Vol. III, P. 171 (1988).

Table 1.

JEF-2 EVALUATIONS

LIST OF RESPONSIBLE PERSONS

1.	Li-7	H. Gruppelaar (EFF-1),
2.	Be-9	H. Gruppelaar (EFF-1),
3.	B-10	Task Group on standard evaluations,
4.	O-16	H. Conde,
5.	Na-23	M. Salvatores (in collaboration with JENDL-3),
6.	Al-27	E. Menapace (Dosimetry),
7.	Cr-isotopes	E. Menapace,
8.	Fe-isotopes	F. Froehner,
9.	Ni-isotopes	H. Gruppelaar,
10.	Zn	H. Gruppelaar (Dosimetry),
11.	Fission Products	H. Gruppelaar and E. Menapace (to be specified), <i>Tellier</i>
12.	Hf-isotopes	R. Smith,
13.	Pb-nat	H. Gruppelaar (EFF-1),
14.	U-235	H. Derrien, H. Tellier and J. Rowlands,
15.	U-238	M. Sowerby, F. Froehner and E. Fort,
16.	Np-237	H. Derrien (Dosimetry),
17.	Pu-239	H. Derrien and E. Fort,
18.	Pu-240	E. Fort,
19.	Pu-241	H. Derrien and F. Froehner,
20.	Am-241	E. Fort (Dosimetry),
21.	Am-242m	F. Froehner,
22.	Am-243	F. Froehner and M. Sowerby.



Preliminary results of the Geel Measurements of ^{235}U compared with the modified data (---) proposed by Santamarina et al

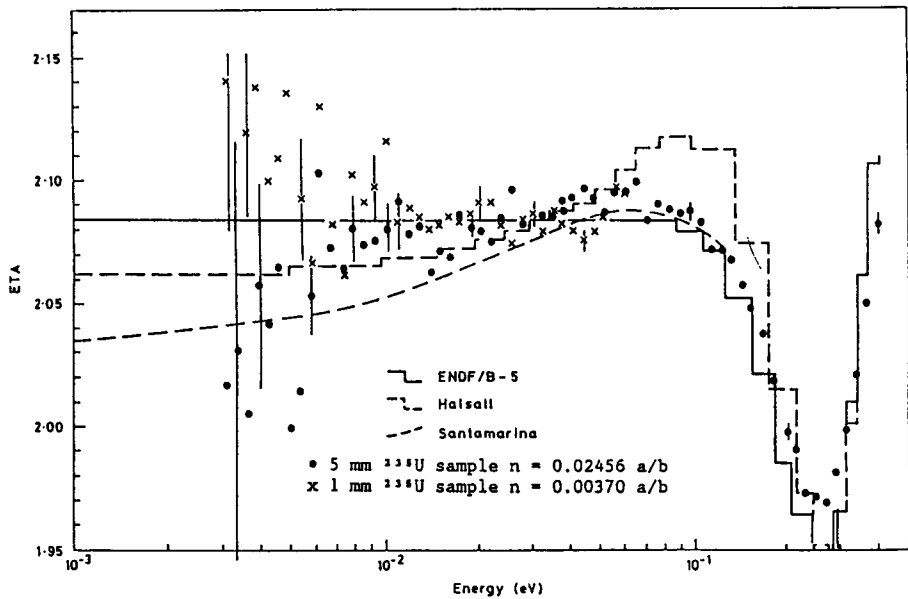


Fig. 1. The neutron energy dependence of η for ^{235}U

R-MATRIX ANALYSIS OF THE U-235 CROSS SECTIONS

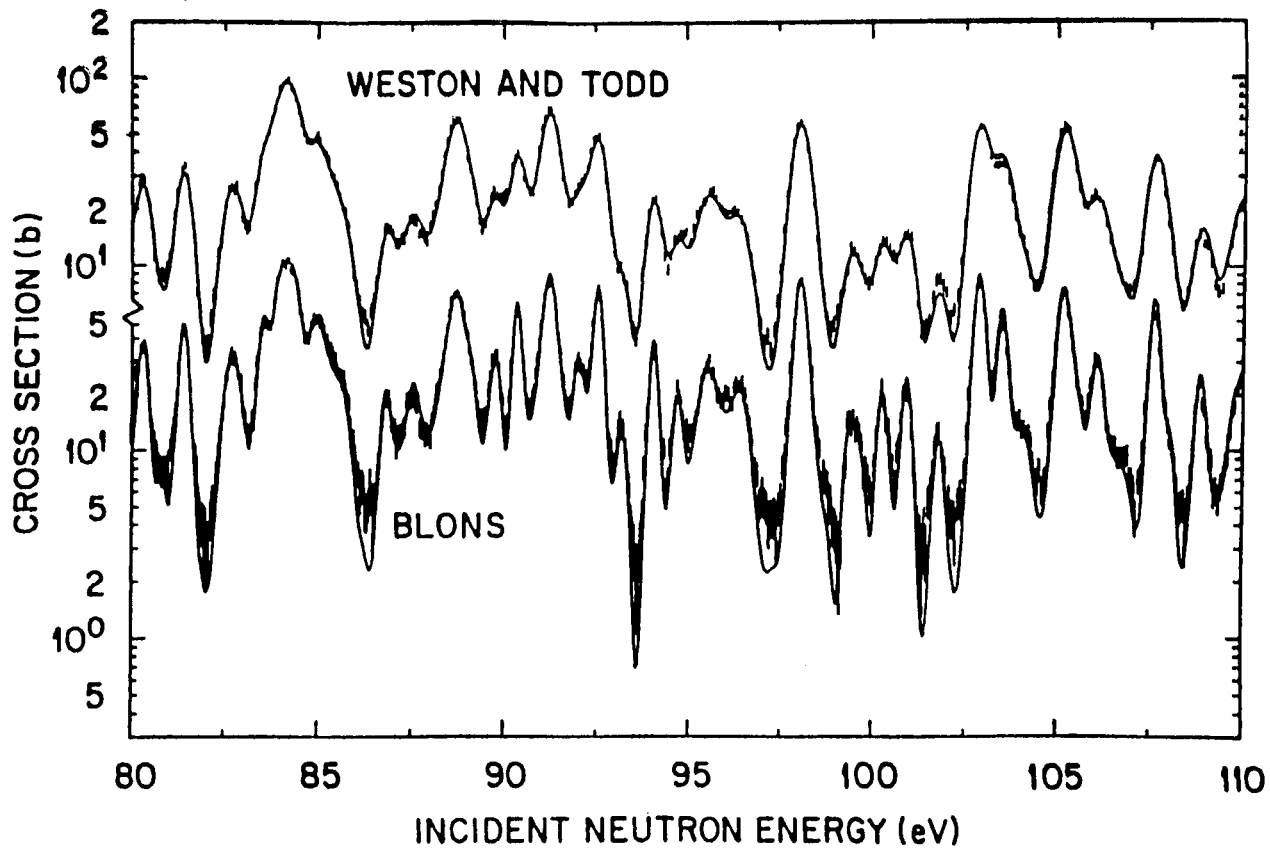


Fig. 2. ²³⁵U fission cross sections from 80 to 100eV

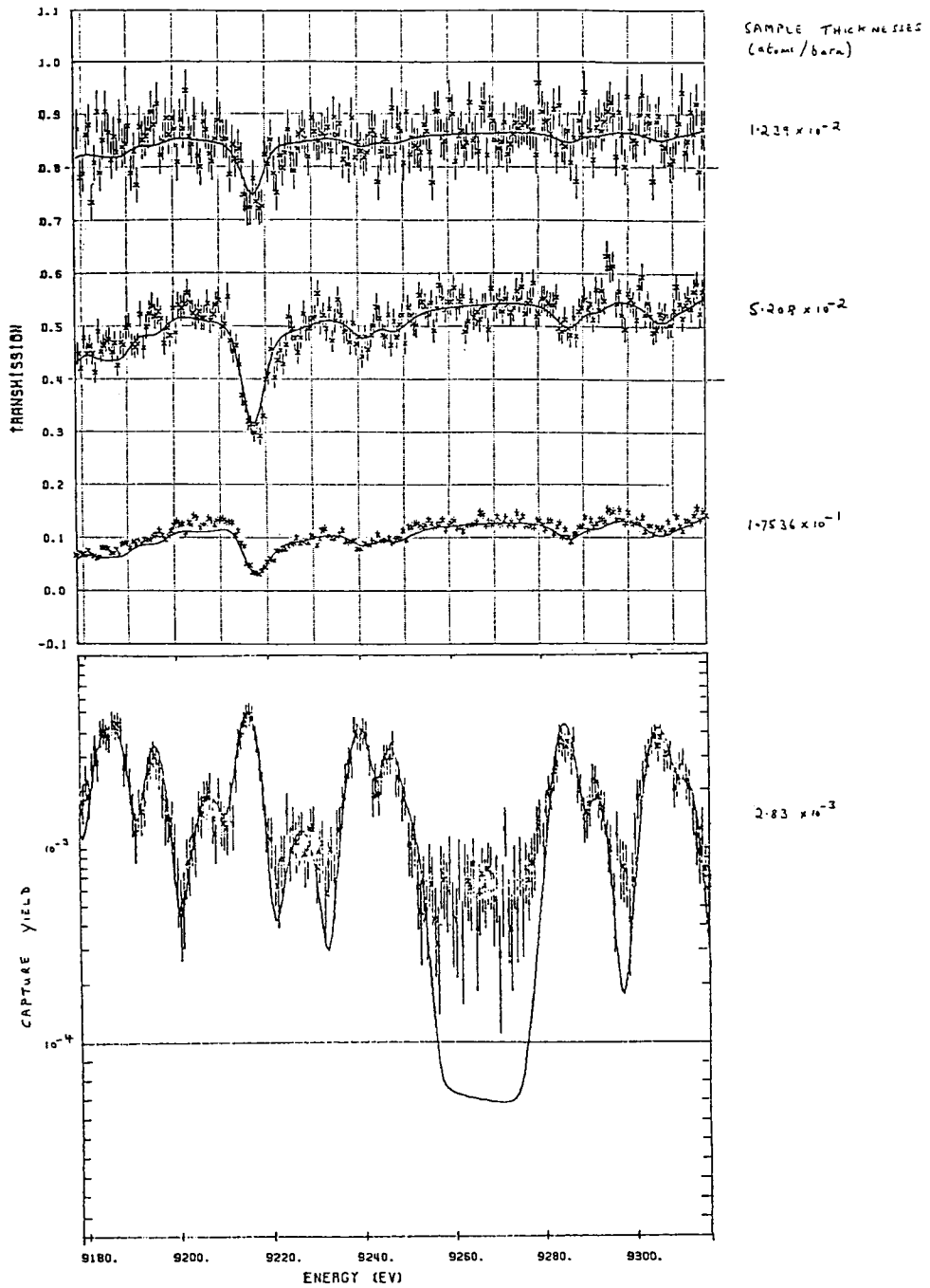


Fig. 3. Comparison of calculated values with the measured transmission and original capture data of Olsen et al and Macklin et al

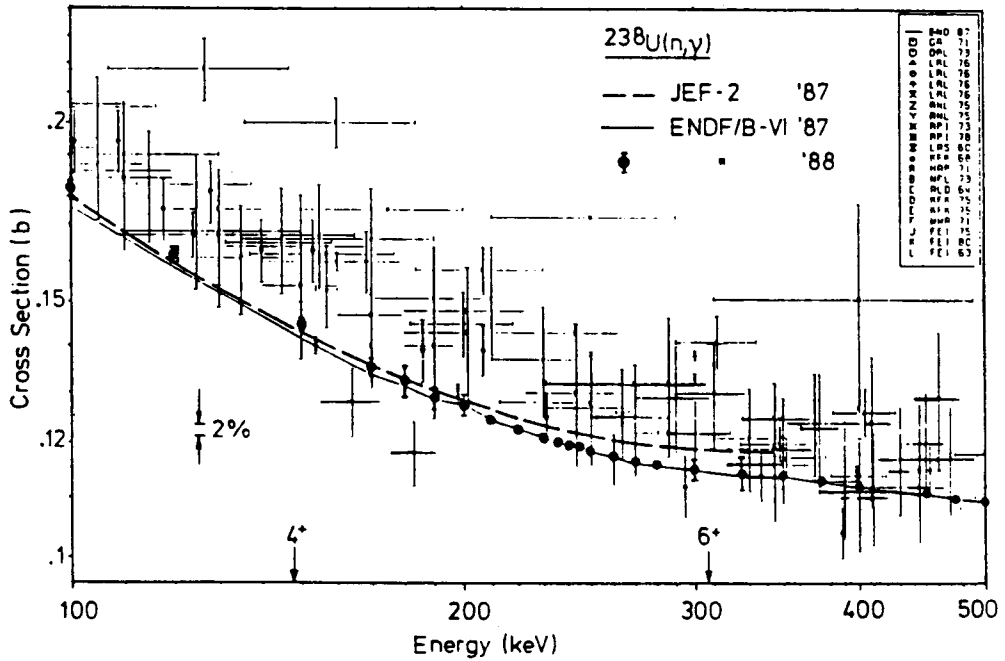
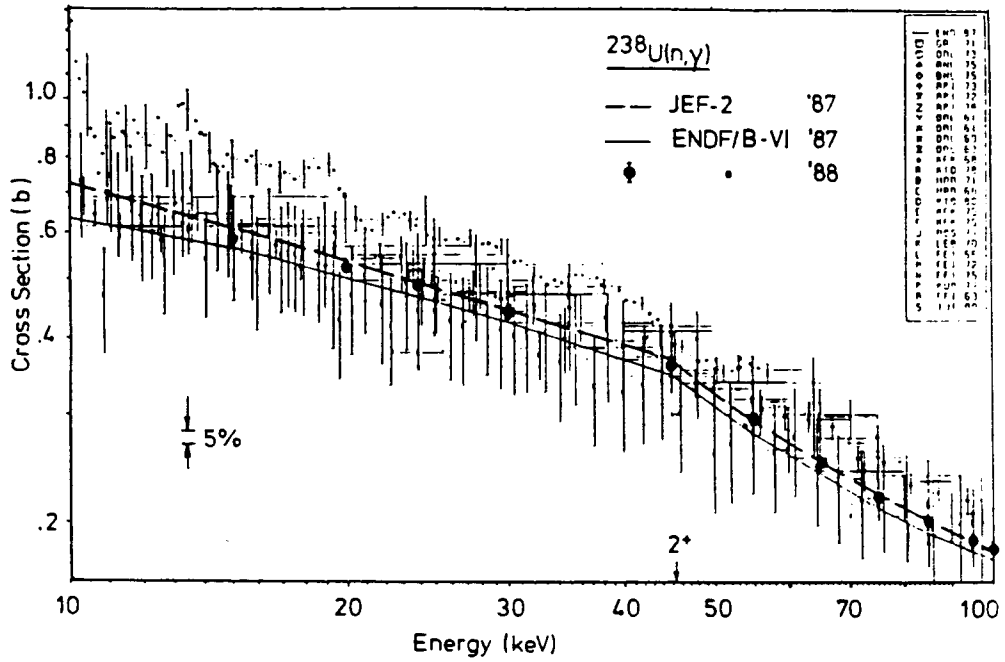


Fig. 4. Capture cross section evaluations and data. Inelastic thresholds are indicated by spin-parity characteristics of residual levels.

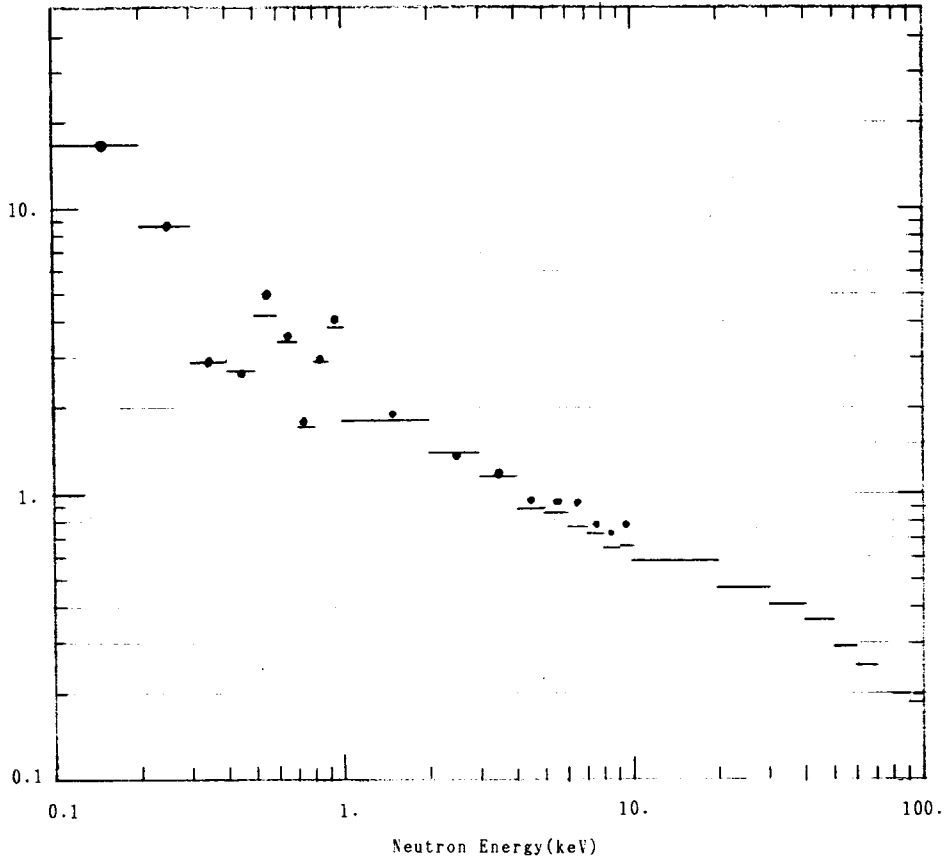


Fig.5. Comparison of the Pönitz's evaluation and resonance - averaged capture cross sections of ^{238}U . The black circles show the resonance - averaged capture cross sections and the bars show the Pönitz's evaluation.

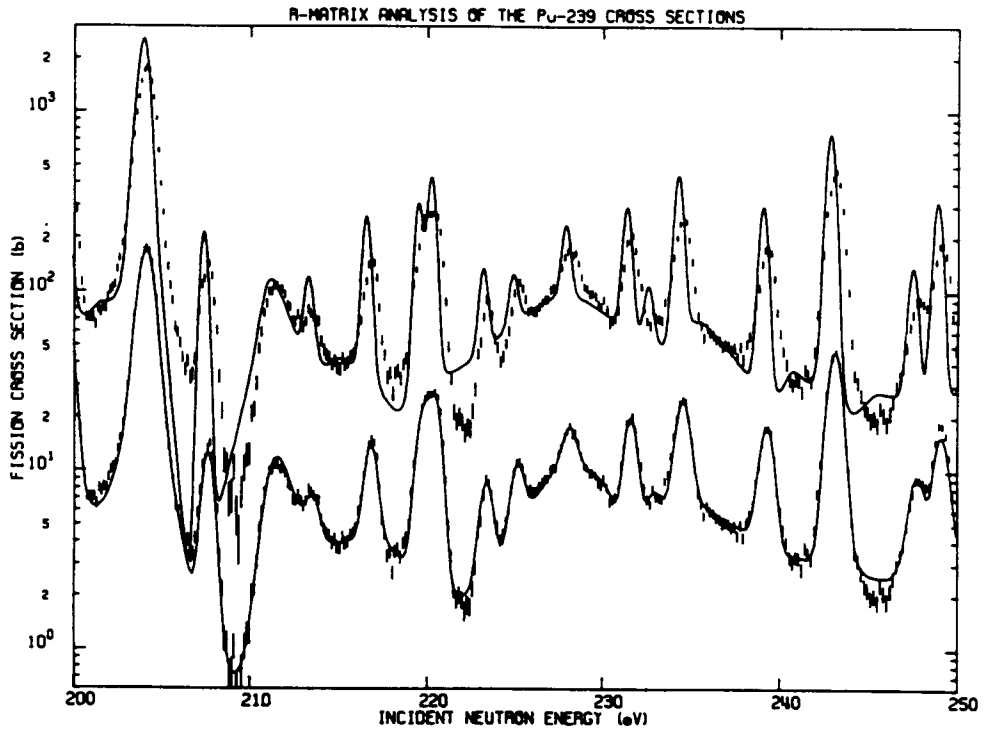


Fig. 6. Comparison of the fission cross section computed with the resonance parameters of Derrien and de Saussure (lower solid line) and with ENDF/B-V (upper solid line) with the data from Weston 84, in the energy range 200 to 250 eV. The ENDF/B-V calculation and corresponding set of data were displaced up by one decade for clarity.

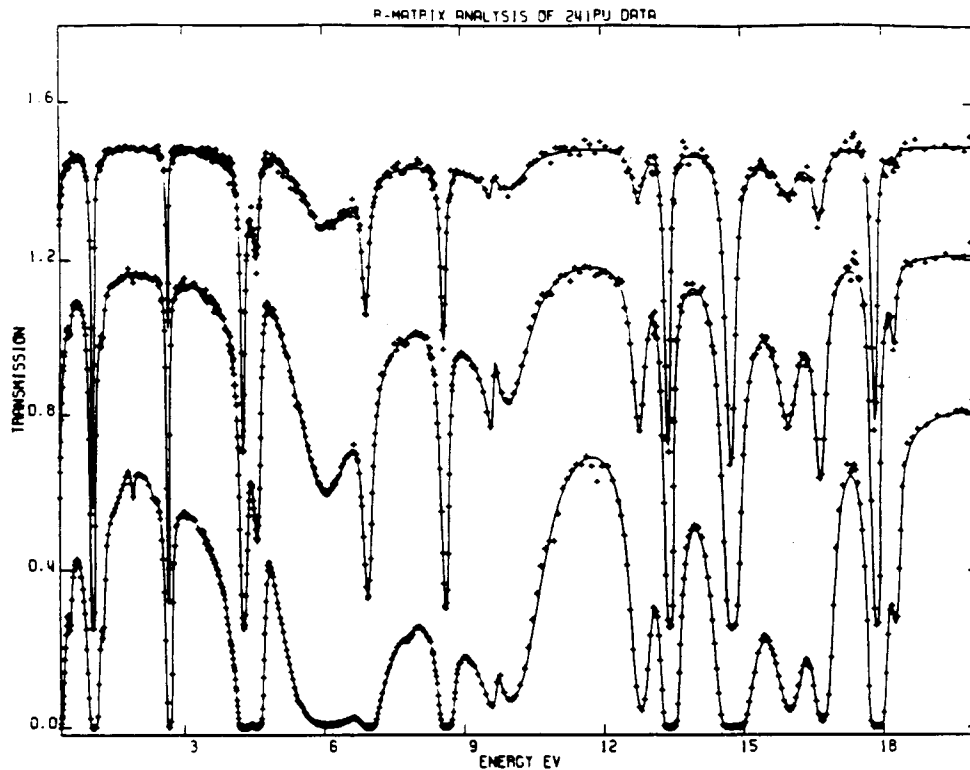


Fig.7. ^{241}Pu transmission ratio in the energy 0.3 eV to 20eV. The experimental data (crosses) are the results of Harvey et al. measurements of 5.19×10^{-4} at λ/b , 2.27×10^{-3} at λ/b and 1.12×10^{-2} at λ/b samples. The solid lines represent the values calculated from the resonance parameters. The data for the thin and medium samples are displaced by 0.25 and 0.5 respectively for clarity of the display. The resonances of the isotopes ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu , ^{241}Am were not removed from the data.

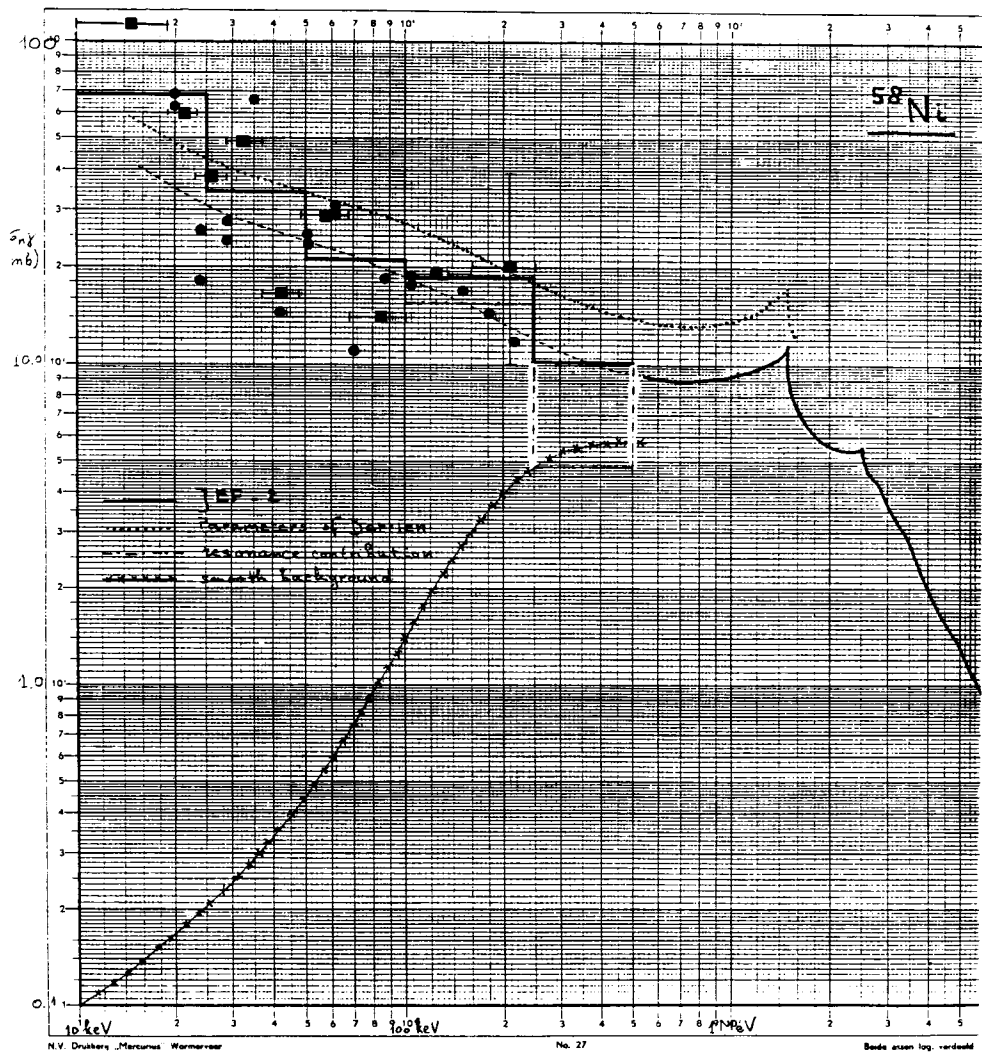


Fig.8. Capture cross sections of ^{58}Ni .

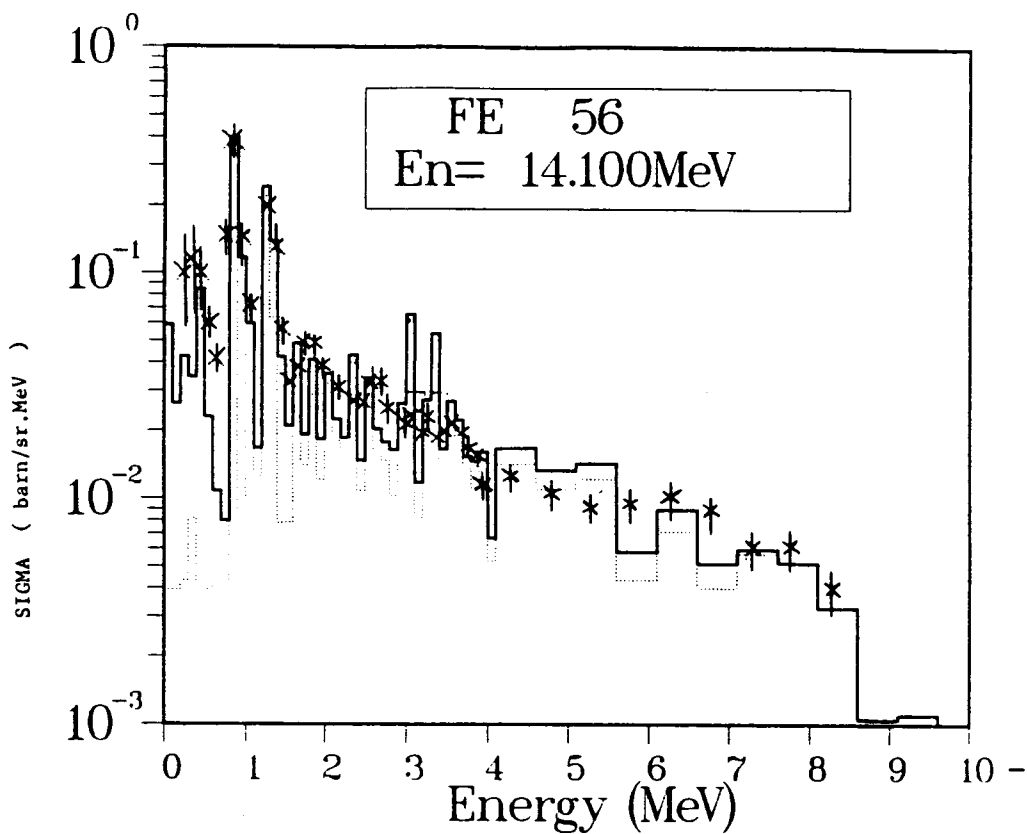


Fig. 9. Gamma - ray spectrum from ^{56}Fe ($n, x\gamma$) reactions at $\theta = 90^\circ$ for 14.1 MeV incident neutrons. Experimental data are taken from: D. M. Drake, E. D. Arthur and M. G. Silbert, Nucl. Sci. Eng. **65**, 49 (1978). Solid line: present calculations for total gamma - ray emission spectrum, namely ($n, n'\gamma$), (n, γ), ($n, 2n\gamma$), ($n, p\gamma$), ($n, np\gamma$) and ($n, \alpha\gamma$). Dotted line: present calculations for ($n, n'\gamma$) channel only.

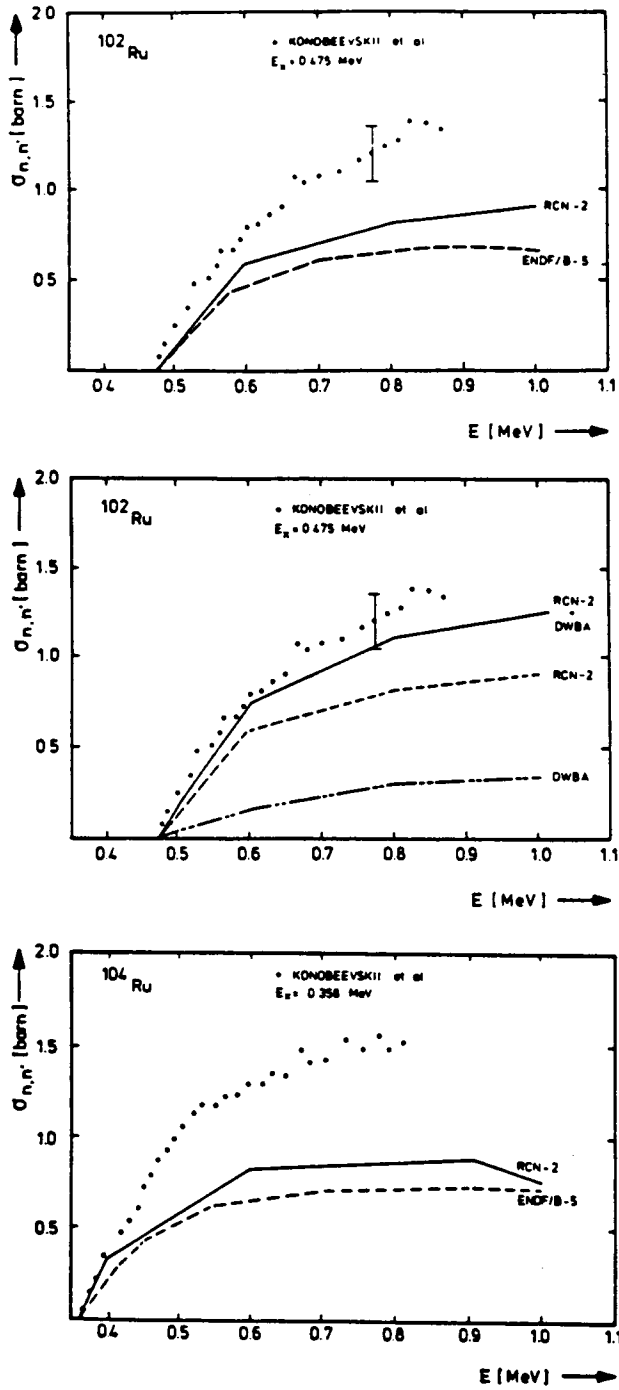


Fig.10. Comparison of experimental and calculated inelastic scattering cross sections for Ru-isotopes.