

微分断面積の必要性と輸送計算

阪大工 高橋 亮 人

本件の内容については、すでに同じ著者による他の論文で詳しく論じられているので、著者と相談の上、ここではあえて再録しないことにしました。内容は次の論文を参照して下さい。(編集係)

- 1) 高橋亮人：日本原子力学会誌, 21[12]903(1979)
- 2) Takahashi, A. and Rusch, D. : KfK 2832/I, 1 (1979)
- 3) Takahashi, A. et al. : J. Nucl. Sci. Tech. 16[1]1(1979)

JENDL-2 遮蔽ベンチマークテスト

住友原子力 山野 直 樹

1. はじめに

遮蔽解析及び核融合ニュートロニクス分野においては放射線の流れ (current) を基本的な物理量として評価する点の特徴の一つであり、核データ評価値を検討する場合には、炉心解析の積分量評価とは異った観点による評価を行なう事が可能である。

JENDL-2の構造材核種の評価が終了した時点で上記の遮蔽ベンチマーク解析を行い、核データの適用性及び問題点を明らかにする事により、JENDL-2の精密化を図り、さらに将来の核データ評価に有益な情報を提供出来る。以上の観点より、核融合ニュートロニクス及び遮蔽の分野で問題となる高エネルギー中性子の透過問題を対象として、JENDL-2の鉄に対するベンチマーク解析を行なうと共に、非弾性散乱断面積の非等方性の中性子スペクトルに与える影響を検討する事を目的とした。

2. 解析手法の概要

解析手法としては、核データの群定数処理及び輸送計算の誤差を出来るだけ除くため、原研で開発されたRADHEAT-V⁴コードシステムを使用した。群定数処理をFAIR-CROSS

モジュールで行ない、一次元 S_N 輸送計算を $DIAC^{2)}$ モジュールで行なっている。

$FAIR-CROSS$ モジュールは核データの情報を忠実に群定数化する目的で作成されており、非弾性散乱の非等方性についても、各レベル毎に忠実な処理を行う。また角度依存性は従来の有限項 Legendre 関数による展開表示を除き、散乱角の函数として直線内挿可能な point data として取扱い事が特徴の一つである。今回の解析では、非弾性散乱の非等方性の感度解析を行う事が目的の一つであるため、非弾性散乱の任意のレベルに対して重心系等方近似を取り入れられるようにプログラムを修正した。一次元 S_N 輸送解析に使用した $DIAC$ モジュールは上述の $FAIR-CROSS$ モジュールで作成された群定数を使用し、散乱線源及び角度線束表示に有限項 Legendre 関数展開法を除いた手法を用いている。そのため群定数処理から輸送計算に至るまで、断面積の角度依存性に従来生じていた振動及び負値を除く事が可能となった。また非等方性の著しい線源を与えられた透過問題に対しても角度線束が負値となったり振動せず、正しい解が得られる。このように、角度依存性を含めた核データ評価に対して、 $RADHEAT-V4$ コードシステムは最も適した解析手法の一つと言える。

$ENDF/B-IV$ の鉄データ ($Mat.=1192$) には非弾性散乱断面積の一部 (^{54}Fe 1st. level) を除いて非等方のデータが収録されている。一方、 $JENDL-2$ の鉄データ ($Mat.=2600$) には、すべて重心系等方近似が採用されている。そのため群定数は表1に示すように4種類を作成し、非弾性散乱の非等方性の中性子スペクトルに対する寄与を検討した。

ベンチマーク問題としては、 LNL で $L.F. Hansen$ らが行なっている一連の $14 MeV$ 透過実験³⁾の中から、鉄球体系についての測定結果を採用した。実験体系の概略図を Fig. 1 及び 2 に示した。この実験は d^+-T 反応により球中心で発生した $14 MeV$ 中性子を用いて、球表面よりの漏洩スペクトルを TOF 法で測定しているもので、 $ENDF/B-III$ 及び IV の評価にも使用されている信頼性の高い測定である。今回のベンチマーク問題として採用した理由として、(1) 実験体系が単純な形状である、(2) 測定値のエネルギー分解能が良く、絶対値評価が行なわれている、(3) 球表面よりの Leakage Current の測定であり、中性子束の測定よりも情報が多い、(4) 試料の厚さより、高エネルギー領域の非弾性散乱断面積の評価に適している、といった特徴によるものである。一般に遮蔽ベンチマーク実験は複雑な体形で行なわれているものが多いが、核データ評価の為に上記のような観点における実験が必要であろう。

群定数のエネルギー群構造は、測定値のエネルギー分解能を考慮して $200 keV$ 等間隔とし、 $1 MeV \sim 15 MeV$ の範囲で 70 群とした。測定値は $2 MeV \sim 15 MeV$ について与えられている。

一次元 S_N 輸送計算は、実験形状を球にモデル化し、中心より半径 $1.03 cm$ までを線源領域

としている。線源は体積線源として与え、エネルギー分布として 13.65 MeV を中心とした正規分布を仮定した。測定値との比較のため、球表面における net current を求めた。計算条件は S_{16} 、空間メッシュ幅は 1 cm である。

3. 計算結果

0.9 mfp 及び 4.8 mfp 透過の測定値と計算値の比較を Fig. 3 及び 4 に示す。図中、実線に Δ 印で表示されているのが ENDF/B-IV による結果であり、破線に + 印の表示は ENDF/B-IV のすべての非弾性散乱レベルを重心系等方とした時の結果であり、破線に \times 印の表示は ENDF/B-IV の ^{56}Fe 1st. level (MT=51) のみを重心系等方とした結果を示し、破線に \diamond 印は JENDL-2 による結果を示した。

ENDF/B-IV では 9 ~ 11 MeV の範囲を除いて、測定値との一致は良い。しかし JENDL-2 は 2 MeV ~ 13 MeV 間で最大一桁以上の過小評価となっている。

4. 考 察

JENDL-2 の過小評価の原因を調べるために、反応別の断面積値を ENDF/B-IV のそれと比較した。

10 MeV 以上のエネルギー範囲では、全断面積についての差異は最大で 3%、弾性散乱では最大 7.7% の差異であり、この程度の違いで中性子スペクトルが 1 桁以上異なる事は考えられない。Fig. 5 に ^{56}Fe 1st. level の非弾性散乱断面積を示す。その差異は約 50 mb である。Fig. 6 には非弾性散乱による散乱マトリクスのうち、エネルギー範囲 11.4 ~ 11.6 MeV に散乱されるエネルギー遷移断面積を示した。JENDL-2 と ENDF/B-IV では最大 2 桁以上の差異となっている。ここで散乱されるエネルギー範囲は中性子スペクトルでもっとも過小評価の著しい部分である。図中に非弾性散乱の各レベルとの反応可能なエネルギー範囲を合せて示した。これより最も寄与の大きい離散レベルは ^{56}Fe 1st. level である事が解かる。そのため、 ^{56}Fe 1st. level について Coupled Channel Optical Model⁵⁾ を用いて計算した非弾性散乱断面積⁶⁾と JENDL-2 original の値を置き換えた核データファイルを作成し、 ^{56}Fe 1st. level の中性子スペクトルに与える影響を調べた。新たに作成した核データに対し、非弾性散乱断面積を増加させた値だけ弾性散乱断面積を減少させて、全断面積値を保存させるように配慮している。

Fig. 7 及び 8 に上記の ad-hoc ライブラリーによる中性子スペクトルの計算値を示す。図中、実線に Δ 印は ENDF/B-IV によるものを示し、破線に + 印は ENDF/B-IV のすべて

の非弾性散乱レベルを重心系等方とした時の結果であり、破線に×印が JENDL-2 original によるものであり、破線に◇印が JENDL-2 を修正した ad-hoc ライブラリーによる結果を示してある。

これより、 ^{56}Fe 1st. level の断面積値を増加させた事による中性子スペクトルの改善が 11MeV 以上で顕著である事が理解出来る。しかしながら、それ以下のエネルギー範囲では、より高い非弾性散乱の離散レベルが反応に関与するため、中性子スペクトルの改善はなされない。 ^{56}Fe 1st. level の断面積値を約 50mb 増加させた事により、0.9mf p 透過では、中性子スペクトルを 1桁程度変化させるため、各離散レベルについて数mb 程度の評価値であっても無視出来ない事が考えられる。高エネルギー領域の中性子スペクトルを精度良く計算するためには、JENDL-2 において、上記の点に注意した再評価が必要である。

Fig. 9 及び 10 に ENDF/B-IV による中性子スペクトル計算値を基準とした、他の群定数による中性子スペクトルの比較を示す。非弾性散乱の非等方性による中性子スペクトルの変化は 0.9mf p 透過で +35%、-10% であり、4.8mf p 透過で +10%、-20% である。これらの変化は、 ^{56}Fe 1st. level による寄与によるものが大部分であり、他のレベルの非等方性はほぼ無視出来る。そのため、 ^{56}Fe 1st. level の非等方性についての評価が必要である。しかし他のレベルについては重心系等方近似で十分であると考えられる。

5. あとがき

JENDL-2 遮蔽ベンチマークテストとして、鉄の高エネルギー領域の評価を行ったが、考察で述べたように、種々の問題点が明らかとなった。

鉄の高エネルギー領域での非弾性散乱断面積は、各レベルについての測定値も少なく、断面積計算においても Coupled Channel Optical Model による計算が必要になるなど、核データ評価者にとっては、評価が容易に行いにくい領域である。このような核データ評価では、今回のように、非弾性散乱の寄与が顕著であるベンチマーク解析を通して、核データの精度を高める必要がある。

今回のベンチマーク評価に用いた手法は、核データ評価に対して、有益な情報を与え、かつその精度向上に十分寄与できる手法の一つである事が示された。

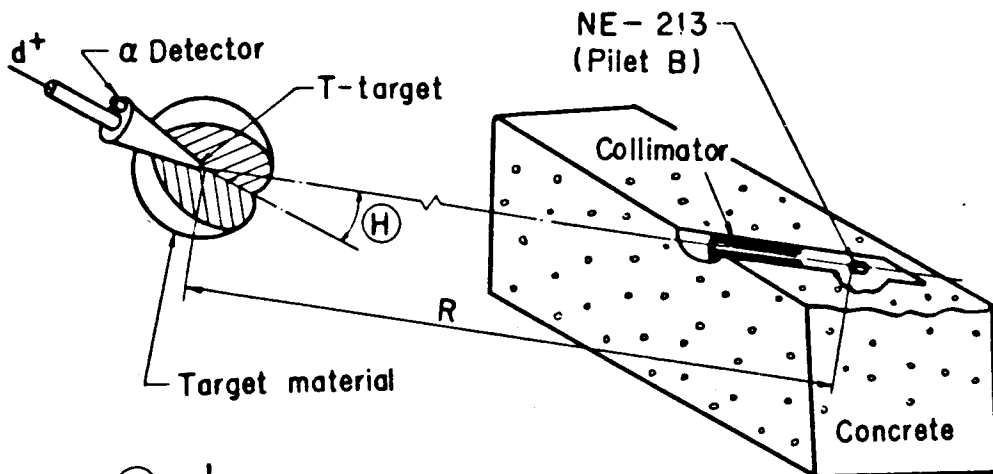
本研究を行うにあたり、ad-hoc ライブラリーの作成などの作業をしていただいた核データセンター中川庸雄氏に感謝いたします。なお本研究はシグマ研究委員会炉定数専門部会遮蔽定数ワーキンググループの活動の一部として行ったものであります。

参考文献

1. 小山謹二, 他: 昭和54年日本原子力学会年会予稿集 F33~F36 (1979)
2. N. Yamano, K. Koyama and K. Minami : J. Nucl. Sci. Technol. 16 (12) 919 (1979)
3. L. F. Hansen, et al. : Nucl. Sci. Eng. 51, 278 (1973)
4. L. F. Hansen, et al. : Nucl. Sci. Eng. 60, 27 (1976)
5. T. Tamura : Rev. Modern Phys. 37, 679 (1965)
6. Y. Kikuchi : private communication

Table 1 Generated group cross sections

No.	Isotope	Nuclear Data	Comments
10	natural Fe	JENDL-2	all levels of inelastic scattering cross sections are given with isotropic data in c.m.s.
20	natural Fe	ENDF/B-IV	
30	natural Fe	ENDF/B-IV	assume isotropic data in c.m.s. for ⁵⁶ Fe 1st. level of inelastic scattering cross section
40	natural Fe	ENDF/B-IV	assume isotropic data in c.m.s. for all levels of inelastic scattering cross section



(H)	R
30 deg	766.0 cm
120 deg	975.2 cm

Fig. 1 Schematic drawing of the experimental setup

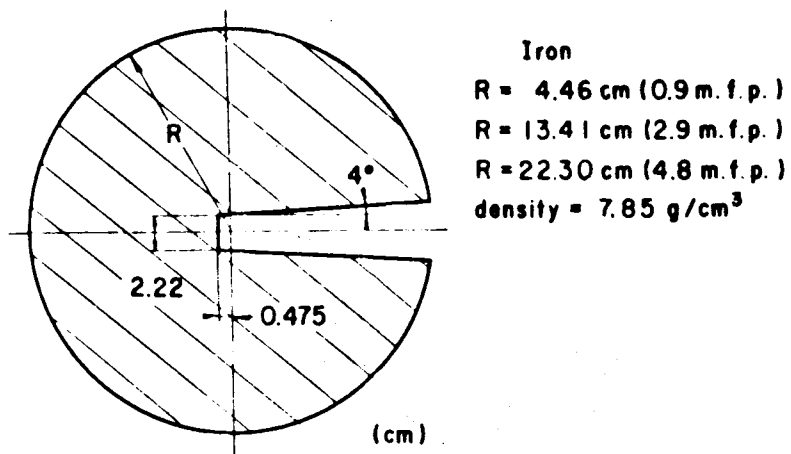


Fig. 2 Geometry of the spherical targets

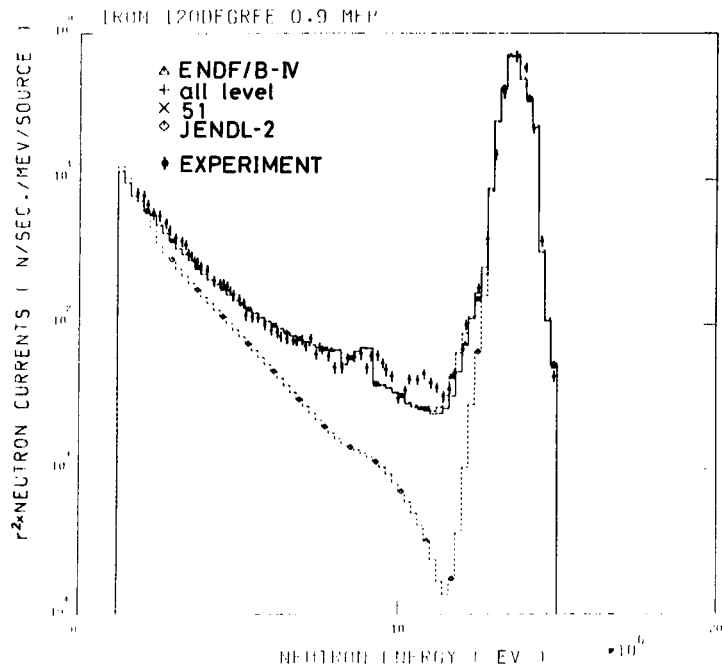


Fig. 3 鉄体系(0.9mfp)からの漏洩中性子スペクトル(120°方向)の計算値と実験値

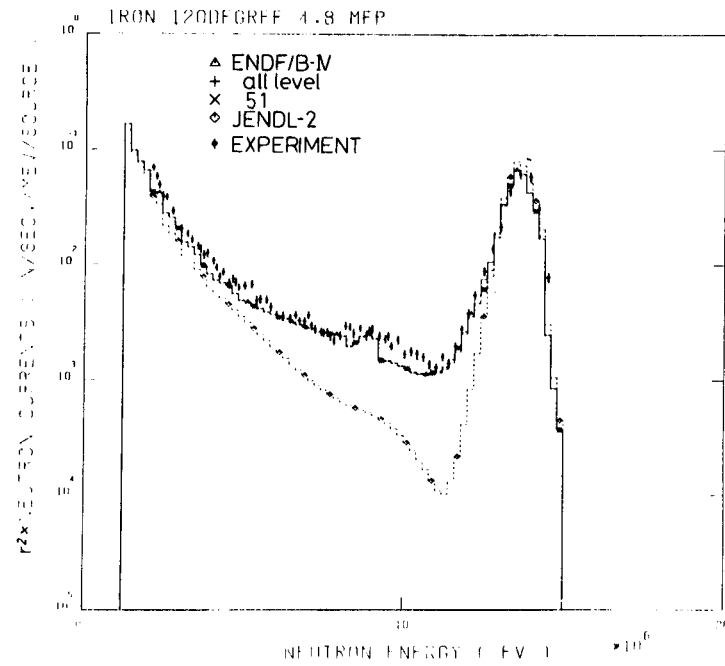


Fig. 4 鉄体系(4.8mfp)からの漏洩中性子スペクトル(120°方向)の計算値と実験値

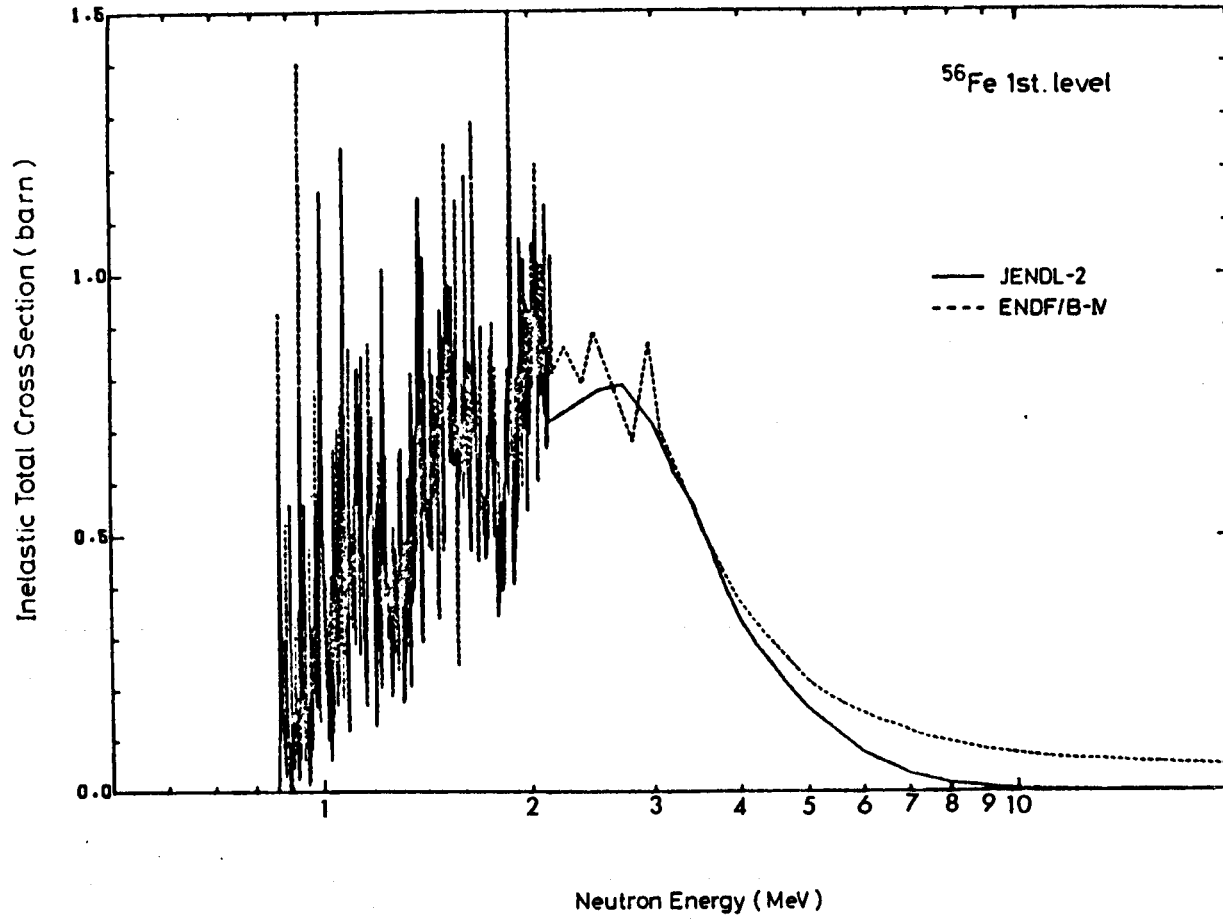


Fig. 5 ^{56}Fe の 1st level の非弾性散乱断面積の比較

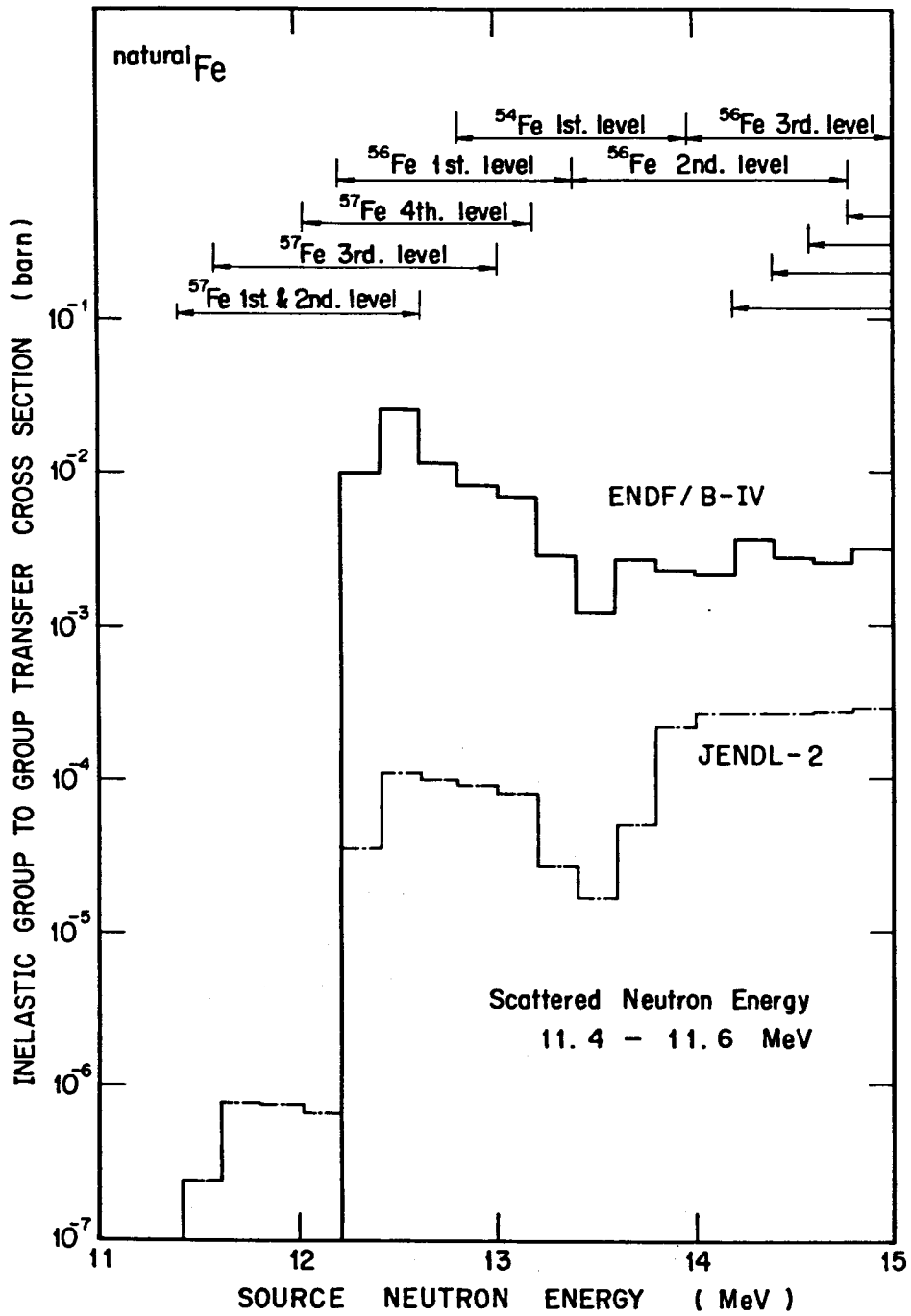


Fig. 6 非弾性遷移断面積の比較

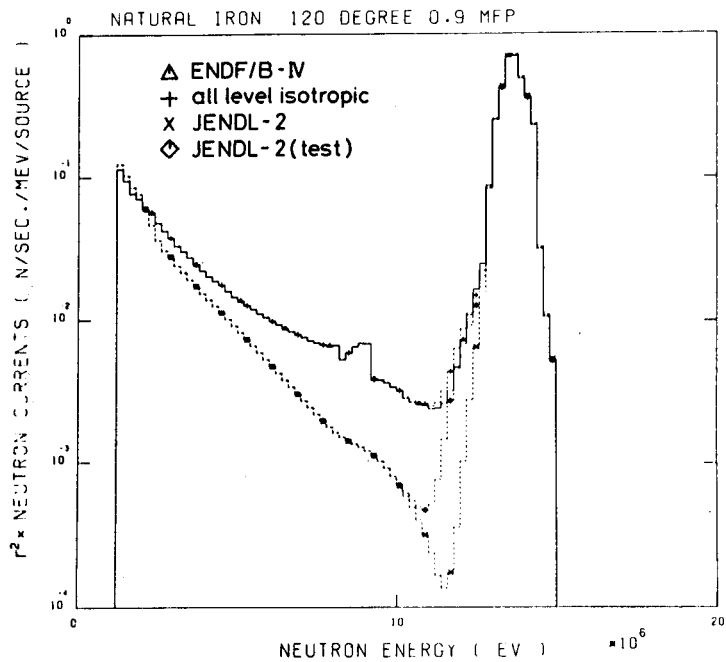


Fig. 7 鉄体系 (0.9mfp) からの漏洩中性子
スペクトル (120°方向) の計算値

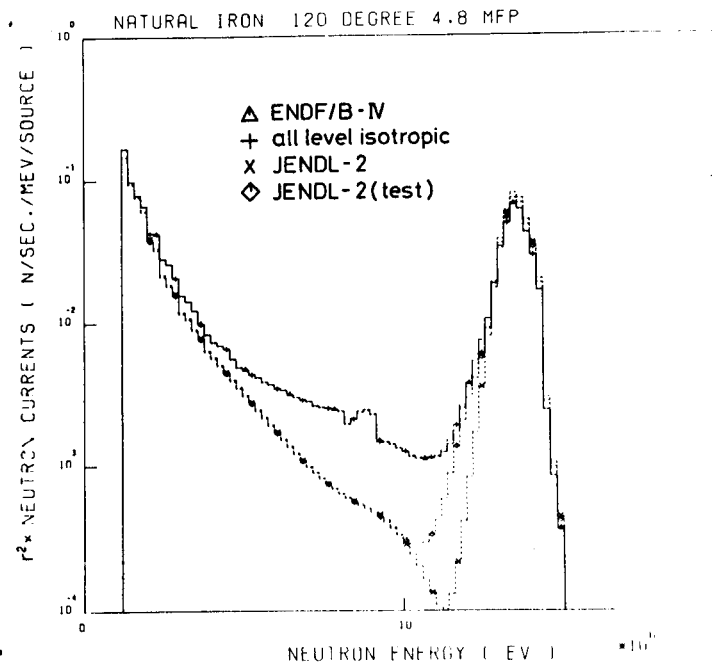


Fig. 8 鉄体系 (4.8mfp) からの漏洩中性子
スペクトル (120°方向) の計算値

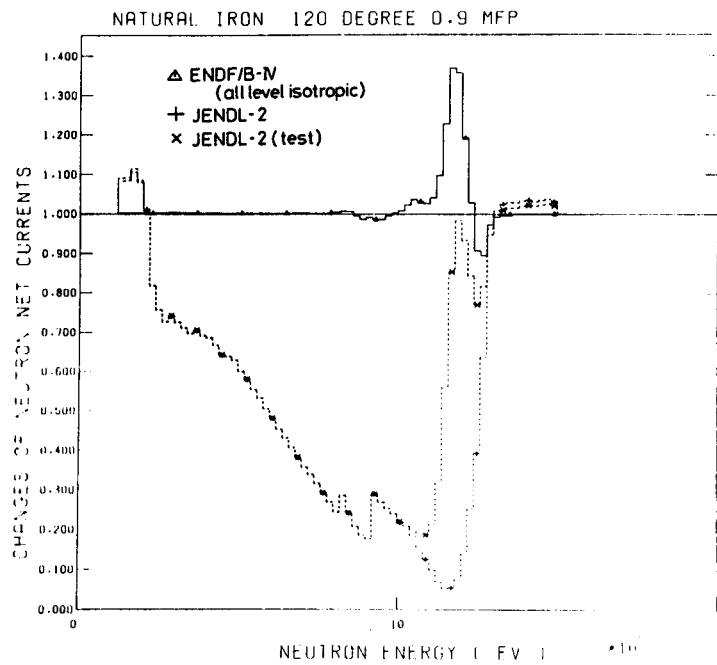


Fig. 9 鉄体系 (0.9mfp) からの漏洩中性子スペクトル (120° 方向) の計算間の比較

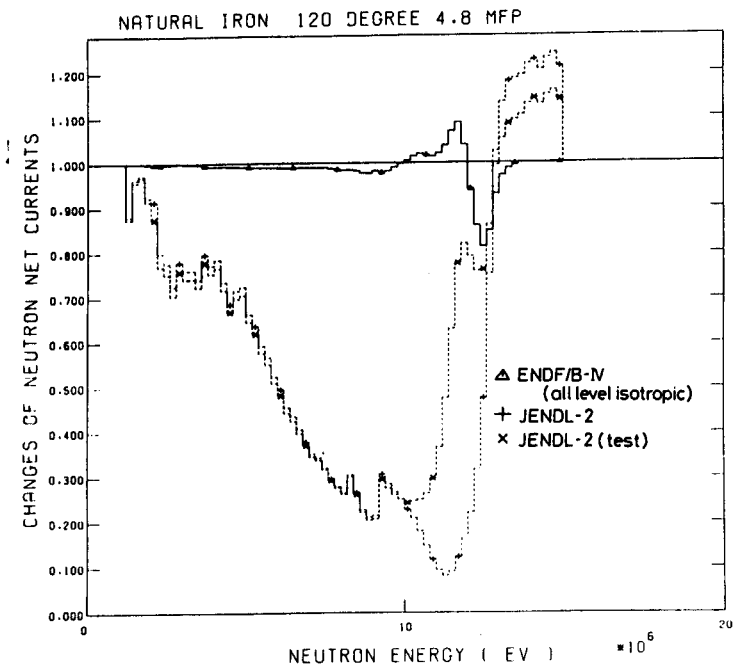


Fig. 10 鉄体系 (4.8mfp) からの漏洩中性子スペクトル (120° 方向) の計算値間の比較