

高速炉および遮蔽計算の立場から

原 研 小 山 謹 二

核データは評価済核データ・ファイルとなって評価者の手を離れるやいなや一人立ちして歩き始める。我々高速炉あるいは遮蔽の計算に携わる者は、この評価済核データ・ファイルが、いかにして作り出されるかは問題とせず、単にファイルに納められている核データは十分信頼のおけるものであるとして用いる。然しながら、我々利用者としても核データを正しく使用すると言ひ立場から、その内容を十分理解していなければならない。一方、核データの測定と解析あるいは評価に関わる研究者が「核データが、どの様に使われ、どの様な問題をその処理過程に残しているか」を知ると言ひ事は、より信頼出来る評価済核データの作成に役立つと思ひ、核データを高速炉および遮蔽の立場から見直して見る。

我々の囲りには、JENDL, ENDF/B等のいわゆる評価済核データ・ファイルが数多くあり、その選択は各利用者にかまかされている。然し、本来一致しているはずの核定数は、これ等評価済核データ・ファイルに納められた段階においても、必ずしも一致していない。むしろ各評価者の個性が強く現れていると言ひた方が正しいのかも知れない。その一例として、簡単に入手可能であり、良く使用され、更に良く測定されている元素“鉄”の核データについて比較して見る。比較の対象とするファイルは、世界的に広く使用されているENDF/B-Nと、ENDF/Bと全ったく同じ形式で作成されているJENDL-1を選ぶこととする。

1) 天然元素“鉄”の核データの比較

2つの異ったファイルに納められている核データの相互比較は、微分断面積で行なう方が、核データの直接比較と言ひ立場からは優れている。然し、高速炉あるいは遮蔽計算で用いるのは群定数化した断面積、即ち群定数である。ここではPROF・GROUCH-G2により70群構造に群定数化した鉄の群定数を比較することにする。

Fig. 1及び2に鉄の全断面積及び共鳴の自己遮蔽因子を示してある。Fig. 1から明らかな様に、JENDL-1・ENDF/B-Nの間だには全断面積において20%以上の差が各所に見られる。又、Fig. 2に示した自己遮蔽因子においては更に大きな開きが見られる。特に400KeV以上のエネルギー領域においてJENDL-1とENDF/B-Nは全ったく異った様相を示している。これは共鳴領域以上のエネルギー領域におけるデータの処理方法が異つてい

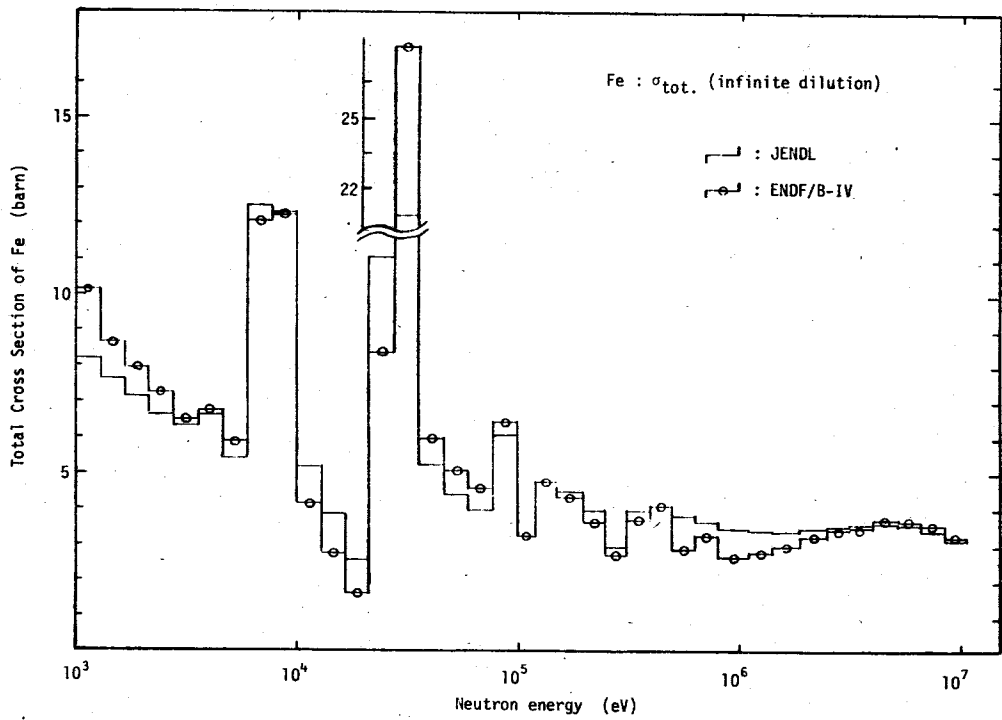


Fig. 1 Comparison of total cross sections of Fe registered in the files of ENDF/B-IV and JENDL-1

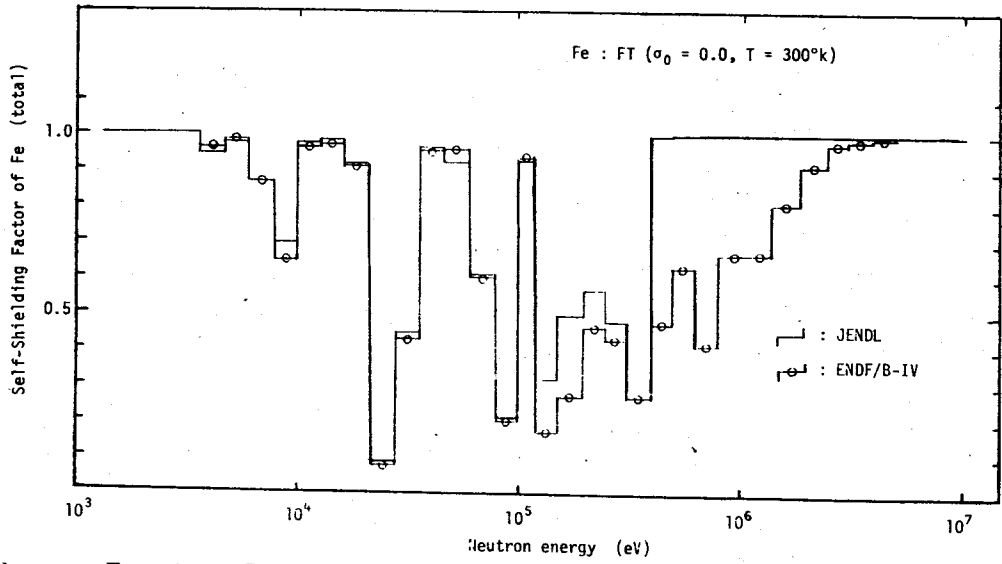


Fig. 2 Comparison of self-shielding factors of Fe calculated from the ENDF/B-IV and JENDL-1

るためであり、JENDL-1では共鳴領域を越えた領域である事を理由に、本来断面積は滑かでなければならないとして平滑化処理が行なわれており、ENDF/B-Mでは、この平滑化を積極的にを行わず、実験値に含まれている断面積の共鳴（分離はされていない）現象を保存しているためである。

この種の差は非弾性散乱断面積にも見られる（Fig. 3～6）。Fig. 3には第1群からj群に、Fig. 4には第3群から $(3+j-1)$ 群に、Fig. 5には第5群から $(5+j-1)$ 群にそしてFig. 6には第10群から $(10+j-1)$ 群に減速される鉄の非弾性散乱断面積を示してある。Fig. 3及び5に示されている第1及び第5群をソース群とする非弾性散乱断面積は良く一致しているが、第3群をソース群とする非弾性散乱断面積（Fig. 4）には大きな差があり、少なくともENDF/B-MにはJENDL-1に考慮されていないレベルが含まれており、第10群をソース群とするもの（Fig. 6）にはJENDL-1方が考慮しているレベルが多い。

このFig. 4, 6に見られる非弾性散乱断面積の差は、高速炉および遮蔽計算で処理しなければならない体系内の中性子エネルギースペクトルを大巾に変える事になり、前述の全断面積の差と合せ考えると「鉄の断面積とは何か？」の疑問を一層大きくする。更に鉄の断面積が良く測定されている事を考えれば、他の測定が困難な元素の評価済核データにね、どの様な誤差が含まれているのか、我々には想像が出来ない。

2) 断面積の積分測定

核データの評価は断面積の微分測定に基づくデータを用いて行なうのが主流であろう。然し、炉物理・遮蔽計算での問題とする物理量の大部分は何らかの意味で積分測定量であり、この積分測定量が原子炉及び遮蔽設計の信頼性を決定する量である。JENDL-1, ENDF/B-M等に代表される核データ・ファイルから、これ等積分測定量を導出するために用いられるのが各種計算コード群であり、種々の計算処理である。

一般に積分測定量は微分測定量に比し、非常に多くのパラメータの競合過程の結果として現れた量の測定値であり、その評価には採用した解析手法上の近似に起因した評価誤差が混入する。従って積分測定量の評価から核データに関する情報を得るためには、用いた評価解析手法（method）が十分信頼出来る手法でなければならない。即ち“Data and Method”の確立している分野において初めて積分測定量の正しい評価が可能であり、使用した核データに関する情報も得られる。

○ 高速炉の炉物理計算

高速炉の炉物理を対象とし、その解析手法を考えて見ると、少なくとも炉心中心における測

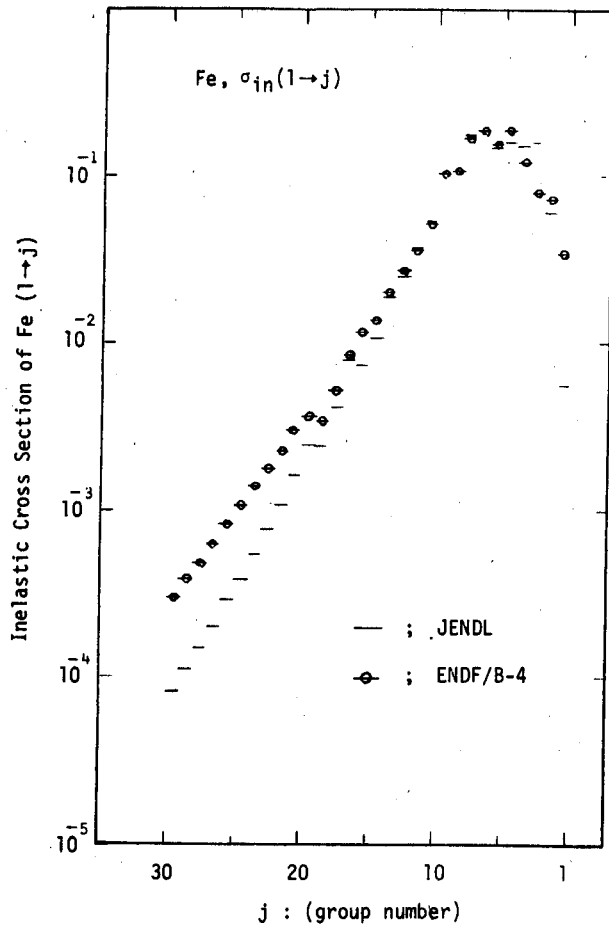


Fig. 3 Comparison of inelastic down scattering vectors from the energy group 1 of Fe

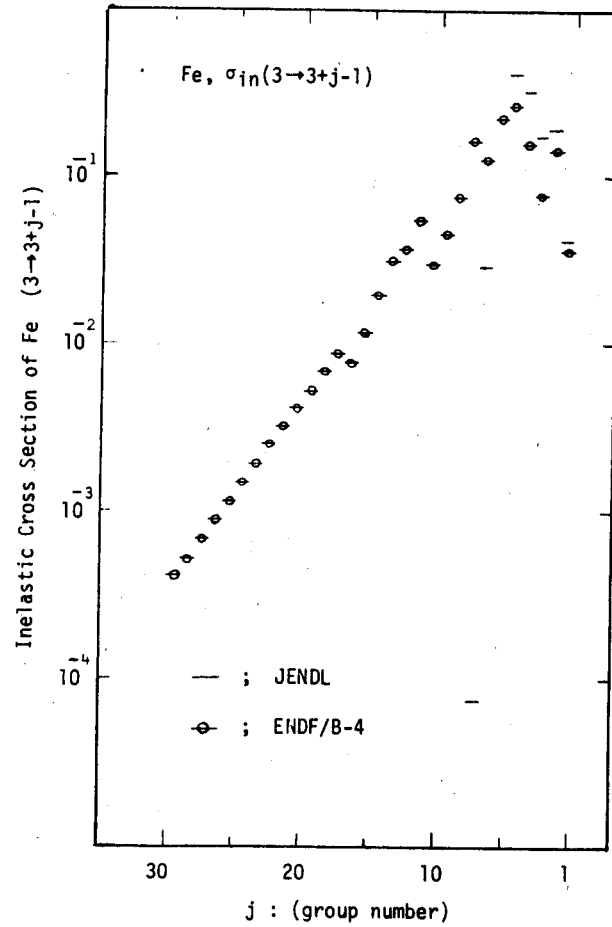


Fig. 4 Comparison of inelastic down scattering vectors from the energy group 3 of Fe

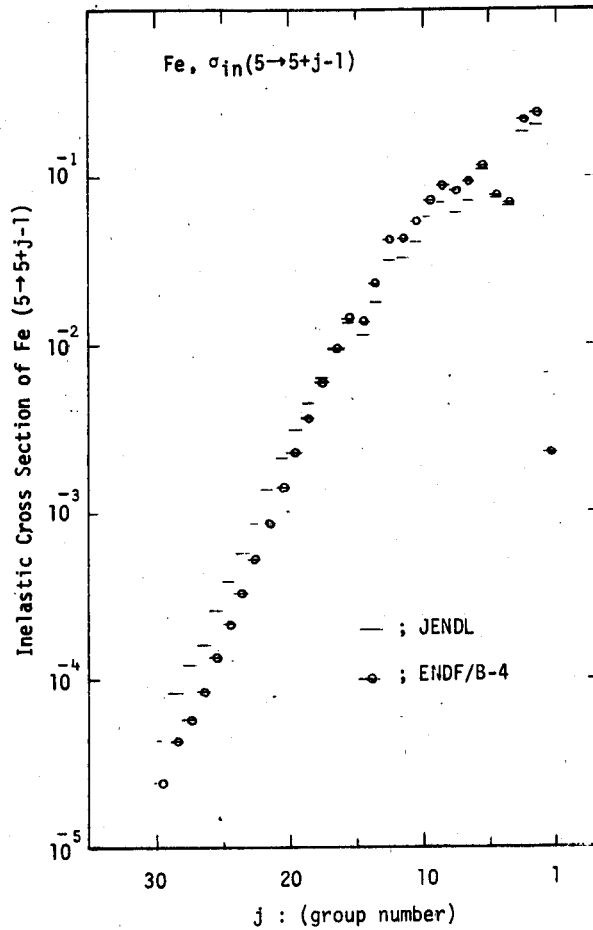


Fig. 5 Comparison of inelastic down scattering vectors from the energy group 5 of Fe

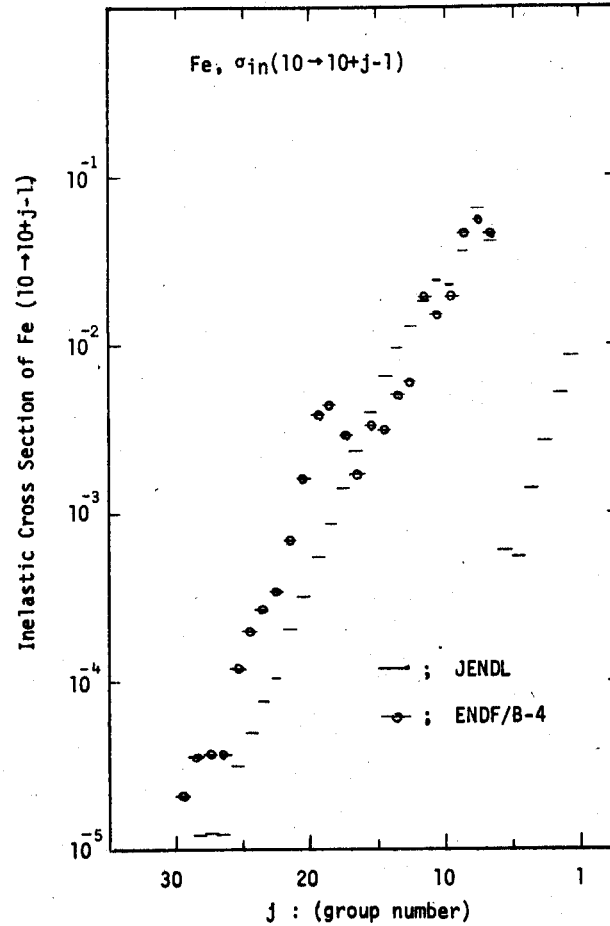


Fig. 6 Comparison of inelastic down scattering vectors from the energy group 10 of Fe

定量については今や問題は残されていないと言える所まで(少なくとも核データに直接起因する誤差の方が、解析手法に起因する誤差よりも大きくなっている)来ている。これは原子炉の開発に先行して進められて来た解析手法の確立が、ほぼ完成に近い所まで来た事を示す(簡便法による計算を意味しているのではない)。従って高速炉によって測定された炉心中心の積分測定量による評価には、その手法に差があるとしても、意味がある。何故なら、積分測定量も又核データの実験値であり、その測定精度は良く、更に解析手法が確立されている事により、核データに直接関係するパラメータを積分測定量から分離し求める事が可能だからである。

○ 遮蔽計算

高速炉の炉物理計算と異なり遮蔽計算における解析手法には、今た多くの問題を残している。これは、炉物理計算の中性子の流れの少ない炉心中心における諸量の解析を中心としているのに対し、遮蔽計算では中性子(又は γ -線)の流れを解明することに主目的があり、いわゆる平衡スペクトル場と言う概念の成立たない領域の現象を扱っているためである。

一例として広く遮蔽計算に用いられている S_N 計算法(ボルツマンの輸送方程式の近似解法の一つ)を取り上げ、解析手法上の問題点を明らかにして見る。炉心計算を S_N 計算コードで行なう場合、中性子束の角度依存性は少なく(中性子の流れが少ない)、散乱の異方性を考慮するとしても高々 P_1 近似で十分である。然し遮蔽計算は、前にも述べた様に中性子の流れが体系自体の特性を定める様な系を対象とし、散乱の異方性をより正確に扱い、より高い P_1 展開の次数までを処理することにより、問題を解決しようとしている。この方針は原則的には間違っていないが、一つの盲点を含んでいる。

ANISN, DOTに代表される S_N 計算コードは、角度空間に広がる物理量を、立体角について区間積分し、離散的な代表角とその重み関数により表現し、その角度依存性を求めている。このため散乱断面積の異方性は、いずれの角度区間においても負の断面積が現れない様に十分高次の P_1 次数まで考慮しなければならない。そして評価済核データ・ファイルに納められている角度依存断面積は、核種とエネルギーにより差はあるが P_{12} , P_{18} あるいは更に高次まで展開されており、この P_1 展開の次数を低次項までの近似で処理するのは良くないと注釈まで付けてある。然し実際の S_N 計算コードでは最高で P_8 近似、通常 P_5 までの近似が行なわれれば良い方である。ここに実際に行なっている遮蔽計算の持つ一つの問題点がある。

Fig. 7~10に鉄、ナトリウムそしてカーボンの弾性散乱断面積の角度依存性を示してある。この断面積は、ENDF/B-VからRADHEAT-V3を用い、100群 P_5 近似で作成したものであり、実際の S_N 計算を P_5 近似で行なった場合に用いられる角度依存断面積に

対応している。Fig. 7 に示されてゐる鉄の様に重い元素についても負の断面積が現れている。又 Fig. 9, 10 に示したカーボンには、負の現れる区間が広がるばかりでなく、更に第 4 3 群をソース群とする弾性散乱断面積においてすら負の部分が見れる。

この負の断面積は、体系内の中性子束を計算する途中で、負の中性子束を発生する原因となる（負の中性子束は物理的に定義出来ない）。現在公開されているいずれの S_N 計算コードも Negative Flux Fix-up 処理により、この負の中性子束は原則として現れないように近似されているが、いずれも本質的な解決策とは言えず、問題は未解決のまま残されている。

然しながら、遮蔽実験として行なわれている透過実験（特に厚い層の）等は、断面積の極小値に直接関係したチャンネルング効果、更に自己遮蔽効果等によるスペクトル・シフト等を測定する事が可能であり、核データに関する重要な情報を得ることが出来る。遮蔽計算に携わる者としては、遮蔽に関する解析手法を確立し、これ等の測定値の評価を行ない、遮蔽の分野においても核データ評価に継がる“Data and Method”を一日も早く確立するべく努力している。

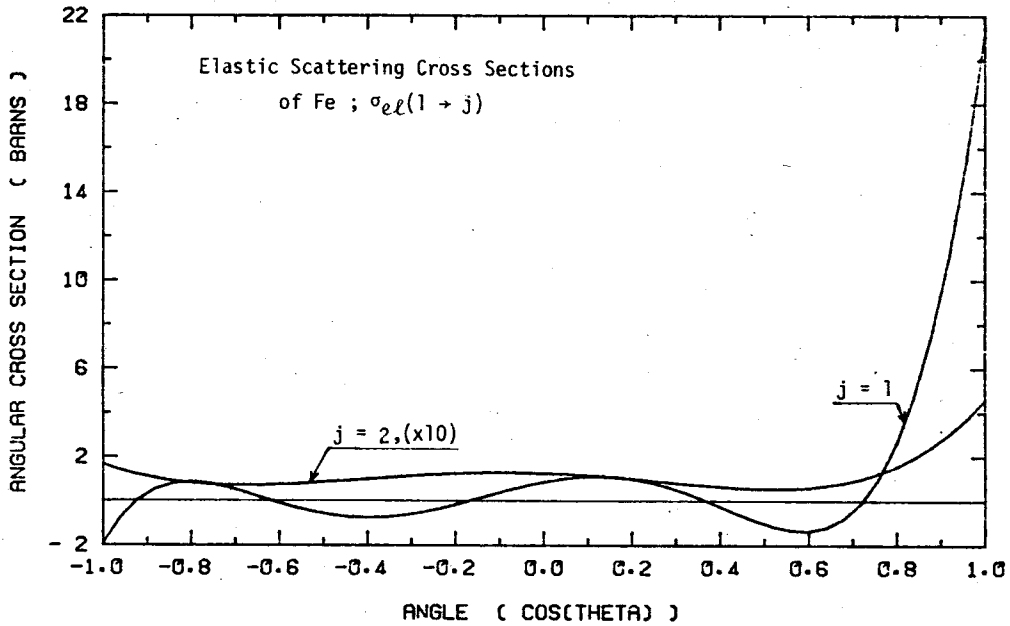


Fig. 7 Angular cross sections of Fe based on P5 approximation

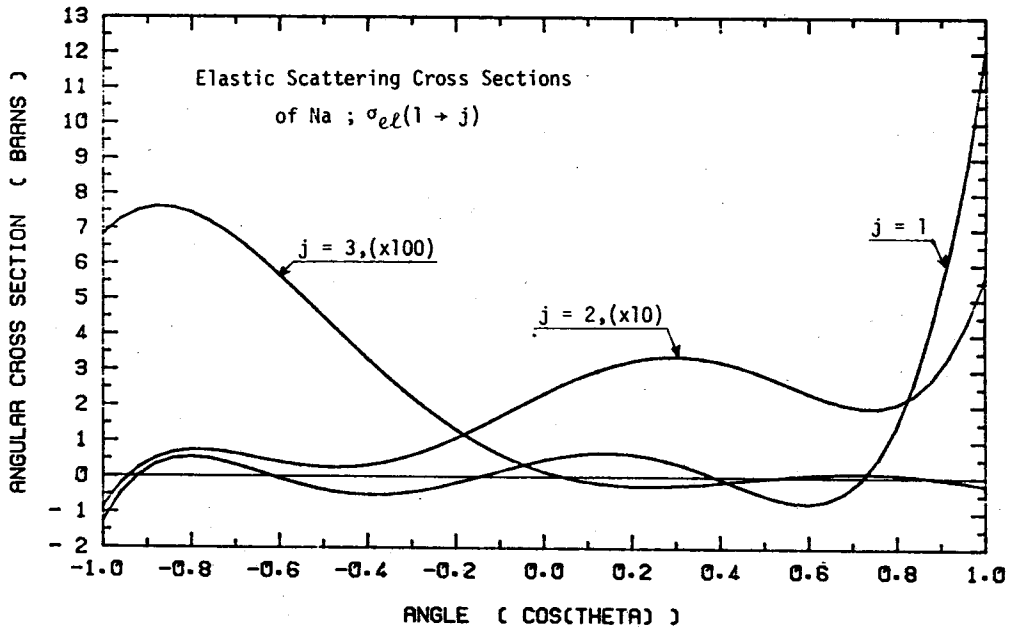


Fig. 8 Angular cross sections of Na based on P5 approximation

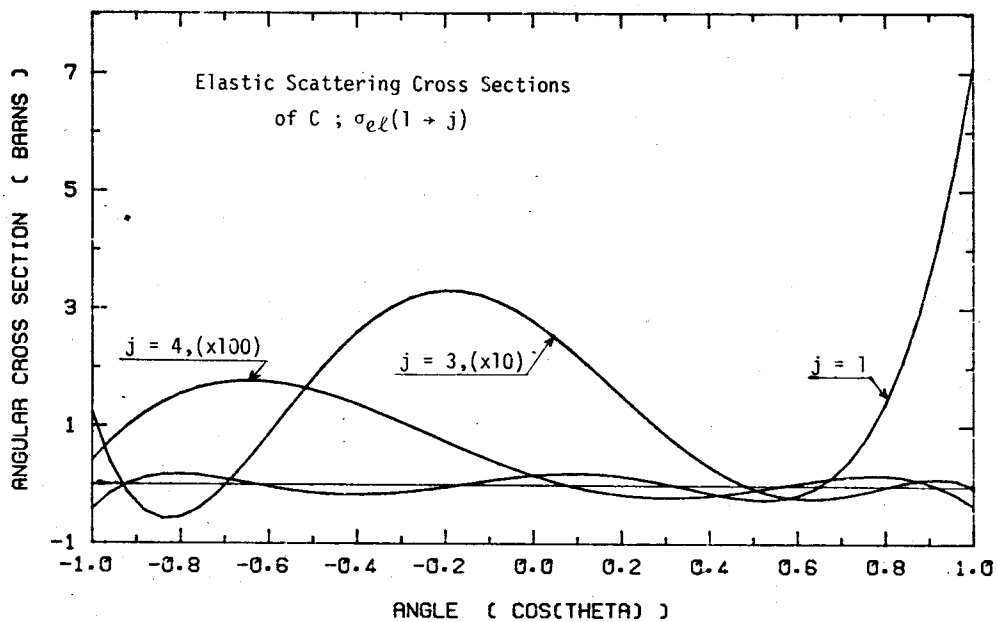


Fig. 9 Angular cross sections of C
at the energy group 1 based
on P5 approximation

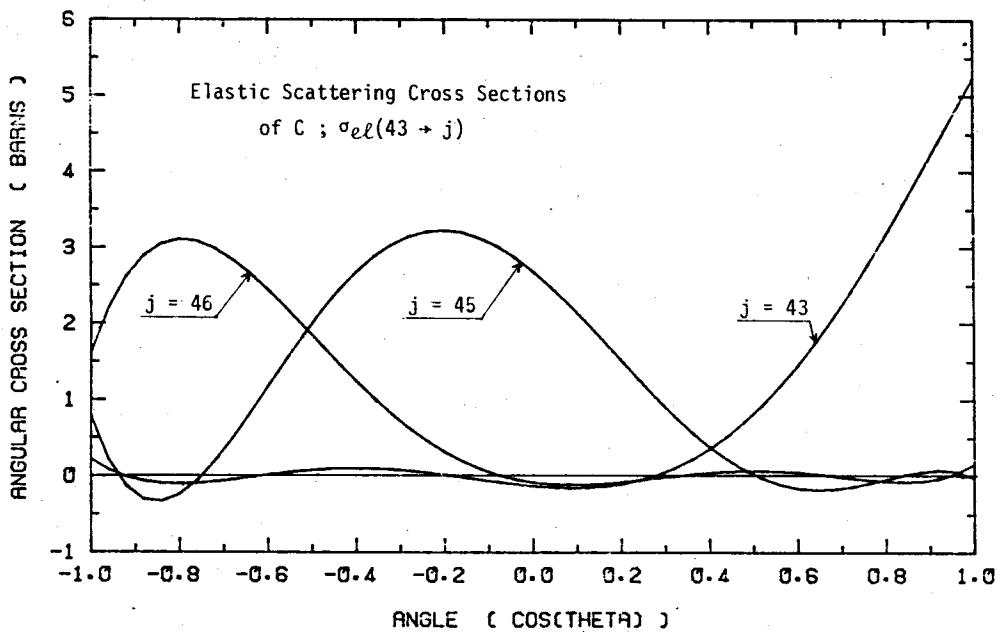


Fig. 10 Angular cross sections of C
at the energy group 45 based
on P5 approximation