

## マイナーアクチニド核データに関する 日露ワークショップ

原研 核データセンター

片倉 純一

email: katakura@cracker.tokai.jaeri.go.jp

### 1. はじめに

旧ソ連の兵器関係研究者の平和目的の研究への転換を支援するために、日米欧の出資による International Science and Technology Center (ISTC) が設置され、1994 年から活動している。核データセンターではオメガ計画と関連した 3 件の核データの測定、評価のプロジェクトに対して協力者あるいはモニターとなって支援している。旧ソ連諸国は日本では入手しにくいマイナーアクチニドの良質のサンプルを所持している上、高度な測定技術、評価手法を有しており、オメガ計画推進に必要なマイナーアクチニドの核データ評価に有益な情報が得られ、JENDL の評価に反映することが出来ると期待されるためである。

これらのプロジェクトのワークプランにはワークショップを開催し、進捗状況、成果等について議論することになっており、昨年（平成 8 年）5 月 27 日から 5 月 31 日に原研東海研にて標記ワークショップを開催したものである。

### 2. 核データセンターがモニターとなっている ISTC プロジェクトの概要

原研核データセンターでモニターになっている 3 件の ISTC プロジェクトの概要は以下の通りである。

#### 1) Evaluation of Actinide Nuclear Data

実施機関 : Radiation Physics and Chemistry Problems Institute (RPCPI), Minsk,  
Belarus

期間 : 3 年 (開始 1995 年)

内容 :

旧ソ連の核データファイル BROND 評価の経験を生かし、BROND 評価で求められた種々のパラメータを用いて、マイナーアクチニドの核分裂、捕獲、散乱、 $(n, 2n)$ 、 $(n, 3n)$  等の核断面積を矛盾なく計算する手法を採用し、核データの評価を行う。第 1 年度は、 $^{243}\text{Cm}$ 、 $^{245}\text{Cm}$  及び  $^{246}\text{Cm}$  について、第 2 年度は、 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{242}\text{Am}$ 、 $^{242\text{m}}\text{Am}$  及び  $^{243}\text{Am}$  に

ついて、第3年度は、 $^{238}\text{Np}$ 、 $^{238}\text{Pu}$  及び  $^{242}\text{Pu}$  について評価を実施する計画である。既に、 $\text{Cm}$  及び  $\text{Am}$  の一部については評価を完了している。

## 2) Measurements of Fission Neutron Spectra of Minor Actinides

Spontaneous Fission of Curium Isotopes

実施機関：V. I Khlopin Radium Institute (KRI)

St. Petersburg, Russia

期間：1年（1995年）、1996年より更に2年延長

内容：

$^{244}\text{Cm}$  及び  $^{246}\text{Cm}$  の自発核分裂の即発中性子スペクトルを高精度（平均温度で1～2%の精度）で測定する。2年延長後は、 $^{240}\text{Pu}$ 、 $^{242}\text{Pu}$  の自発核分裂の即発中性子スペクトル及び  $^{243}\text{Cm}$ 、 $^{245}\text{Cm}$  の熱中性子核分裂の即発中性子スペクトルの測定を計画している。

## 3) Measurements and Analysis of the Basic Nuclear Data for Minor Actinides

実施機関：Institute of Physics and Power Engineering (IPPE)

Obninsk, Russia

期間：2年（開始1995年）

内容：

- (1)  $^{238}\text{Pu}$ 、 $^{242\text{m}}\text{Am}$ 、 $^{243}$ 、 $^{244}$ 、 $^{245}$ 、 $^{246}$ 、 $^{247}$ 、 $^{248}\text{Cm}$  の核分裂断面積の測定
- (2)  $^{237}\text{Np}$  の核分裂収率の測定
- (3)  $^{237}\text{Np}$  の非弾性散乱断面積及び即発中性子スペクトルの測定
- (4)  $^{237}\text{Np}$  の高速中性子核分裂の遅発中性子収率の測定及び6群定数の決定
- (5) BROND-2、JENDL-3、ENDF/B-VI のデータの比較検討及び推奨値の導出

## 3. 主な成果

### 1) Evaluation of Actinide Nuclear Data

$\text{Cm}$  及び  $\text{Am}$  の一部の評価は終了している。彼等の評価の特徴の一つは、評価に必要な核構造データ、つまり、原子核の低エネルギー準位の情報が実験的に定まっていないものに関しては、理論的に推定したものを加えて用いているところにある。図1に、 $^{246}\text{Cm}$  の準位を示してあるが、実線の ENSDF で示されているのが、実験的に同定されている準位であり、点線の ADDED で示されているのが、彼等の推定して加えた準位である。この計算には“Soft-Rotator Model”という手法を用いている。マイナーアクチニドの準位情報は実験の困難さもあり、限定されているので、この様な手法が有効となる。

断面積の評価例を、図2及び図3に示す。図2は  $^{243}\text{Cm}$  の非弾性散乱の断面積である。JENDL-3 のデータを比較のために示してある。  $K \pi = 1/2^+$  バンドの実験的に決ま

っていない  $J=5/2, 7/2, 11/2, 13/2$  の準位を加えたことにより、断面積が増加している。図3は  $^{246}\text{Cm}$  の  $(n, n')$  の中性子スペクトルであるが、前平衡過程による中性子放出過程を加えたことにより JENDL と比べ大きく異なっている。

## 2) Measurements of Fission Neutron Spectra of Minor Actinides

### Spontaneous Fission of Curium Isotopes

測定精度を向上させるため中性子検出器の大容量化、イオンチェンバーの改良等の工夫をこらして測定を行っている。測定した  $^{244}\text{Cm}$  及び  $^{246}\text{Cm}$  の自発核分裂の中性子スペクトルを図4及び図5に示す。これらのスペクトルは  $^{252}\text{Cf}$  に対する比として示してある。図の実線は  $R(E, T_{\text{cm}}) = (T_{\text{cm}}/T_{\text{cf}})^{-3/2} \exp(-E(1/T_{\text{cm}} - 1/T_{\text{cf}}))$ ,  $T_{\text{cf}} = 1.42$  MeV で実験データをフィットしたものである。破線は統計モデルによる計算値である。

## 3) Measurements and Analysis of the Basic Nuclear Data for Minor Actinides

まだ最終的な結果は出ていないが、プレリミナリーな結果としていくつか報告された。核分裂の測定では、 $^{242\text{m}}\text{Am}$ 、 $^{245}\text{Cm}$ 、 $^{247}\text{Cm}$  を図6、7、8に示す。比較のため、ENDF/B-6及び JENDL-3 の評価も示してあるが、総じて ENDF/B-6 より JENDL-3 の評価に近い測定値が得られている。核分裂収率の測定では今のところ測定系の開発を進めており、まだ測定データが整理されていない。 $^{237}\text{Np}$  の非弾性散乱断面積及び即発中性子の測定では図9の中性子スペクトルが得られているが、このデータは検出器の効率のみの補正を行ったものである。表1、表2にあるのは、 $^{237}\text{Np}$  の遅発中性子の測定で、6群定数及び Total Yield を他の測定と比較してある。核データファイル間の比較では  $^{237}\text{Np}$  の中性子反応の結果の一例を図10、11、12に示す。今後これら評価値間の違いを検討し、推奨データを提示することになっている。

## 4. まとめ

ISTC のプロジェクトを通して、日本では取得の困難なマイナーアクチニドの精度の良いデータが取得されることが期待され、現在、不十分とされている JENDL のデータの改訂に寄与し、特殊目的データファイルのアクチニドファイルの信頼度向上に反映されることとなる。現在上記の3件のプロジェクトを核データセンターは、モニターしているが、更に、1 ~ 200 MeV の高エネルギー領域の核分裂断面積の測定が計画されており、高エネルギーのデータについても精度の良いデータが得られ、JENDL の評価に反映されることが期待されている。

表 1  $^{237}\text{Np}$  group relative abundances and periods

i	Group number						ref.
	1	2	3	4	5	6	
$a_i$	$0.032\pm 0.003$	$0.257\pm 0.077$	$0.205\pm 0.008$	$0.395\pm 0.009$	$0.095\pm 0.005$	$0.0159\pm 0.0008$	Present
$T_i$	$55.18\pm 0.49$	$22.71\pm 0.18$	$5.65\pm 0.20$	$2.14\pm 0.07$	$0.436\pm 0.021$	$0.196\pm 0.010$	values
$a_i$	$0.040\pm 0.005$	$0.254\pm 0.008$	$0.206\pm 0.008$	$0.372\pm 0.011$	$0.106\pm 0.010$	$0.0221^{\text{a)}}$	Be[10]
$T_i$	$54.579\pm 0.85$	$21.797\pm 0.41$	$5.635\pm 0.092$	$2.180\pm 0.027$	$0.673\pm 0.111$	---	Be[10]
$a_i$	0.0400	0.2162	0.1558	0.3633	0.1659	0.0589	Br <sup>a)</sup> [11]
$T_i$	52.116	21.935	5.934	2.306	0.780	0.251	Br <sup>a)</sup> [11]
$a_i$	$0.030\pm 0.008$	$0.230\pm 0.053$	$0.180\pm 0.058$	$0.415\pm 0.087$	$0.069\pm 0.018$	$0.074\pm 0.037$	Ru <sup>a)</sup> [12]
$T_i$	55.452	21.865	5.251	2.113	0.672	0.277	Ru <sup>a)</sup> [12]
$a_i$	$0.042\pm 0.009$	$0.233\pm 0.028$	$0.190\pm 0.027$	$0.359\pm 0.050$	$0.145\pm 0.019$	$0.0314\pm 0.014$	Gu[13]
$T_i$	55.900	22.216	5.415	2.303	0.619	0.210	Gu[13]
$a_i$	$0.035\pm 0.003$	$0.230\pm 0.023$	$0.066\pm 0.031$	$0.144\pm 0.061$	$0.400\pm 0.050$	$0.124\pm 0.029$	Wa[14]
$T_i$	55.011	22.652	10.615	4.987	2.113	0.428	Wa[14]

a) - calculated values.

表 2 Total delayed neutron yield for  $^{237}\text{Np}$  fission.

Neutron energy MeV	Total yield neutron/fission	Method	Reference
1.154	$0.01180\pm 0.00072$	Experimental	Present value
Fast neutrons	$0.0122 \pm 0.0003$	Experimental	Benedetti [10]
Fast neutrons	$0.01142 \pm 0.00160$	Experimental	Gudkov [13]
Fast neutrons	$0.01068 \pm 0.00098$	Experimental	Waldo [14]
Fast neutrons	$0.0120 \pm 0.0015$	Calculation	Rudstam [12]
Fast neutrons	$0.0128 \pm 0.0013$	Calculation	England [15]
Fast neutrons	$0.0114\pm 0.0012$	Calculation	Brady [11]
Fast neutrons	0.0108	Evaluation	ENDF/B-5

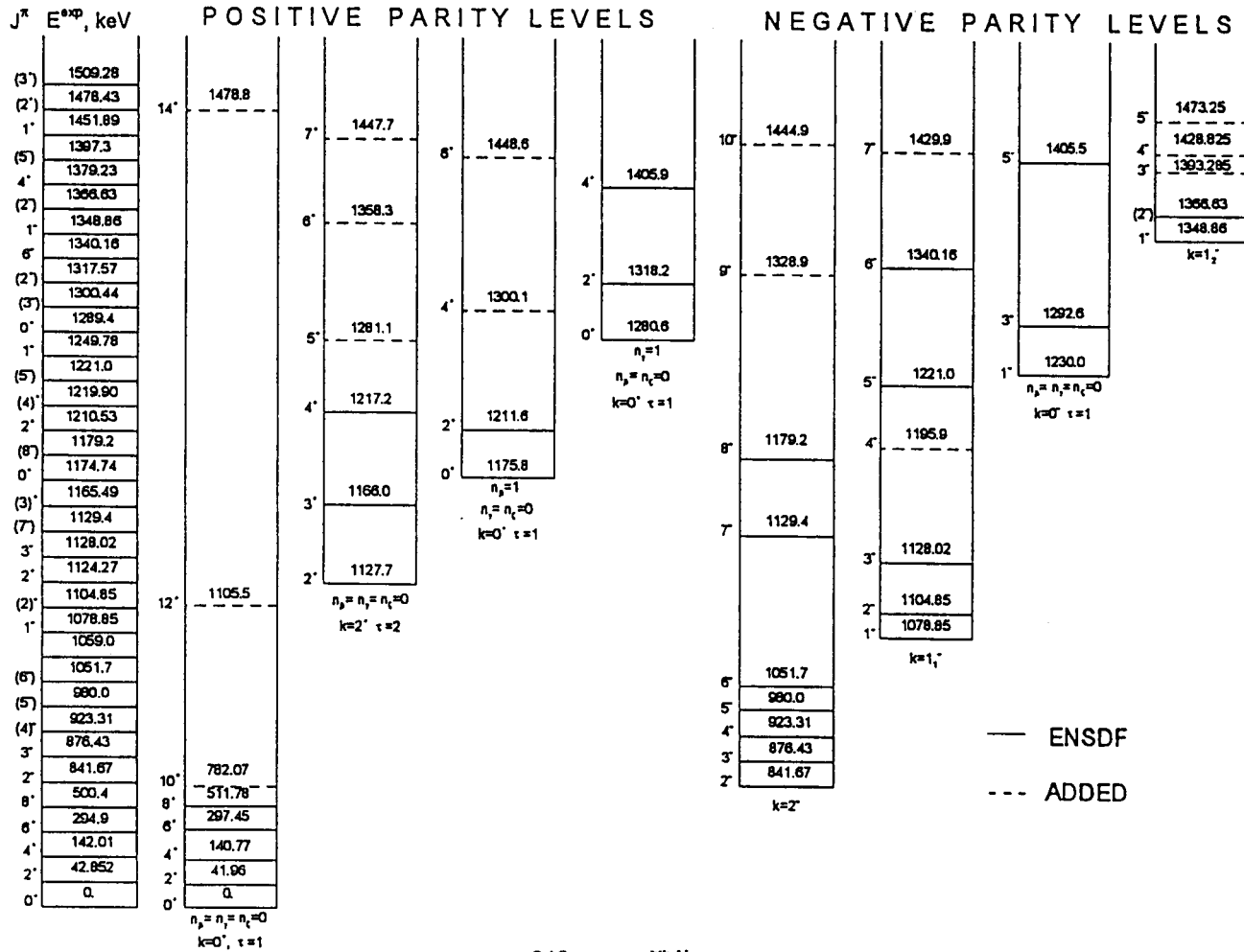


図1  $^{246}\text{Cm}$  の準位

# $^{243}\text{Cm}$ TOTAL INELASTIC CROSS SECTION

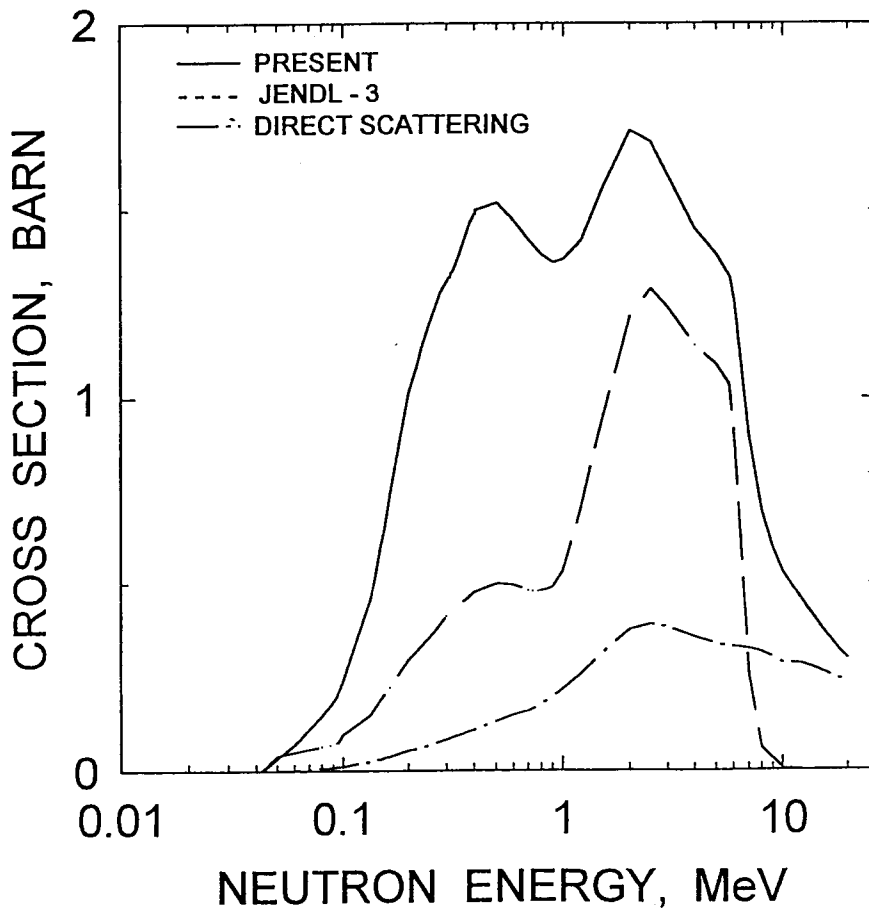


図2  $^{243}\text{Cm}$  の非弾性散乱の断面積

$^{246}\text{Cm}$   $E_n=14\text{ MeV}$   
COMPARISON WITH JENDL-3

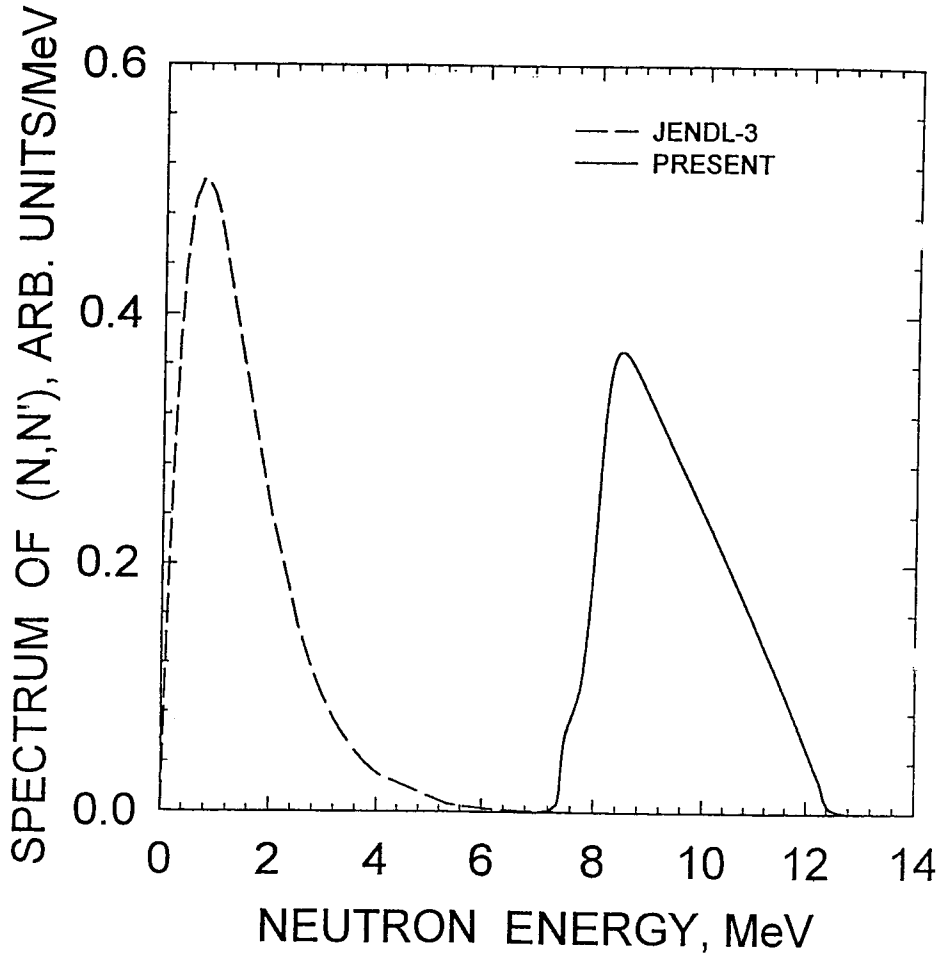


図3  $^{246}\text{Cm}$  の (n,n') 反応の中性子スペクトル

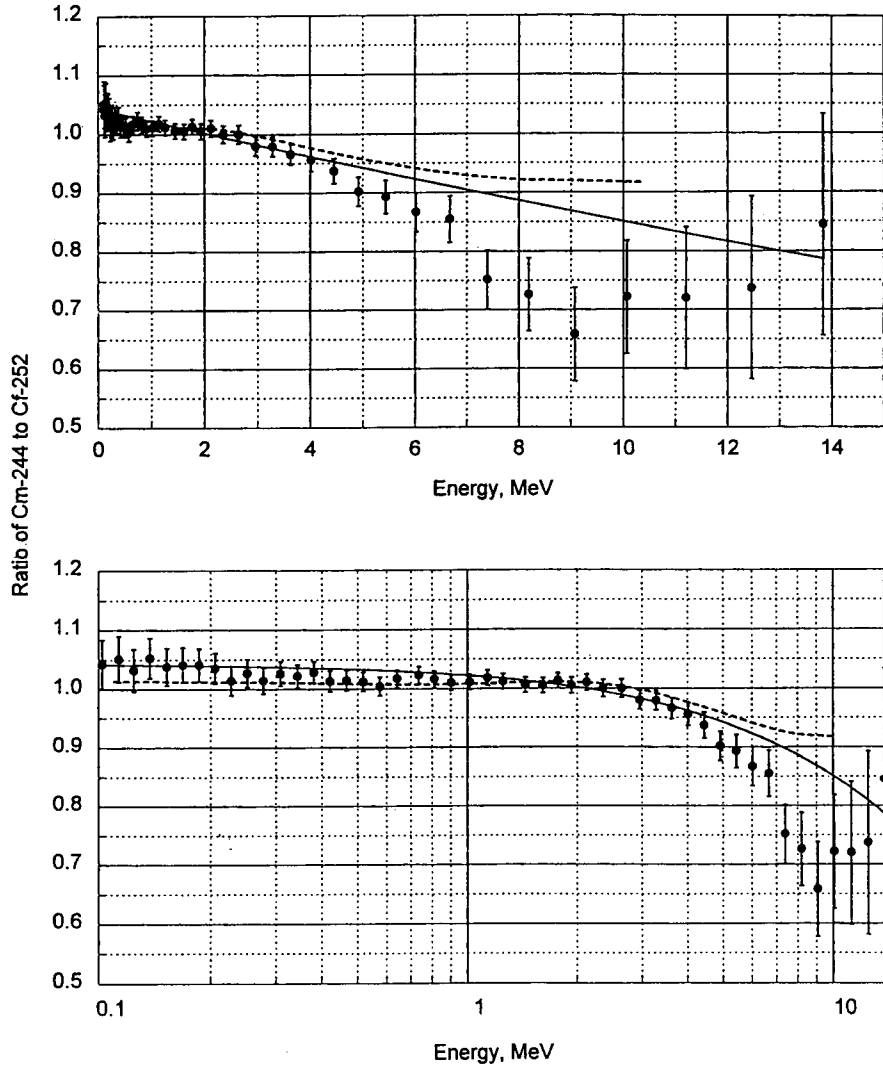


Fig. 4 Resulting ratio of  $^{244}\text{Cm}$  to  $^{252}\text{Cf}$  neutron spectra. The solid line indicates the results of experimental points fitting to the function  $R(E, T_{\text{Cm}}) = (T_{\text{Cm}}/T_{\text{Cf}})^{-3/2} \exp(-E(1/T_{\text{Cm}} - 1/T_{\text{Cf}}))$ ,  $T_{\text{Cf}} = 1.42$  MeV. The value of the parameter  $T_{\text{Cm}}$  obtained by least-squares method was equal to 1.373 MeV (0.005) with  $\chi^2 = 0.93$  per degree of freedom. The dashed line - the statistical model calculation (initial fragment spin  $J=0$ ).



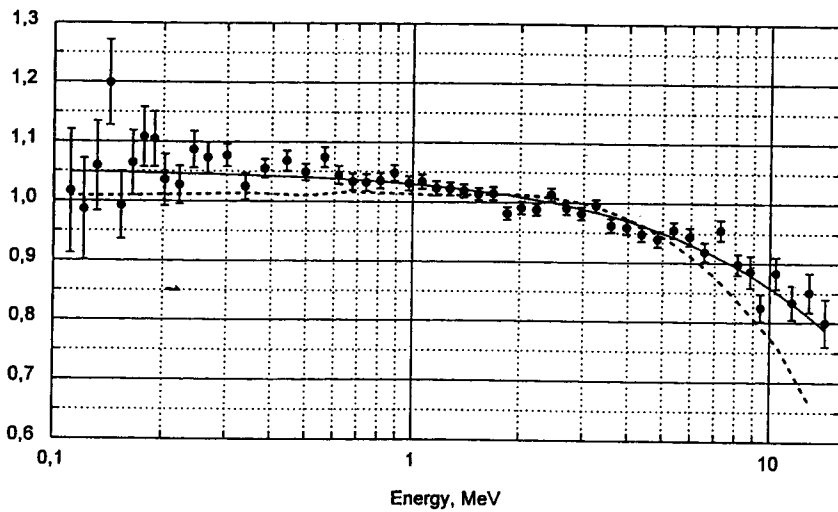
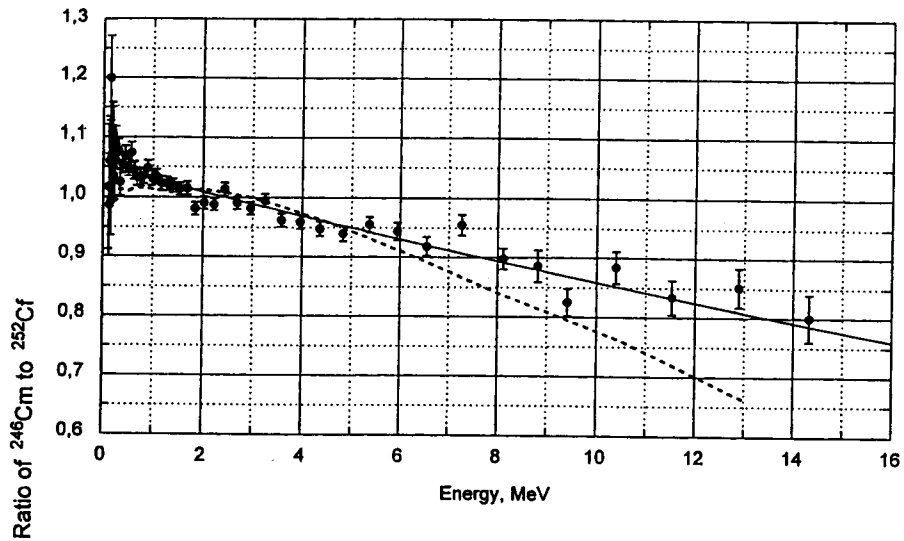
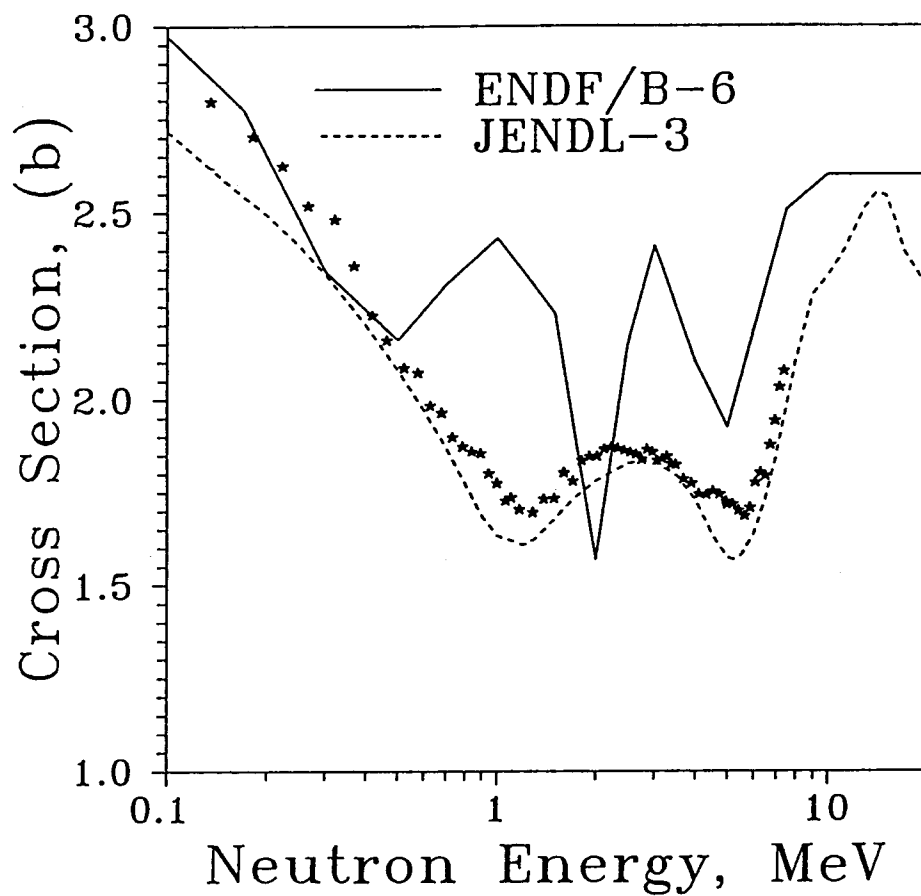


Fig. 5 Resulting ratio of  $^{246}\text{Cm}$  to  $^{252}\text{Cf}$  neutron spectra. The solid line indicates the result of experimental points fitting to the function

$$R(E_n, T_{\text{Cm}}) = (T_{\text{Cm}}/T_{\text{Cf}})^{-3/2} \exp(-E_n/T_{\text{Cm}} + E_n/T_{\text{Cf}}), \quad T_{\text{Cf}} = 1.42 \text{ MeV}$$

The value of the parameter  $T_{\text{Cm}}$  obtained by least-squares method was equal to 1.380 (0.002) MeV with  $\chi^2 = 1,28$  per degree of freedom.

The dashed line presents the statistical model calculation. The value of average initial fragment spin  $J=0$  h.



☒ 6  $^{242m}\text{Am}$  fission cross section.

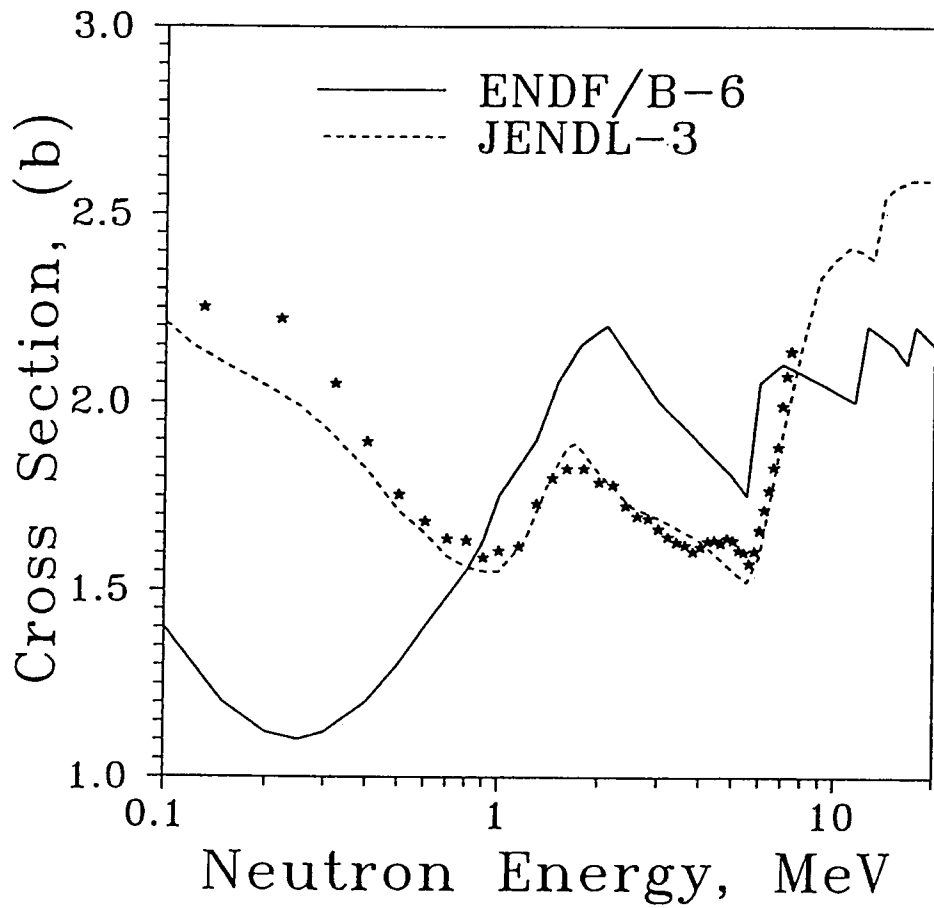


图 7  $^{245}\text{Cm}$  fission cross section.

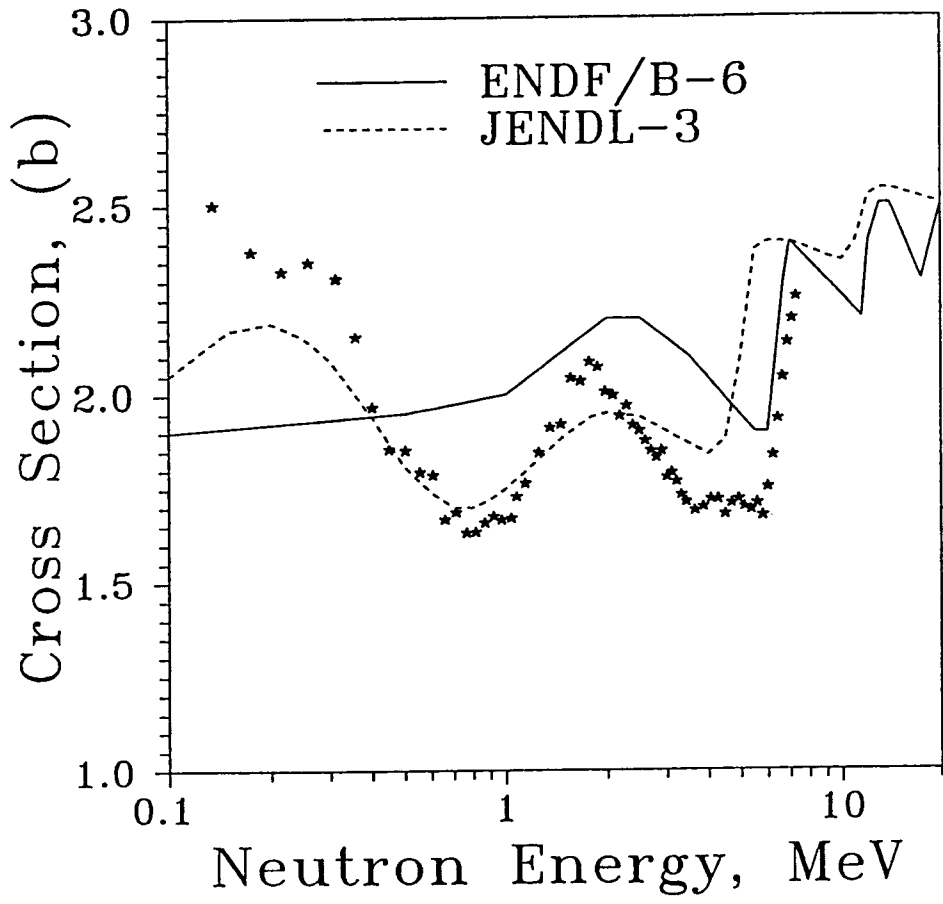
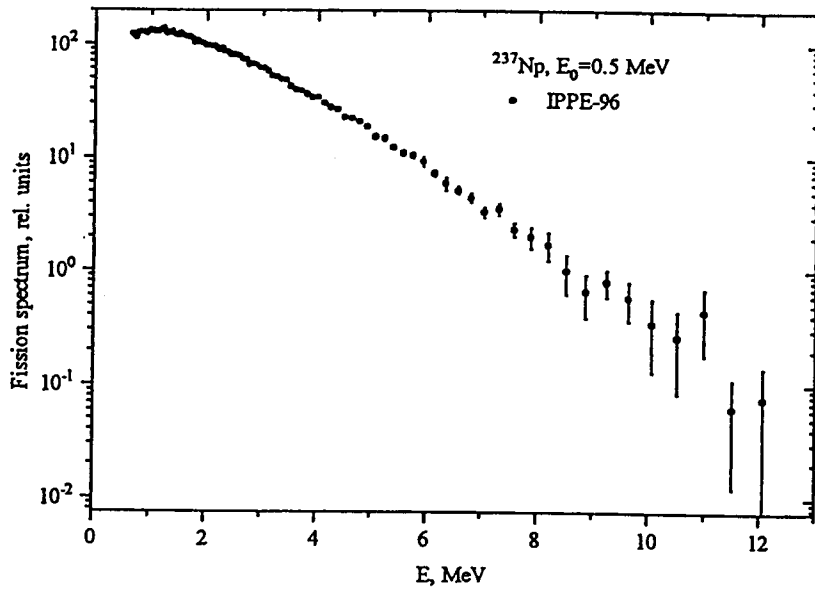


图 8  $^{247}\text{Cm}$  裂变截面.



☒ 9 Fission neutron spectrum for  $^{237}\text{Np}$  at  $\approx 0.5 \text{ MeV}$  neutron energies. The spectrum is corrected for detector efficiency only.

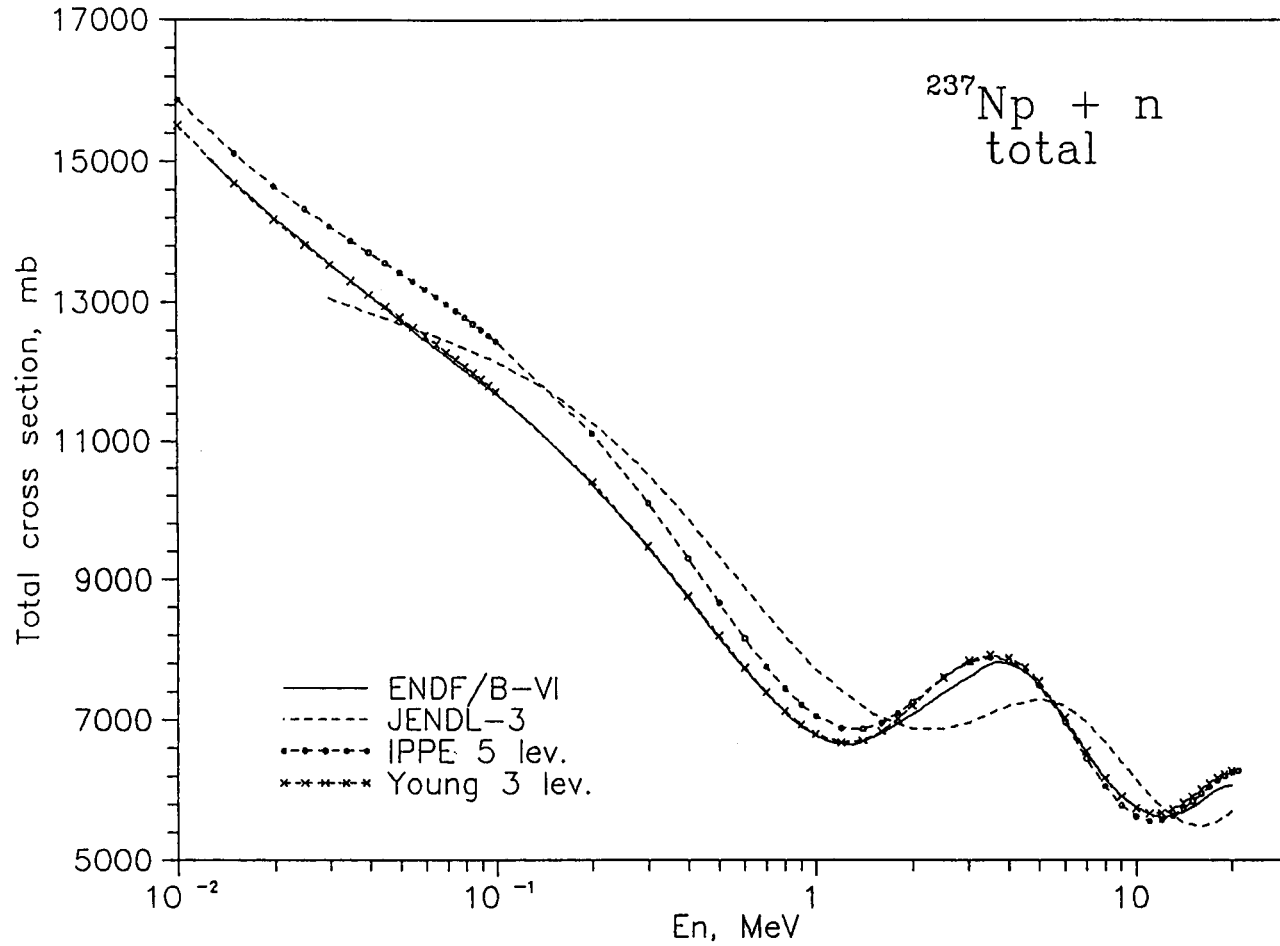


図 1 0  $^{237}\text{Np}$  の全断面積

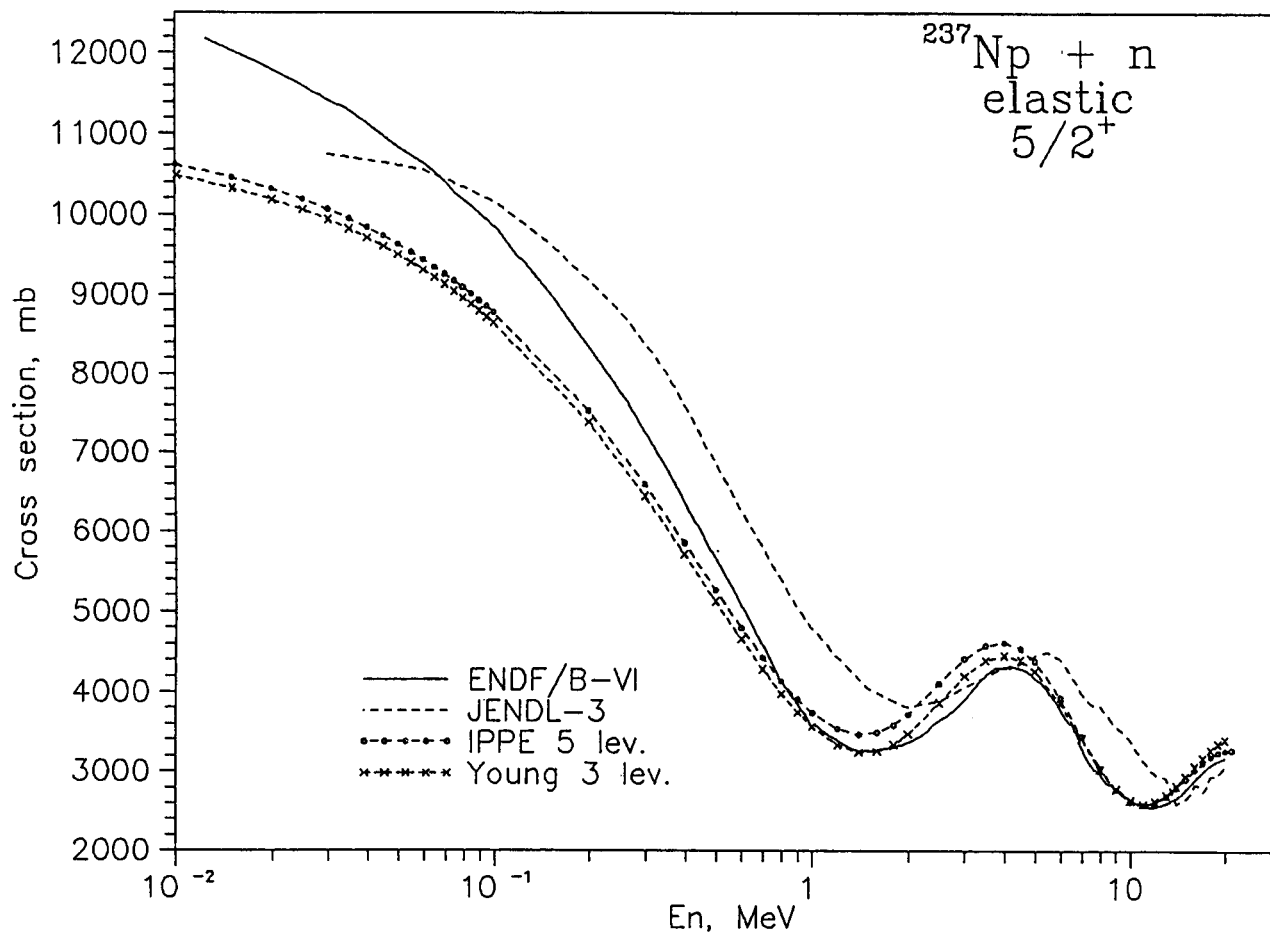


図 1 1  $^{237}\text{Np}$  の弾性散乱断面積

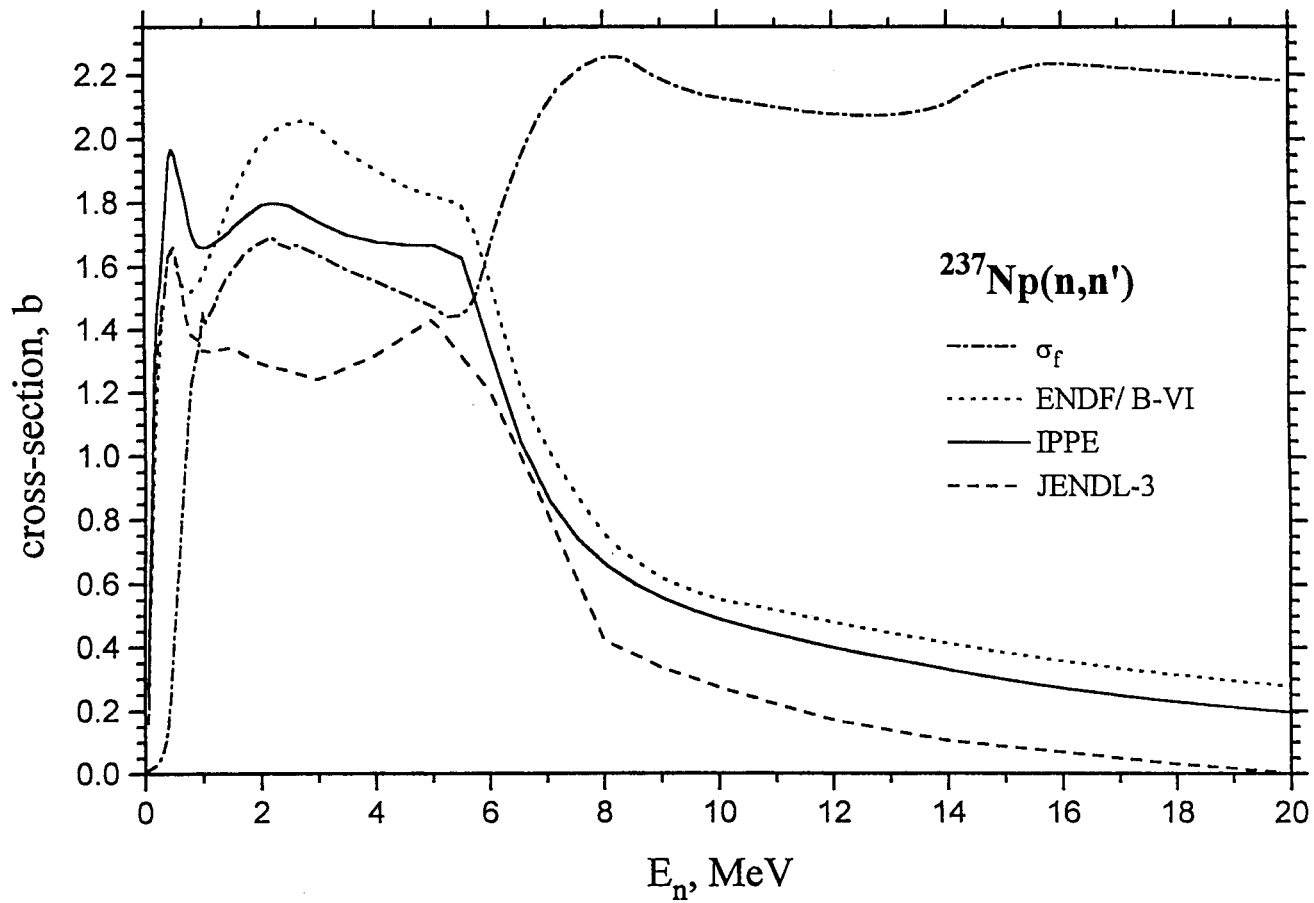


図 1 2  $^{237}\text{Np}$  の  $(n,n')$  反応断面積