

JAERI-Research  
99-009



JP9950029



核分裂中性子スペクトルの共分散評価

1999年2月

河野俊彦\* · 大澤孝明\*\* · 柴田恵一 · 中島秀紀\*

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319 1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319 1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

核分裂中性子スペクトルの共分散評価

日本原子力研究所東海研究所エネルギーシステム研究部  
河野 俊彦\*・大澤 孝明\*\*・柴田 恵一・中島 秀紀\*

(1999年1月21日受理)

評価済み核データライブラリー JENDL-3.2 に格納されている核分裂中性子スペクトルに対して、共分散データを作成するシステムを構築し、 $^{233}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ の核分裂中性子スペクトルの共分散評価を行なった。共分散算出手法として、実験データの誤差から求める方法と、計算によって共分散を算出した後、全体を再規格化する方法を検討し、最終的に再規格化する手法を JENDL-3.2 用の評価値共分散として採用した。

$^{27}\text{Al}(n, p)$ 、 $^{46, 47, 48}\text{Ti}(n, p)$ 、 $^{54, 56}\text{Fe}(n, p)$ 、 $^{58}\text{Ni}(n, p)$ 、 $^{90}\text{Zr}(n, 2n)$ 反応の $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積の測定値を用いて、 $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトルの評価値をアジャストした。算出した共分散を用いてアジャストした場合は、調整後のスペクトルのエネルギー積分値が自動的に1に規格化されることを確認した。

Evaluation of Covariance for Fission Neutron Spectra

Toshihiko KAWANO\*, Takaaki OHSAWA\*\*,  
Keiichi SHIBATA and Hideki NAKASHIMA\*

Department of Nuclear Energy System  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 21, 1999)

A covariance evaluation system for the evaluated nuclear data library JENDL-3.2 was established, and the covariance data for fission neutron spectra of  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  were evaluated. Two methods were employed to evaluate the covariance. One is based on the experimental data, and the other is based on a model calculation including some kinds of renormalizations. The latter technique was adopted for the covariance evaluation of the fission neutron spectra in JENDL-3.2.

We performed an adjustment of the evaluated fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  using the spectrum averaged cross sections for the  $^{27}\text{Al}(n,p)$ ,  $^{46,47,48}\text{Ti}(n,p)$ ,  $^{54,56}\text{Fe}(n,p)$ ,  $^{58}\text{Ni}(n,p)$ ,  $^{90}\text{Zr}(n,2n)$  reactions. The adjusted spectrum integrated over energy was found to be unity.

Keywords: Covariance, Uncertainty, Fission Neutron Spectrum,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$

---

\* Kyushu University

\*\* Kinki University

## 目 次

1. 序 論 .....	1
2. 核分裂中性子スペクトル共分散算出法 .....	2
2.1 模型パラメータ .....	2
2.2 共分散評価ツール .....	3
2.3 評価済み核分裂中性子スペクトルの誤差 .....	6
3. 核分裂中性子スペクトル共分散評価 .....	7
3.1 $^{233}\text{U}$ の核分裂中性子スペクトル .....	7
3.2 $^{235}\text{U}$ の核分裂中性子スペクトル .....	9
3.3 $^{238}\text{U}$ の核分裂中性子スペクトル .....	9
3.4 $^{239}\text{Pu}$ の核分裂中性子スペクトル .....	9
4. スペクトルのアジャストメント .....	10
5. 結 論 .....	12
謝 辞 .....	12
参考文献 .....	13

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Method of Covariance Calculation for Fission Neutron Sepctrum .....	2
2.1 Model Parameters .....	2
2.2 Tools of Covariance Evaluation .....	3
2.3 Uncertainties in the Evaluated Fission Neutron Spectrum .....	6
3. Evaluation of Covariances for Fission Neutron Spectra .....	7
3.1 $^{233}\text{U}$ Fission Neutron Spectrum .....	7
3.2 $^{235}\text{U}$ Fission Neutron Spectrum .....	9
3.3 $^{238}\text{U}$ Fission Neutron Spectrum .....	9
3.4 $^{239}\text{Pu}$ Fission Neutron Spectrum .....	9
4. Adjustment of the Fission Neutron Spectrum .....	10
5. Conclusion .....	12
Acknowledgment .....	12
References .....	13

This is a blank page.

## 1 序論

評価済中性子核データライブラリー JENDL-3.2 及び JENDL-3.3 のための共分散データ評価作業が、現在、シグマ研究委員会共分散評価ワーキンググループで進行している。主要なアクチノイド核種についての JENDL-3.2 用の共分散データ評価は、1998 年度に終了する予定であり、断面積そのものの共分散データの評価がほぼ終了している段階にある。今後は、高速増殖炉の炉心・安全設計から要求される、断面積以外のデータについて、共分散評価作業を進め、一つのまとまったファイルを完成させていく。

JENDL で採用されている共分散データの評価手法は、二つに大別される。一つは、実験データの誤差 (系統誤差・統計誤差) から、評価値の共分散を算出するもので、主に GMA コードが用いられる。もう一つの手法は理論計算コードを用いて誤差の伝播を計算し共分散を算出するもので、これには KALMAN[1] が用いられる。KALMAN での共分散評価では、実験データの統計誤差・系統誤差を考慮するが、GMA で得られる共分散とは違い、実験データに系統誤差が与えられていなくても、核反応モデルのパラメータ依存性を使って評価値の相関係数を得ることができる。

断面積以外で高速炉設計に必要とされる共分散データは、炉特性に影響のある $\nu$ (核分裂当りの平均中性子放出数)、 $\bar{\mu}$ (平均方向余弦)、 $\chi$ (核分裂中性子スペクトル) 等である。 $\nu$ の共分散は、測定データから直接評価できるので、断面積データの共分散評価と同じ手法を使うことができる。 $\bar{\mu}$ については、それ自体が測定量ではないため、理論計算によって算出することになる。KALMAN システムでは、光学模型計算コード ELIESE-3[2] を用い、光学ポテンシャルパラメータの誤差から、弾性散乱微分断面積の Legendre 展開係数の 1 次の係数 ( $P_1$ ) の誤差を計算することにより $\bar{\mu}$ の共分散を求める [1]。

JENDL に格納されている核分裂中性子スペクトルは、Madland-Nix による理論 [3] を大澤ら [4, 5, 6] が改良した理論に基づいて評価されている。従って、共分散評価も理論計算に基づき、KALMAN を用いて評価することができる。核分裂中性子スペクトルは、大澤らが開発している計算コード FISPEKL2 で計算することができる。このコードを KALMAN システムに組み込み、核分裂中性子スペクトルの共分散評価が行なえるようにした。本報告では、システムの構成、共分散評の手順を説明し、 $^{233}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{239}\text{Pu}$  の核分裂中性子スペクトルの共分散評価を行なった結果を報告する。

## 2 核分裂中性子スペクトル共分散算出法

### 2.1 模型パラメータ

核分裂中性子スペクトルの評価は、Madland-Nixモデル [3] を大澤らが改良したモデル [4, 5, 6] に基づいている。JENDL-3.2 の評価計算に用いられたモデルは以下の点において原型 Madland-Nix モデルと異なる。

#### (a) 核分裂片の準位密度パラメータ

原型 Madland-Nix モデルでは、核分裂片の準位密度パラメータ  $a$  は  $a = A/C$  型の簡易式で計算することになっている。ここで、 $A$  は核分裂片質量、 $C$  は 8 ~ 11 程度の値をもつ調整可能な定数であり、核分裂スペクトルの実験値にフィットするように選ばれるので、核分裂核種により異なった値をもつ。しかし、 $a$  の実験データは、核分裂片質量  $A = 132$  の二重閉核近傍で極小値をもつ鋸歯状のふるまいを示し、特に重分裂片で簡易式とは大きく異なる。そこで、殻効果の washing out を取り入れた Ignatyuk [7] の理論に基づく計算値を採用した。

#### (b) 核分裂の全解放エネルギー

核分裂中性子スペクトルを計算する上で、核分裂の全解放エネルギーは核分裂片の励起エネルギーに直接影響するので、きわめて重要な量である。核分裂片は一般に  $\beta$  安定線から大きく外れているので、このような中性子過剰核の質量をも正確に計算できる質量公式を使用しなければならない。ここではそのような質量公式として定評のある立花ら [8] の質量公式を採用し、偶奇効果による偏りを避けるため、核分裂収率の大きい 7 つのペアに対する解放エネルギーを核分裂収率を重率として平均化する方法をとった。

#### (c) 核分裂片の非等温性

2 つの核分裂片の核温度は、原型 Madland-Nix モデルでは等しいとされていたが、一般に両分裂片の断裂 (scission) 時における変形度は異なるので、これを考慮するために核温度の相違を考慮できるようにした。

なお、JENDL-3.2 の評価計算法は、JENDL-3.1 の計算法と比べてつぎの点で異なる。

#### (d) 逆過程断面積のエネルギー依存性

核分裂片からの中性子放出の計算において JENDL-3.1 では逆過程断面積を一定としたモデルで計算されていたが、JENDL-3.2 では逆過程断面積を Becchetti-Greenlees [9] のグローバル光学ポテンシャルを用い、ELIESE-3 [2] で計算した結果を採用することにより、そのエネルギー依存性を考慮した。



**(e) 多段階核分裂の考慮**

入射中性子エネルギーの増加とともに  $(n, f)$  過程の他に  $(n, xnf)$  過程 ( $x = 1, \dots, 4$ ) が起こる。JENDL-3.1 ではすべてが  $(n, f)$  過程で起こるとしていたため、入射エネルギー 6 MeV 以上で核分裂スペクトルは実際よりも硬くなっていた。JENDL-3.2 の評価では、核分裂確率を各過程に分解することにより、おのおのの段階でのスペクトルを別個に計算し、それを重ね合わせるにより全スペクトルを計算した。

以上のような改良を加えたため、スペクトル計算に必要な入力データとパラメータは増加したが、おのおのの入力パラメータを不確かさの範囲内で変化させて計算結果に対する感度を調べ、影響の大きいパラメータを絞り込んだ。その結果、大きな感度を有するものは、2つの核分裂片の準位密度パラメータ  $a_{LF}, a_{HF}$  ( $LF$  と  $HF$  はそれぞれ軽および重分裂片を表す) および全運動エネルギー  $TKE$  であることがわかった。したがって、共分散評価は、これらのパラメータの誤差を推定することによりおこなう。

これらのパラメータに関しては、定性的に次のことが分かっている。

- $TKE$ が増加すると、核分裂片の励起エネルギー ( $E^*$ ) はその分減少するため、中性子スペクトルは軟化する。
- $E^* = aT_m^2$  の関係があるので、一定の  $E^*$  に対して、 $a$ が増加した場合、最大核温度  $T_m$  は減少し、中性子スペクトルは軟化する。
- いずれの場合も、スペクトルのピーク近傍 (約 0.7 MeV) で最も大きな差が現れ、3~4 MeV あたりでそれとは逆方向の変化がみられた。これは、核分裂中性子スペクトルは全体にわたる積分が 1 になるように規格化されているためである。

すなわち、 $TKE$  や  $a$  を増加させると、中性子スペクトルは軟化し、逆に減少させるとスペクトルは硬化する。両者のこの傾向は類似している。

**2.2 共分散評価ツール**

核分裂スペクトルを計算するのは、大澤らが開発している計算コード FISPEKL2 である。KALMAN を用いて共分散評価を行なうには、このコードを改造して、パラメータの感度を計算する必要がある。感度計算には、多くの有効数字の桁数が必要なので、計算そのものは倍精度で実行し、計算結果をバイナリ、もしくは小数点以下の桁数を多くして、ファイルに出力するようにする。

FISPEKL2 では、 $a_{LF}, a_{HF}, TKE$  を入力ファイルから与える。この数値を変化させたときの核分裂スペクトル  $\chi$  の変化から、感度が計算される。これらのパラメータを  $p_i, i = a_{LF}, a_{HF}, TKE$  とすると、感度は  $\partial\chi/\partial p_i$  で与えられる。 $\chi$  は 2 次中性子のエネルギーに関して表形式で与えられているので、感度行列は  $n \times 3$  ( $n$  は評価されている 2 次中性子のエネルギー点数) の次元を持つ。

この感度行列を中性子入射エネルギーの数だけ作成することになる。従って、同様の計算を何度も反復する必要があるため、これを間便に行なうためのツールを整備した。これらは、

- **datapatch.pl**

FISPEKL2用の入力データファイルのうち、 $TKE$ ,  $a_{LF}$ ,  $a_{HF}$ の2つのデータを入力する部分だけを変化させて出力する perl のプログラム。

- **fisens.sh**

パラメータを変化させながら FISPEKL2 を実行させる Shell script.

- **mkfisens.f**

FISPEKL2 の出力から KALMAN3 への入力データを作成する Fortran プログラム。

の3つのプログラムである。これらは、比較的汎用性があるので、List 1, 2 に示しておく。

List 1 は、FISPEKL2 の入力データの中で、 $TKE$ ,  $a_{LF}$ ,  $a_{HF}$  の数値に摂動を加えるものである。与える摂動量は、5行目に定義している  $dp$  で与えている。ここでは2%としている。UNIX のコマンドラインから、

```
% datapatch.pl input.dat 1
```

のように実行すれば、1番のパラメータ ( $TKE$ ) を 1.02 倍した結果を標準出力に書き出す。同様に、

```
% datapatch.pl input.dat -2
```

とすれば、2番 ( $a_{LF}$ ) を 0.98 倍する。感度行列を計算するには、計算に用いたパラメータの数値が必要である。datapatch.pl は、パラメータを“fort.21”という名前のファイルに出力する。mkfisens.f は、このファイルを UNIT 21 から読み込む。

感度行列の作成自体は、fisens.sh によって自動化されている。まず FISPEKL2 用の入力データを用意する (input.dat)。fisens.sh は、3つのパラメータについて正負の摂動を与えるように、datapatch.pl を呼びだし、FISPEKL2 を実行する。fisens.sh のコマンドラインオプションには、入力ファイル名を与える。

```
% fisens.sh input.dat
```

FISPEKL2 がパラメータの数×2回実行されて結果を UNIT 22 に書き出す (ASCII)。また、UNIT 21 には計算に用いたパラメータが出力される。

fisens.sh は mkfisens を実行し、KALMAN 計算に必要なスプラインデータ (fort.50) と感度 (fort.52) を作成する。

## List 1 : datapatch.pl

```

1: #!/usr/bin/perl
2:
3: $dfile=$ARGV[0];
4: $p=$ARGV[1];
5: $dp=0.02;
6: $pfile='fort.21';
7:
8: $i=0;
9: open(PARM,">> $pfile");
10: open(DATA,$dfile);
11: while(<DATA){
12:     if($i == 2){
13:         @a=split;
14:         $parm{'tke'}=$a[3];
15:         $parm{'alf'}=$a[5];
16:         $parm{'ahf'}=$a[6];
17:         if($p == 1){$parm{'tke'} *= 1.0+$dp;}
18:         if($p == -1){$parm{'tke'} *= 1.0-$dp;}
19:         if($p == 2){$parm{'alf'} *= 1.0+$dp;}
20:         if($p == -2){$parm{'alf'} *= 1.0-$dp;}
21:         if($p == 3){$parm{'ahf'} *= 1.0+$dp;}
22:         if($p == -3){$parm{'ahf'} *= 1.0-$dp;}
23:         printf(STDOUT "%10.3e%10.3e%10d%10.5f%10.5f%10.5f\n",
24:                 $a[0],$a[1],$a[2],
25:                 $parm{'tke'},$a[4],$parm{'alf'},$parm{'ahf'});
26:         printf(PARM "%10.5f%10.5f%10.5f\n",
27:                 $parm{'tke'},$parm{'alf'},$parm{'ahf'});
28:     }else{
29:         print;
30:     }
31:     $i++;
32: }
33: close(PARM);
34: close(DATA);

```

## List 2 : fisens.sh

```

1: #!/bin/sh
2:
3: rm fort.21
4: rm Fort.22
5: for p in 0 -1 1 -2 2 -3 3 ; do
6:     echo $p;
7:     ./datapatch.pl $1 $p | ./fispek12 > /dev/null
8:     cat fort.22 >> Fort.22
9: done
10: mv Fort.22 fort.22
11: ./mkfisens

```

## 2.3 評価済み核分裂中性子スペクトルの誤差

スペクトルの実験データがある場合は、通常の KALMAN の計算と同様に、それらを使ってパラメータの共分散を作成して共分散を作れば良い [1]。しかし、スペクトルの実験データが存在する核種・エネルギー領域は限られているので、データが無い場合は、パラメータの誤差をなんらかの情報から推定するか、スペクトル自体の誤差を推定し、そこからパラメータの誤差を見積もる必要がある。

$^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  の 4 核種について、代表的な実験データの誤差を調査した。ここで対象とした測定値は、精度が良く、比較的広いエネルギー範囲にわたってデータがあるものである。調査した測定値は、Bojcov *et al.*[10], Johansson *et al.*[11], Kornilov *et al.*[12] のものである。これらの測定値の誤差は、スペクトルのピーク近傍 ( $E'_n = 0.7 \text{ MeV}$ ) において 3% 程度となっているため、評価済み核データライブラリに格納されているスペクトルデータも、その程度の精度で評価されていると考えて良い。

また、Adams[13] は、いくつかの核分裂中性子スペクトルの測定データを比較検討して、その誤差評価をおこなった。実験誤差の原因としては次の 4 つが取り上げられた。

- 1) 統計誤差
- 2) 中性子検出器の検出効率の誤差
- 3) エネルギー較正の誤差
- 4) 試料中での多重散乱と中性子束の減衰効果の補正

核分裂中性子のエネルギー  $E$  における単位エネルギー幅あたりの計数率を  $N(E)$  とすると、誤差要因 1) と 2) は  $N(E)$  の誤差  $\Delta N(E)$  に影響し、要因 3) は  $E$  の誤差  $\Delta E$  に影響する。これに対して、要因 4) は  $\Delta N(E)$  と  $\Delta E$  の両方に影響するため、スペクトルの形そのものを左右するので重要である。

Adams は各測定者から提供された実験条件のデータに基づき、各要因による不確かさを評価した。要因 4) に関する補正は解析的方法で近似的に評価した (モンテカルロ計算を行えばより正確に評価できるが、そこまでは実施していない)。評価の結果は数表の形で文献 [13] の巻末に与えられている。不確かさは計数率の小さいスペクトルの裾部分で大きくなるが、ここでもピーク部分 (約 0.7 MeV) における不確かさが 3% 程度であると評価されている。

従って、測定データから直接共分散を評価することができない場合は、入力パラメータに対する感度が大きく、かつ、炉物理的に重要なスペクトルのピーク部分 ( $E'_n = 0.7 \text{ MeV}$ ) における不確かさ 3% を代表値として採用し、この誤差 3% を再現するように、パラメータの誤差を見積もり、そこから全エネルギーにわたって誤差の伝播を計算することで、共分散の評価を行なう。

### 3 核分裂中性子スペクトル共分散評価

#### 3.1 $^{233}\text{U}$ の核分裂中性子スペクトル

$^{233}\text{U}$ の核分裂スペクトルは Bojcov らの実験値 [10]があるので、これから  $TKE$ ,  $a_{LF}$ ,  $a_{HF}$ の誤差を見積もった。データは熱中性子エネルギーのものであるので、熱中性子エネルギーで行なった計算と比較する。Bojcov らのデータには 2 種類あり、一つは Maxwell 分布を仮定した場合のスペクトルとの比とその誤差を与えたもの (4.5 MeV 以下) と、絶対値で与えている 4.5 MeV 以上のデータである。ここでは絶対値で与えられている高いエネルギーでの数値を用いた。

スペクトルのピーク近傍での測定データの誤差が 3%程度であるので、これに対応する単位密度の曖昧さは 8%程度、また  $TKE$ では 0.5%程度であった。そこで、パラメータの事前誤差を 20%として KALMAN でパラメータの事後共分散を計算した。得られたパラメータの共分散は、

List 3 : Parameter Covariance

	PARAMETER	ERROR(%)	CORRELATION(%)		
1	TKE	2.60	100		
2	AL	24.0	-56	100	
3	AH	26.3	-81	-1	100

である。このときの測定データ点数  $N$  当たりの残差自乗和

$$z^2 = \frac{1}{N} \sum_i \left\{ \frac{\chi_i - f(E_i)}{\delta\chi_i} \right\}^2 \quad (1)$$

は 9.15 であった。ここで、 $\chi_i$  と  $\delta\chi_i$  は 2 次中性子エネルギー  $E_i$  でのスペクトル測定値とその誤差、 $f(E_i)$  は JENDL-3.2 のスペクトル評価値である。

その他のエネルギー点では、パラメータの絶対値が異なるが、その相対的な誤差が同程度であると仮定した。そして、この熱中性子エネルギーで得られたパラメータ共分散を使って、1, 2, 5, 14, 20 MeV でのスペクトルの共分散を計算した。具体的な手順は、

- 1) パラメータの感度を、各入射エネルギーで計算する。
- 2) パラメータの事前共分散を、熱中性子エネルギーで出力した事後共分散に置き換える。
- 3) 実験データの点数を 0 として、KALMAN を実行する。

これにより、熱中性子エネルギーで得られた事後共分散からスペクトル計算値への誤差の伝播が、各入射エネルギーで計算される。

各エネルギーでのスペクトルの誤差をプロットしたものを、Fig. 1 に示す。但し、この誤差には、誤差評価のスケール因子である Eq. (1) の  $z$  が掛けられていない。

核分裂スペクトルは積分値が 1 に規格化されているので、平均エネルギー ( $E'_n \simeq 2$  MeV) での誤差は非常に小さくなる。また、そのエネルギーを境にして強い負の相関係数を持つ。このため、核分裂スペクトル評価値をスペクトル平均断面積等のデータを用いてアジャストした場合、平均エネルギー近傍は誤差が小さいためにスペクトルの変動が小さい。また、アジャストメントにおいて、スペクトルの高エネルギー側もしくは低エネルギー側が増加する結果となった場合、

両領域間で負の相関係数を持つために、他の領域が減少することになり、結果として全体の積分値が1となることが期待される。熱エネルギー領域での相関係数の数値の一部を Table 1 に示す。

Figs. 2-7 は、各エネルギーでのパラメータの相対感度をプロットしたものである。入射中性子のエネルギーが 5 MeV 以下の場合、エネルギー毎の感度の変化は小さいが、14 MeV 以上では、その傾向が異なっている。これは、高エネルギー領域では、核分裂スペクトルにマルチプルチャンス過程の寄与があるためである。

JENDL-3.2 で採用されたスペクトルの評価値は、Bojcov の測定に基づいているわけではないので、この結果をそのまま JENDL の共分散ファイルとすることはできない。しかし、この測定データから、計算されたスペクトルの精度を大まかに見積もることは可能である。

前章に述べたとおり、核分裂スペクトルの誤差を、ピーク値近傍で、3%と仮定する。まず、ダミーの実験データを準備する。データの数値は FISPEKL2 の計算値をそのまま用いる。エネルギー点数は少なくとも良い。これを実験データファイル (fort.10) とする。

List 4 : dummy data

				11	
1.000E-08	5.604E-05	1.000E-07	1.772E-04	1.000E-06	5.604E-04
1.000E-05	1.772E-03	1.000E-04	5.605E-03	1.000E-03	1.772E-02
1.000E-02	5.594E-02	1.000E-01	1.727E-01	1.000E+00	3.371E-01
1.000E+01	1.001E-03	2.000E+01	3.084E-07		

次に、データの誤差を適当に仮定する。例えば誤差が全エネルギーにわたって 10%としたときは、

List 5 : dummy error

				11	
1.0000E-08	1.0000E-01	1.0000E-07	1.0000E-01	1.0000E-06	1.0000E-01
1.0000E-05	1.0000E-01	1.0000E-04	1.0000E-01	1.0000E-03	1.0000E-01
1.0000E-02	1.0000E-01	1.0000E-01	1.0000E-01	1.0000E+00	1.0000E-01
1.0000E+01	1.0000E-01	2.0000E+01	1.0000E-01		

となる。これを誤差ファイル (fort.11) とする。

KALMAN の計算結果が、この仮定した誤差程度になるようにパラメータの誤差を決めるのであるが、事前誤差が小さいと結果の誤差も小さなものとなるため、事前誤差を極端に大きくする。これは、パラメータの事前分布として一様分布を仮定したことに相当する。以下は、感度ファイル (fort.52) の頭の部分であるが、誤差を 100%としている。

List 6 : fort.52

		3
TKE	ACLF	ACHF
1.72311E+02	1.00940E+01	1.18770E+01
1.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00

これによって、結果の誤差が 10%程度におさまるようなパラメータの誤差が求まる。得られたパラメータの誤差・相関係数を、次に示す。

## List 7 : Parameter Covariance

	PARAMETER	ERROR(%)	CORRELATION(%)
1	TKE	1.14	100
2	AL	82.5	-6 100
3	AH	57.5	-17 97 100

しかし、この方法では、各エネルギー点の相対的な誤差が与えられるだけである。実際的には、何らかの仮定を行なって、全体をスケールする必要がある。この場合、スペクトルのピーク値 (0.7 MeV 近傍) で、誤差は 0.366%であったので、これを 3%にスケールするのであるから、誤差を 8.20 倍すればよい。他のエネルギー点でも、同様の方法で共分散を作成することができる。Fig. 8 に得られた誤差を示す。Fig. 1 と比較すると、誤差のエネルギー変化は類似しているが、Fig. 8 が 0.7 MeV で 3%に規格化されている点だけが異なる。最終的に得られた共分散の一部分を、Table 2-7 に示す。

### 3.2 $^{235}\text{U}$ の核分裂中性子スペクトル

$^{235}\text{U}$  から  $^{239}\text{Pu}$  までのスペクトル共分散評価についても、 $^{233}\text{U}$  の部分で述べたのと同様に、0.7 MeV で規格化する手法を採用した。得られた  $^{233}\text{U}$  の共分散の一部を、Table 8-13 に示している。また、 $a_{LF}$ ,  $a_{HF}$ ,  $TKE$  に対する相対感度を、Figs. 9-12 にプロットしている。Fig. 13 は、誤差をエネルギーに対してプロットしたものである。

### 3.3 $^{238}\text{U}$ の核分裂中性子スペクトル

$^{238}\text{U}$  の共分散は、Table 14-19 に与えられている。また、Figs. 14-17 は、パラメータの相対感度であり、Fig. 18 は、得られた共分散の誤差部分である。

### 3.4 $^{239}\text{Pu}$ の核分裂中性子スペクトル

$^{239}\text{Pu}$  の共分散は、Table 20-25 に与えられている。また、Figs. 19-22 は、パラメータの相対感度であり、Fig. 23 は、得られた共分散の誤差部分である。

## 4 スペクトルのアジャストメント

前章で得られたスペクトルの共分散が、実際に利用するに際して問題がないかどうか確認するため、スペクトル平均断面積を用いたアジャストメントを行なった。スペクトル平均断面積 $\bar{\sigma}$ は、

$$\bar{\sigma} = \int_0^{\infty} \chi(E)\sigma(E)dE \simeq \sum_i \chi(E_i)\sigma(E_i)\Delta E_i = S^t \chi \quad (2)$$

で定義される。ここで、 $\sigma(E)$ はエネルギー $E$ での断面積を表す。また、 $S$ は断面積とエネルギー幅の積を要素に持つベクトルで、 $S^t = \{\sigma(E_1)\Delta E_1, \sigma(E_2)\Delta E_2, \dots, \sigma(E_n)\Delta E_n\}$ であり、 $\chi$ は、スペクトルを列ベクトルで表したものである。

平均断面積の測定値のベクトルを $\sigma_{exp}$ とし、その共分散を $V$ とすると、このデータにアジャストされたスペクトルのベクトルは、次式で与えられる。

$$\chi_1 = \chi_0 + PC^t V^{-1} (\sigma_{exp} - C\chi_0) \quad (3)$$

$$P = (X^{-1} + C^t V^{-1} C)^{-1} \quad (4)$$

ここで、 $\chi_0$ はスペクトルの事前値、 $X$ はスペクトルの共分散、 $C$ は $S$ を行ベクトルに持つ行列である。

平均断面積のデータとして、 $^{235}\text{U}$ の核分裂中性子スペクトル場での $^{27}\text{Al}(n, p)$ 、 $^{58}\text{Ni}(n, p)$ 、 $^{46,47,48}\text{Ti}(n, p)$ 、 $^{54,56}\text{Fe}(n, p)$ 、 $^{90}\text{Zr}(n, 2n)$ 反応断面積を取り上げた。小林らによる測定値[14]と、断面積としてJENDL-3.2のものを用いた場合の平均断面積計算値をTable 26の第2カラムと第3カラムに示す。また、核分裂スペクトルと反応断面積を重ねてプロットしたものを、Fig. 24に示す。実線(スペクトル)と点線・破線・一点鎖線(断面積)が重なっている部分が、平均断面積に感度を持つエネルギー領域である。

スペクトルの相関行列にある非対角要素が、アジャストメントにどのように影響するかを調べるために、スペクトル共分散 $X$ としてTable 8のものを用いた場合と、その相関係数の非対角成分を全て0にした場合の計算を行なった。アジャストされたスペクトルをFig. 25に示す。絶対値の変動が小さかったため、事前値との比で表している。実線はTable 8の共分散を用いた場合のアジャストされたスペクトルであり、破線は非対角要素を全て0にした場合の計算結果である。またTable 26の第4カラム(with correlation)は、相関係数を入れてアジャストメントを行なった結果得られたスペクトルを用いて平均断面積を計算したものであり、第5カラム(without correlation)は、非対角成分の相関係数を全て0にした場合のものである。

スペクトルの事前値を用いて計算した平均断面積の、実験データとの残差自乗和

$$z^2 = \frac{1}{N} \{\sigma_{exp} - C\chi_0\}^t V^{-1} \{\sigma_{exp} - C\chi_0\} \quad (5)$$

は6.31であった。ここで、 $N$ は平均断面積測定値の数である。Eq. (5)に事後スペクトルを代入した場合、相関係数を無視した時 $z^2$ は4.78であり、相関係数を考慮した時は5.83となった。 $^{47}\text{Ti}(n, p)$ 反応での実験値と計算値の差異が大きいので、 $z^2$ が比較的大きな数値になっているが、アジャストメントの効果は現れている。



相関を無視した場合、スペクトルは1～5 MeVの領域で減少し、5～20 MeVの領域では増加した。この場合、スペクトルの断面積に対する感度は、放射化反応の閾エネルギー以上のみ存在するので、これ以下の領域のスペクトルは変動しないことになる。1 MeV以上でのスペクトルの増減はあったが、結果的にはスペクトルの全エネルギーでの積分値が0.331%減少し、スペクトルの規格化条件を満たさなくなった。相関係数を考慮した場合は、放射化断面積に対する感度が大きな1 MeV近傍のエネルギー領域でのスペクトルの減少分を、他の領域で補うようにスペクトルは変動し、その結果、スペクトルの積分値はほぼ1に規格されていた。

## 5 結論

JENDLに格納されている核分裂中性子スペクトルの共分散評価を、理論計算に基づいて行なった。スペクトル計算コード FISPEKL2を用いて、軽い核分裂片と重い核分裂片の準位密度パラメータ、及び全運動エネルギーについて、感度係数を求めるツールを開発し、これらを KALMAN システムに組み込んだ。このシステムを用いて、 $^{233}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{239}\text{Pu}$  の核分裂中性子スペクトルの共分散評価を行なった。核分裂中性子スペクトルの実験データの測定精度を考慮した結果、評価されたスペクトルの誤差を、スペクトルのピーク値付近で 3%となるように規格化を行なった。

得られた共分散の利用例として、核分裂スペクトルのアジャストメントを行なった。 $^{235}\text{U}$  の核分裂中性子スペクトル場で測定された $^{27}\text{Al}(n,p)$ 、 $^{46,47,48}\text{Ti}(n,p)$ 、 $^{54,56}\text{Fe}(n,p)$ 、 $^{58}\text{Ni}(n,p)$ 、 $^{90}\text{Zr}(n,2n)$  反応の平均断面積の測定値を用いて、 $^{235}\text{U}$  のスペクトルをアジャストし、事後スペクトルが自動的に規格化されることを確認した。

## 謝辞

本報告をまとめるにあたって、長谷川明博士、千葉敏博士、杉本昌義博士、深堀智生博士、岩本修博士(以上、日本原子力研究所)、中島豊博士(高度情報科学技術研究機構)、石川眞博士(核燃料サイクル開発機構)、小田野直光博士(船舶技術研究所)、神田幸則博士(大分工業高等専門学校)、松延廣幸博士(データ工学)、村田徹博士(アイテル技術サービス)、山野直樹博士、小迫和明博士(以上、住友原子力工業)、の皆様に貴重な助言を頂きましたことを感謝いたします。

## 参考文献

- [1] T. Kawano, K. Shibata : *JAERI-Data/Code 97-037* (1997), in Japanese.
- [2] S. Igarasi : "Program ELIESE-3, Program for Calculation of the Nuclear Cross Sections by Using Local and Non-Local Optical Models and Statistical Model," JAERI-1224, (1972).
- [3] D. G. Madland, and J. R. Nix : *Nucl. Sci. Eng.*, **81**, 213 (1982).
- [4] T. Ohsawa, and T. Shibata : *Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Science and Technology*, Jülich, Germany, 13-17 May 1991, p.965 (1991).
- [5] T. Ohsawa, and T. Shibata : *Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Science and Technology*, Gatlinburg, U.S.A., 9-13 May 1994, p.639 (1994).
- [6] T. Ohsawa : *Proc. the 9th Int. Symposium on Reactor Dosimetry*, Prague, Czech Republic, 2-6 Sep. 1996, p.656 (1998).
- [7] A. V. Ignatyuk, K. K. Istekov, G. N. Smirenkin : *Sov. J. Nucl. Phys.*, **29**, 450 (1979).
- [8] T. Tachibana, M. Uno, M. Yamada, and S. Yamada : *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **39**, 251 (1988).
- [9] F. D. Becchetti and G. W. Greenlees, *Phys. Rev.*, **182**, 1190 (1969).
- [10] A. A. Bojkov : *Proc. 6th All-Union Conf. on Neutron Physics*, Kiev, U.S.S.R., 2-6 Oct. 1983, p.294 (1983).
- [11] P. I. Johansson, B. Holmqvist, T. Wiedling and L. Jeki : *Proc. Int. Conf. on Nuclear Cross Sections and Technology*, Washington D.C., U.S.A., 3-7 Mar. 1975, vol.II, p.572 (1975).
- [12] N. V. Kornilov : *Proc. 5th All-Union Conf. on Neutron Physics*, Kiev, U.S.S.R., 15-19 Sep. 1980, p.104 (1980).
- [13] J. M. Adams : *Proc. Specialists' Meeting on Inelastic Scattering and Fission Neutron Spectra*, Harwell, England, 14-16 April 1975, Appendix A of AERE-R 8636 (1977).
- [14] K. Kobayashi and T. Kobayashi : INDC-142, 52 (1990).

Table 1: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at thermal energy, obtained from experimental data.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	1.92	100																	
1.00e-07	1.92	100	100																
1.00e-06	1.92	100	100	100															
1.00e-05	1.92	100	100	100	100														
1.00e-04	1.93	100	100	100	100	100													
1.00e-03	1.93	100	100	100	100	100	100												
1.00e-02	1.96	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e-01	1.93	100	100	100	100	100	100	100	100										
1.00e+00	0.92	61	61	61	61	61	61	60	64	100									
2.50e+00	0.42	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-95	-36	100								
5.00e+00	0.92	-48	-48	-48	-48	-48	-47	-47	-50	-99	21	100							
7.50e+00	1.25	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-30	-34	-94	3	98	100						
1.00e+01	1.44	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-19	-23	-90	-8	96	99	100					
1.20e+01	1.55	-14	-14	-14	-14	-13	-13	-12	-16	-86	-15	94	98	100	100				
1.40e+01	1.65	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-5	-9	-83	-22	91	97	99	100	100			
1.60e+01	1.75	1	1	1	1	1	2	2	-2	-78	-30	87	95	98	99	100	100		
1.80e+01	1.86	10	10	10	10	10	10	11	7	-73	-38	83	92	95	97	99	100	100	
2.00e+01	2.00	19	19	19	19	19	19	20	16	-66	-46	77	88	92	95	97	98	100	100

---

Table 2: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at thermal energy.

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																		
1.00e-08	6.73	100																		
1.00e-07	6.73	100	100																	
1.00e-06	6.73	100	100	100																
1.00e-05	6.73	100	100	100	100															
1.00e-04	6.75	100	100	100	100	100														
1.00e-03	6.77	100	100	100	100	100	100													
1.00e-02	6.90	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e-01	6.64	100	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e+00	2.16	90	90	90	90	90	90	90	90	91										
2.50e+00	2.02	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-85									
5.00e+00	5.39	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-84	-99	76								
7.50e+00	9.27	-68	-68	-68	-68	-68	-68	-68	-68	-69	-93	59	97							
1.00e+01	13.20	-53	-53	-53	-53	-53	-53	-53	-53	-54	-84	43	91	98						
1.20e+01	16.50	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-76	30	84	94	99					
1.40e+01	20.00	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-24	-26	-64	14	75	88	95	99	100				
1.60e+01	24.20	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-7	-48	-6	60	77	87	94	98	100			
1.80e+01	30.10	17	17	17	17	17	17	17	16	-27	-28	41	61	74	83	91	98	100		
2.00e+01	39.00	38	38	38	38	38	38	38	37	-6	-48	20	42	58	69	80	90	98	100	

Table 3: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 1 MeV.

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																			
1.00e-08	6.80	100																			
1.00e-07	6.80	100	100																		
1.00e-06	6.80	100	100	100																	
1.00e-05	6.80	100	100	100	100																
1.00e-04	6.81	100	100	100	100	100															
1.00e-03	6.84	100	100	100	100	100	100														
1.00e-02	6.97	100	100	100	100	100	100	100													
1.00e-01	6.72	100	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e+00	2.14	89	89	89	89	89	89	89	89	90											
2.50e+00	2.15	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-82										
5.00e+00	5.37	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-84	-99	75									
7.50e+00	9.18	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-66	-68	-93	56	97									
1.00e+01	13.00	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-51	-84	38	90	98								
1.20e+01	16.30	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-36	-38	-75	24	82	94	99							
1.40e+01	19.90	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-21	-23	-63	8	72	87	95	99	100					
1.60e+01	24.30	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-5	-48	-10	58	77	88	94	98	100				
1.80e+01	30.10	16	16	16	16	16	16	16	15	-30	-29	41	63	77	86	93	98	100			
2.00e+01	38.30	35	35	35	35	35	35	36	34	-10	-48	22	46	63	74	84	92	98	100		

Table 4: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 2 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	6.82	100																	
1.00e-07	6.82	100	100																
1.00e-06	6.82	100	100	100															
1.00e-05	6.82	100	100	100	100														
1.00e-04	6.83	100	100	100	100	100													
1.00e-03	6.86	100	100	100	100	100	100												
1.00e-02	7.00	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e-01	6.76	100	100	100	100	100	100	100	100										
1.00e+00	2.15	89	89	89	89	89	89	89	89	89									
2.50e+00	2.20	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-98	-81	100								
5.00e+00	5.27	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-84	-99	74	100							
7.50e+00	8.89	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-66	-93	52	96	100						
1.00e+01	12.80	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-48	-82	33	88	98	100					
1.20e+01	16.10	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-33	-34	-73	18	80	93	99	100				
1.40e+01	19.80	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-20	-62	3	70	87	96	99	100			
1.60e+01	24.20	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-4	-48	-13	57	78	89	95	99	100		
1.80e+01	29.80	15	15	15	15	15	15	16	14	-32	-30	42	65	80	88	94	98	100	
2.00e+01	37.50	32	32	32	32	32	32	33	32	-14	-47	25	50	68	78	86	94	98	100

---

Table 5: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 5 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	7.33	100																	
1.00e-07	7.32	100	100																
1.00e-06	7.32	100	100	100															
1.00e-05	7.31	100	100	100	100														
1.00e-04	7.29	100	100	100	100	100													
1.00e-03	7.22	100	100	100	100	100	100												
1.00e-02	7.37	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e-01	6.99	100	100	100	100	100	100	100	100										
1.00e+00	2.17	85	85	85	85	85	85	85	86	100									
2.50e+00	2.20	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-97	-72	100								
5.00e+00	4.98	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-79	-80	-99	65	100							
7.50e+00	8.68	-57	-57	-57	-57	-57	-57	-57	-58	-92	38	95	100						
1.00e+01	12.80	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-36	-38	-80	16	86	97	100					
1.20e+01	16.40	-24	-24	-24	-24	-24	-24	-24	-23	-71	3	78	93	99	100				
1.40e+01	20.60	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-14	-62	-9	70	88	97	99	100			
1.60e+01	25.10	0	0	0	0	0	0	-0	0	-2	-52	-21	60	82	93	97	99	100	
1.80e+01	30.50	12	12	12	12	12	12	12	11	-41	-33	50	74	88	94	97	99	100	
2.00e+01	37.20	25	25	25	25	25	25	25	23	-29	-45	39	65	81	88	93	97	99	100

---

Table 6: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 14 MeV.

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																		
1.00e-08	13.40	100																		
1.00e-07	13.20	100	100																	
1.00e-06	13.10	100	100	100																
1.00e-05	12.90	100	100	100	100															
1.00e-04	11.90	100	100	100	100	100														
1.00e-03	9.96	100	100	100	100	100	100													
1.00e-02	9.65	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e-01	6.44	96	96	96	96	96	97	98	98	100										
1.00e+00	2.90	-24	-24	-24	-23	-21	-16	-15	3	100										
2.50e+00	1.22	-97	-97	-97	-97	-96	-95	-94	-87	47	100									
5.00e+00	6.69	30	30	30	30	28	23	22	3	-100	-53	100								
7.50e+00	13.80	28	28	27	27	25	20	19	1	-100	-50	100	100							
1.00e+01	20.60	21	21	21	20	18	13	12	-6	-100	-44	100	100	100						
1.20e+01	26.00	15	15	15	14	12	7	6	-12	-100	-38	99	99	100	100					
1.40e+01	31.40	8	8	8	7	5	0	-1	-19	-99	-32	97	98	99	100	100				
1.60e+01	36.90	2	2	1	1	-1	-7	-8	-26	-97	-26	96	96	98	99	100	100			
1.80e+01	42.50	-4	-4	-4	-5	-7	-12	-13	-31	-96	-21	94	95	97	98	99	100	100		
2.00e+01	48.40	-9	-9	-9	-9	-11	-17	-18	-35	-94	-16	92	93	96	97	98	99	100	100	

Table 7: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 20 MeV.

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																			
1.00e-08	9.78	100																			
1.00e-07	9.69	100	100																		
1.00e-06	9.69	100	100	100																	
1.00e-05	9.41	100	100	100	100																
1.00e-04	8.78	100	100	100	100	100															
1.00e-03	7.43	99	99	99	100	100	100														
1.00e-02	7.20	99	99	99	99	100	100	100													
1.00e-01	5.28	95	95	95	96	96	98	98	100												
1.00e+00	2.49	39	39	40	40	42	48	50	65	100											
2.50e+00	0.84	-96	-96	-96	-96	-95	-93	-92	-84	-13	100										
5.00e+00	5.37	-34	-34	-35	-35	-38	-44	-45	-61	-100	8	100									
7.50e+00	10.70	-23	-23	-23	-24	-27	-33	-34	-51	-98	-4	99	100								
1.00e+01	15.80	-14	-15	-15	-16	-18	-25	-26	-44	-97	-12	98	100	100							
1.20e+01	19.80	-8	-8	-8	-9	-11	-18	-20	-37	-95	-19	96	99	100	100						
1.40e+01	23.80	-1	-1	-1	-2	-4	-11	-12	-31	-92	-26	94	97	99	100	100					
1.60e+01	27.60	7	7	7	6	3	-3	-5	-23	-89	-34	91	95	98	99	100	100				
1.80e+01	31.30	16	16	16	15	12	6	4	-14	-84	-42	87	92	95	97	98	100	100			
2.00e+01	35.20	25	25	25	24	22	15	14	-5	-79	-50	82	88	92	94	97	98	100	100		

Table 8: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at thermal energy.

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																		
1.00e-08	7.73	100																		
1.00e-07	7.73	100	100																	
1.00e-06	7.73	100	100	100																
1.00e-05	7.73	100	100	100	100															
1.00e-04	7.73	100	100	100	100	100														
1.00e-03	7.74	100	100	100	100	100	100													
1.00e-02	7.85	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e-01	7.47	100	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e+00	2.09	83	83	83	83	83	83	83	84	100										
2.50e+00	2.52	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-80	100								
5.00e+00	6.38	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-82	-100	78	100								
7.50e+00	11.00	-68	-68	-68	-68	-68	-68	-68	-70	-97	64	98	100							
1.00e+01	15.50	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-57	-92	50	94	98	100						
1.20e+01	19.20	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-45	-86	38	88	95	99	100				
1.40e+01	23.10	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-27	-29	-76	22	78	89	95	99	100				
1.60e+01	27.80	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-9	-61	1	64	77	87	93	98	100			
1.80e+01	34.70	18	18	18	18	18	18	18	16	-40	-23	43	60	72	81	90	97	100		
2.00e+01	45.80	41	41	41	41	41	41	41	39	-17	-46	20	39	53	65	76	88	97	100	

Table 9: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at 1 MeV.

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																		
1.00e-08	7.35	100																		
1.00e-07	7.35	100	100																	
1.00e-06	7.35	100	100	100																
1.00e-05	7.35	100	100	100	100															
1.00e-04	7.35	100	100	100	100	100														
1.00e-03	7.36	100	100	100	100	100	100													
1.00e-02	7.49	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e-01	7.16	100	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e+00	2.11	86	86	86	86	86	86	85	86	100										
2.50e+00	2.34	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-99	-80	100							
5.00e+00	5.87	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-81	-82	-100	76	100								
7.50e+00	10.20	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-68	-96	60	98	100							
1.00e+01	14.40	-53	-53	-53	-53	-53	-53	-53	-54	-89	45	92	98	100						
1.20e+01	17.90	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-40	-42	-82	32	86	95	99	100					
1.40e+01	21.70	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-25	-27	-72	16	77	89	95	99	100				
1.60e+01	26.30	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-7	-56	-4	62	78	88	94	98	100			
1.80e+01	32.80	17	17	17	17	17	17	17	15	-36	-26	43	62	75	83	91	97	100		
2.00e+01	42.70	38	38	38	38	38	38	39	37	-15	-47	22	42	58	69	79	90	97	100	



Table 10: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at 2 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																		
1.00e-08	7.20	100																		
1.00e-07	7.20	100	100																	
1.00e-06	7.20	100	100	100																
1.00e-05	7.20	100	100	100	100															
1.00e-04	7.20	100	100	100	100	100														
1.00e-03	7.21	100	100	100	100	100	100													
1.00e-02	7.35	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e-01	7.05	100	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e+00	2.13	87	87	87	87	87	87	87	87	88										
2.50e+00	2.35	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-80									
5.00e+00	5.75	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-84	-100	76								
7.50e+00	9.85	-68	-68	-68	-68	-68	-68	-67	-68	-95	58	97								
1.00e+01	14.00	-52	-52	-52	-52	-52	-52	-52	-53	-87	41	91	98							
1.20e+01	17.40	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-79	28	84	94	99						
1.40e+01	21.20	-24	-24	-24	-24	-24	-24	-24	-25	-69	12	74	88	95	99					
1.60e+01	25.70	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-54	-7	60	77	88	94	98				
1.80e+01	32.00	16	16	16	16	16	16	17	15	-34	-28	41	62	76	84	92	98			
2.00e+01	41.30	37	37	37	37	37	37	37	37	36	-14	-48	21	43	60	71	81	91	98	100

---

Table 11: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at 5 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																			
1.00e-08	6.89	100																			
1.00e-07	6.89	100	100																		
1.00e-06	6.89	100	100	100																	
1.00e-05	6.89	100	100	100	100																
1.00e-04	6.88	100	100	100	100	100															
1.00e-03	6.89	100	100	100	100	100	100														
1.00e-02	7.03	100	100	100	100	100	100	100													
1.00e-01	6.79	100	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e+00	2.17	88	88	88	88	88	88	88	88	89											
2.50e+00	2.22	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-78											
5.00e+00	5.13	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-83	-84	-100	71									
7.50e+00	8.70	-63	-63	-63	-63	-63	-63	-63	-64	-92	47	96									
1.00e+01	12.50	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-44	-81	25	86	97								
1.20e+01	15.90	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-30	-71	10	77	92	99							
1.40e+01	19.80	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-15	-17	-60	-4	68	86	96	99						
1.60e+01	24.10	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-48	-18	56	78	91	96	99					
1.80e+01	29.70	14	14	14	14	14	14	14	13	-34	-33	43	68	83	91	96	99				
2.00e+01	36.70	29	29	29	29	29	29	29	28	-20	-47	29	56	74	83	90	95	99			

---

Table 12: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at 14 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	10.70	100																	
1.00e-07	10.60	100	100																
1.00e-06	10.50	100	100	100															
1.00e-05	9.94	100	100	100	100														
1.00e-04	8.51	100	100	100	100	100													
1.00e-03	5.19	98	98	98	98	98	99	100											
1.00e-02	4.69	96	96	97	97	97	98	100	100										
1.00e-01	2.15	35	35	35	35	36	40	54	58	100									
1.00e+00	2.65	-69	-69	-69	-68	-66	-52	-48	43	100									
2.50e+00	0.85	78	78	78	77	75	63	59	-31	-99	100								
5.00e+00	6.78	63	63	63	62	59	45	40	-51	-100	98	100							
7.50e+00	11.30	49	49	49	48	45	29	25	-64	-97	93	99	100						
1.00e+01	15.20	34	34	34	33	29	13	8	-76	-91	85	94	99	100					
1.20e+01	18.40	21	21	21	20	16	-0	-5	-84	-85	78	89	96	99	100				
1.40e+01	21.70	9	9	8	7	4	-13	-18	-90	-78	69	83	91	96	99	100			
1.60e+01	25.70	-3	-3	-3	-4	-8	-24	-29	-95	-70	60	76	86	93	97	99	100		
1.80e+01	30.00	-13	-13	-13	-14	-18	-34	-38	-97	-63	52	69	80	89	94	98	100	100	
2.00e+01	34.80	-21	-21	-21	-22	-26	-41	-46	-99	-56	45	63	75	85	91	96	98	100	100

---

Table 13: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at 20 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	10.90	100																	
1.00e-07	10.80	100	100																
1.00e-06	10.80	100	100	100															
1.00e-05	10.60	100	100	100	100														
1.00e-04	9.98	100	100	100	100	100													
1.00e-03	8.36	100	100	100	100	100	100												
1.00e-02	8.09	99	99	99	99	99	100	100	100										
1.00e-01	5.77	95	95	96	96	96	98	98	100										
1.00e+00	2.62	9	9	9	10	12	19	20	38	100									
2.50e+00	1.19	-94	-94	-94	-94	-93	-90	-90	-79	25	100								
5.00e+00	5.26	-2	-3	-3	-3	-5	-12	-14	-32	-100	-32	100							
7.50e+00	11.00	7	7	7	7	5	-2	-4	-23	-99	-41	100	100						
1.00e+01	16.70	10	10	10	9	7	0	-1	-20	-98	-43	99	100	100					
1.20e+01	21.30	10	10	10	9	7	0	-1	-20	-98	-43	99	100	100	100				
1.40e+01	25.70	8	8	8	7	5	-1	-3	-22	-98	-42	99	100	100	100	100			
1.60e+01	30.10	6	6	6	5	3	-4	-5	-24	-99	-40	100	100	100	100	100	100		
1.80e+01	34.30	4	4	3	3	1	-6	-7	-26	-99	-38	100	100	100	100	100	100	100	
2.00e+01	38.60	1	1	0	-0	-2	-9	-10	-29	-100	-35	100	100	100	100	100	100	100	100

---

Table 14: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of <sup>238</sup>U at thermal energy.

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	7.03	100																	
1.00e-07	7.03	100														100			
1.00e-06	7.04	100													100	100			
1.00e-05	7.06	100												100	100	100			
1.00e-04	7.13	100											100	100	100	100			
1.00e-03	7.29	100										100	100	100	100	100			
1.00e-02	7.29	100									100	100	100	100	100	100			
1.00e-01	6.97	100								100	100	100	100	100	100	100			
1.00e+00	2.11	87	87	87	87	87	87	87	87	87	88	100							
2.50e+00	2.32	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-87	100							
5.00e+00	7.03	-85	-85	-85	-85	-85	-84	-84	-86	-100	85	100							
7.50e+00	12.60	-78	-78	-78	-78	-78	-78	-78	-79	-99	79	99	100						
1.00e+01	17.70	-71	-71	-71	-71	-70	-70	-70	-72	-96	71	97	99	100					
1.20e+01	21.20	-61	-61	-61	-61	-61	-60	-60	-62	-92	62	94	97	99	100				
1.40e+01	24.30	-44	-44	-44	-44	-44	-43	-43	-45	-82	45	85	90	95	98	100			
1.60e+01	28.20	-15	-15	-15	-15	-15	-14	-14	-16	-62	16	65	73	80	88	95	100		
1.80e+01	36.10	22	22	22	22	22	22	22	20	-29	-21	33	44	54	64	78	93	100	
2.00e+01	52.00	52	52	52	52	52	53	53	51	4	-52	1	12	23	36	53	76	94	100

Table 15: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of <sup>238</sup>U at 1 MeV.

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	7.17	100																	
1.00e-07	7.17	100														100			
1.00e-06	7.17	100													100	100			
1.00e-05	7.19	100												100	100	100			
1.00e-04	7.27	100											100	100	100	100			
1.00e-03	7.44	100										100	100	100	100	100			
1.00e-02	7.45	100									100	100	100	100	100	100			
1.00e-01	7.12	100								100	100	100	100	100	100	100			
1.00e+00	2.10	86	86	86	86	86	86	86	86	87	100								
2.50e+00	2.40	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-85	100							
5.00e+00	6.83	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-85	-100	83	100							
7.50e+00	12.10	-76	-76	-76	-76	-76	-76	-76	-77	-98	75	99	100						
1.00e+01	17.00	-67	-67	-67	-67	-67	-66	-66	-68	-95	66	96	99	100					
1.20e+01	20.50	-57	-57	-57	-57	-56	-56	-56	-58	-90	55	92	96	99	100				
1.40e+01	23.70	-40	-40	-40	-40	-39	-39	-39	-41	-81	38	83	90	95	98	100			
1.60e+01	27.90	-13	-13	-13	-13	-12	-12	-12	-14	-61	11	64	74	82	89	96	100		
1.80e+01	35.40	20	20	20	20	21	21	21	19	-32	-22	35	48	59	69	82	94	100	
2.00e+01	49.80	49	49	49	49	50	50	50	48	-1	-51	5	19	31	44	60	80	95	100

Table 16: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{238}\text{U}$  at 2 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	7.19	100																	
1.00e-07	7.19	100	100																
1.00e-06	7.20	100	100	100															
1.00e-05	7.22	100	100	100	100														
1.00e-04	7.31	100	100	100	100	100													
1.00e-03	7.49	100	100	100	100	100	100												
1.00e-02	7.50	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e-01	7.19	100	100	100	100	100	100	100	100										
1.00e+00	2.13	87	87	87	87	87	87	86	86	87	100								
2.50e+00	2.27	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-84	100							
5.00e+00	6.21	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-83	-100	79	100							
7.50e+00	10.90	-71	-71	-71	-71	-71	-71	-71	-72	-97	68	99	100						
1.00e+01	15.50	-60	-60	-60	-60	-60	-59	-59	-61	-92	56	95	99	100					
1.20e+01	18.90	-49	-49	-49	-49	-48	-48	-48	-50	-86	45	90	96	99	100				
1.40e+01	22.50	-33	-33	-33	-33	-32	-32	-32	-34	-75	28	81	89	95	98	100			
1.60e+01	26.80	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-10	-58	5	64	76	85	91	97	100		
1.80e+01	33.70	18	18	18	18	19	19	19	17	-33	-23	41	56	68	77	87	96	100	
2.00e+01	45.50	44	44	44	44	44	45	45	43	-6	-48	15	31	45	57	70	85	96	100

---

Table 17: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{238}\text{U}$  at 5 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	7.45	100																	
1.00e-07	7.45	100	100																
1.00e-06	7.44	100	100	100															
1.00e-05	7.45	100	100	100	100														
1.00e-04	7.54	100	100	100	100	100													
1.00e-03	7.71	100	100	100	100	100	100												
1.00e-02	7.72	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e-01	7.40	100	100	100	100	100	100	100	100										
1.00e+00	2.16	85	85	85	84	84	84	84	84	85	100								
2.50e+00	2.36	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-76	100								
5.00e+00	5.53	-80	-80	-80	-80	-79	-79	-79	-80	-100	70	100							
7.50e+00	9.59	-61	-61	-61	-61	-61	-60	-60	-62	-94	49	96	100						
1.00e+01	13.80	-43	-43	-43	-43	-43	-42	-42	-44	-85	30	89	98	100					
1.20e+01	17.50	-31	-31	-31	-31	-30	-30	-30	-31	-77	17	82	94	99	100				
1.40e+01	21.60	-18	-18	-18	-18	-17	-17	-17	-18	-67	4	74	89	96	99	100			
1.60e+01	26.30	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-3	-55	-11	63	81	91	96	99	100		
1.80e+01	32.20	14	14	14	14	14	15	15	13	-41	-28	49	70	83	90	95	99	100	
2.00e+01	40.20	30	30	30	30	30	31	31	30	-25	-43	34	57	73	81	88	94	98	100

---



Table 20: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of <sup>239</sup>Pu at thermal energy.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																		
1.00e-08	6.94	100																		
1.00e-07	6.94	100	100																	
1.00e-06	6.94	100	100	100																
1.00e-05	6.96	100	100	100	100															
1.00e-04	7.01	100	100	100	100	100														
1.00e-03	7.15	100	100	100	100	100	100													
1.00e-02	7.18	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e-01	7.05	100	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e+00	2.23	89	89	89	89	89	89	88	88	89	100									
2.50e+00	2.19	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-81	100								
5.00e+00	5.38	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-99	73	100							
7.50e+00	9.17	-63	-63	-63	-63	-63	-63	-62	-63	-92	51	96	100							
1.00e+01	13.20	-45	-45	-45	-45	-45	-44	-44	-45	-81	32	88	98	100						
1.20e+01	16.60	-32	-32	-32	-32	-32	-31	-31	-32	-72	18	80	94	99	100					
1.40e+01	20.30	-18	-18	-18	-18	-17	-17	-17	-18	-61	3	70	87	96	99	100				
1.60e+01	24.70	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-2	-48	-12	58	79	90	95	99	100			
1.80e+01	30.30	15	15	15	15	15	16	16	14	-32	-29	44	67	82	89	95	98	100		
2.00e+01	37.70	32	32	32	32	32	32	32	31	-16	-45	28	54	70	80	88	94	98	100	

---

Table 21: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of <sup>239</sup>Pu at 1 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																			
1.00e-08	7.03	100																			
1.00e-07	7.03	100	100																		
1.00e-06	7.03	100	100	100																	
1.00e-05	7.04	100	100	100	100																
1.00e-04	7.09	100	100	100	100	100															
1.00e-03	7.24	100	100	100	100	100	100														
1.00e-02	7.27	100	100	100	100	100	100	100													
1.00e-01	7.14	100	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e+00	2.24	88	88	88	88	88	88	88	88	88	100										
2.50e+00	2.30	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-98	-79	100									
5.00e+00	5.41	-83	-83	-83	-83	-83	-82	-82	-83	-99	72	100									
7.50e+00	9.13	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-92	48	95	100								
1.00e+01	13.10	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-43	-80	27	86	97	100							
1.20e+01	16.60	-29	-29	-29	-29	-29	-28	-28	-29	-71	13	78	93	99	100						
1.40e+01	20.40	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-14	-16	-60	-1	68	87	96	99	100					
1.60e+01	25.00	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-48	-16	57	79	91	96	99	100				
1.80e+01	30.40	14	14	14	14	14	15	15	14	-34	-30	44	69	84	91	96	99	100			
2.00e+01	37.40	29	29	29	29	29	30	30	29	-20	-44	30	57	74	83	90	95	99	100		

---

Table 22: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of <sup>239</sup>Pu at 2 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																		
1.00e-08	6.83	100																		
1.00e-07	6.83	100	100																	
1.00e-06	6.83	100	100	100																
1.00e-05	6.83	100	100	100	100															
1.00e-04	6.88	100	100	100	100	100														
1.00e-03	7.02	100	100	100	100	100	100													
1.00e-02	7.05	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e-01	6.94	100	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e+00	2.27	89	89	89	89	89	89	89	89	89										
2.50e+00	2.05	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-98	-79	100								
5.00e+00	4.98	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-99	69	100								
7.50e+00	8.55	-59	-59	-59	-59	-59	-59	-59	-58	-89	43	95	100							
1.00e+01	12.40	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-38	-38	-39	-76	21	85	97	100					
1.20e+01	15.90	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-26	-66	7	77	93	99	100					
1.40e+01	19.80	-13	-13	-13	-13	-13	-12	-12	-13	-56	-6	68	88	96	99	100				
1.60e+01	24.00	0	0	0	0	0	1	1	-0	-45	-19	58	80	92	97	99	100			
1.80e+01	29.20	13	13	13	13	13	14	14	13	-33	-32	47	72	86	92	97	99	100		
2.00e+01	35.50	26	26	26	26	26	27	27	26	-20	-44	35	62	79	87	92	96	99	100	

---

Table 23: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of <sup>239</sup>Pu at 5 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																			
1.00e-08	6.70	100																			
1.00e-07	6.70	100	100																		
1.00e-06	6.70	100	100	100																	
1.00e-05	6.70	100	100	100	100																
1.00e-04	6.72	100	100	100	100	100															
1.00e-03	6.83	100	100	100	100	100	100														
1.00e-02	6.83	100	100	100	100	100	100	100													
1.00e-01	6.76	100	100	100	100	100	100	100	100												
1.00e+00	2.31	89	89	89	89	89	89	89	89	89											
2.50e+00	1.96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-74	100										
5.00e+00	4.59	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-99	63	100									
7.50e+00	7.95	-56	-56	-56	-56	-56	-56	-56	-56	-88	32	94	100								
1.00e+01	11.80	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-73	7	82	97	100							
1.20e+01	15.30	-20	-20	-20	-20	-20	-19	-19	-20	-62	-7	73	92	99	100						
1.40e+01	19.10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-9	-53	-18	65	87	97	99	100					
1.60e+01	23.40	2	2	2	2	2	2	2	2	-44	-28	57	82	94	98	99	100				
1.80e+01	28.10	11	11	11	11	11	12	12	11	-35	-37	48	76	90	95	98	100	100			
2.00e+01	33.60	21	21	21	21	21	21	21	21	20	-26	40	69	85	92	96	98	100	100		

---

Table 24: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{239}\text{Pu}$  at 14 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	10.80	100																	
1.00e-07	10.80	100	100																
1.00e-06	10.80	100	100	100															
1.00e-05	10.60	100	100	100	100														
1.00e-04	10.10	100	100	100	100	100													
1.00e-03	9.03	100	100	100	100	100	100												
1.00e-02	8.71	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e-01	6.28	97	97	97	97	98	98	98	99	100									
1.00e+00	2.62	16	16	16	17	18	22	23	38	100									
2.50e+00	1.39	-89	-89	-89	-89	-88	-86	-86	-76	31	100								
5.00e+00	4.95	-7	-7	-7	-7	-9	-12	-14	-29	-100	-39	100							
7.50e+00	10.80	4	4	4	4	2	-2	-3	-18	-98	-49	99	100						
1.00e+01	16.90	7	7	7	6	5	1	-0	-16	-97	-52	99	100	100					
1.20e+01	21.60	7	7	7	6	5	1	-0	-16	-97	-52	99	100	100	100				
1.40e+01	26.50	6	6	6	5	4	0	-1	-17	-98	-51	99	100	100	100	100			
1.60e+01	31.40	4	4	4	4	2	-2	-3	-18	-98	-49	99	100	100	100	100	100		
1.80e+01	36.10	3	3	3	2	1	-3	-4	-20	-98	-48	100	100	100	100	100	100	100	
2.00e+01	41.00	2	2	1	1	-1	-4	-6	-21	-98	-47	100	100	100	100	100	100	100	100

---

Table 25: Covariance matrix of the fission neutron spectrum of  $^{239}\text{Pu}$  at 20 MeV.

---

Energy [MeV]	Error [%]	Correlation [%]																	
1.00e-08	9.51	100																	
1.00e-07	9.42	100	100																
1.00e-06	9.42	100	100	100															
1.00e-05	9.23	100	100	100	100														
1.00e-04	8.78	100	100	100	100	100													
1.00e-03	7.82	100	100	100	100	100	100												
1.00e-02	7.53	100	100	100	100	100	100	100											
1.00e-01	5.46	96	96	96	96	97	98	98	98	100									
1.00e+00	2.58	31	31	32	32	34	38	40	56	100									
2.50e+00	0.99	-81	-81	-81	-81	-80	-77	-76	-63	30	100								
5.00e+00	4.54	-24	-24	-24	-25	-27	-31	-33	-50	-100	-36	100							
7.50e+00	9.60	-13	-13	-13	-13	-15	-20	-21	-39	-98	-47	99	100						
1.00e+01	14.80	-6	-6	-6	-7	-9	-13	-15	-32	-97	-53	98	100	100					
1.20e+01	18.90	-2	-2	-2	-2	-4	-9	-11	-29	-95	-57	97	99	100	100				
1.40e+01	23.20	2	2	2	1	-1	-5	-7	-25	-94	-60	96	99	100	100	100			
1.60e+01	27.30	6	6	5	5	3	-2	-3	-22	-93	-62	95	98	99	100	100	100		
1.80e+01	31.60	10	10	9	9	7	2	1	-18	-91	-66	94	98	99	99	100	100	100	
2.00e+01	35.90	14	13	13	13	11	6	5	-14	-90	-68	93	96	98	99	99	100	100	100

---



Table 26: Fission spectrum averaged cross sections. The fourth column shows the averaged cross sections obtained with the covariance in Table 8, and the fifth column shows the case in which the off-diagonal elements of the covariance matrix were ignored.

Reaction	Experimental Data		JENDL-3.2	Adjusted Spectrum	
	[mb]			with correlation	without correlation
			[mb]	[mb]	[mb]
$^{27}\text{Al}(n,p)$	3.81	$\pm 0.209$	3.904	4.114	4.037
$^{46}\text{Ti}(n,p)$	11.7	$\pm 0.695$	10.47	11.00	10.75
$^{47}\text{Ti}(n,p)$	18.15	$\pm 1.07$	23.79	24.33	23.62
$^{48}\text{Ti}(n,p)$	0.302	$\pm 0.0193$	0.2258	0.2463	0.2462
$^{54}\text{Fe}(n,p)$	76.6	$\pm 5.01$	75.62	77.80	75.57
$^{56}\text{Fe}(n,p)$	1.034	$\pm 0.0655$	0.9561	1.035	1.038
$^{58}\text{Ni}(n,p)$	105.0	$\pm 6.02$	101.0	103.6	100.7
$^{90}\text{Zr}(n,2n)$	0.08599	$\pm 0.0065$	0.07707	0.09455	0.08364

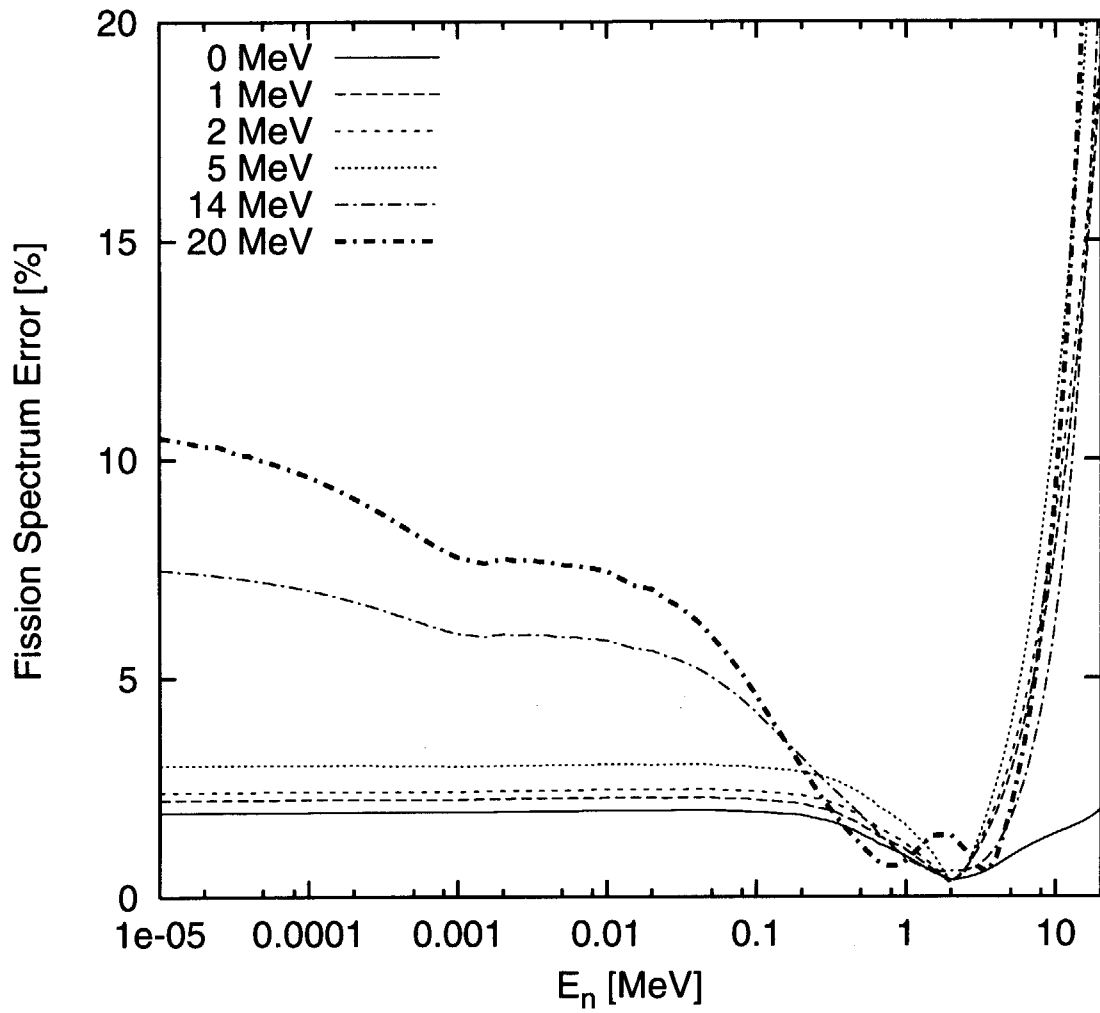


Fig. 1: Uncertainties in the fission neutron spectrum of <sup>233</sup>U evaluated from experimental data.

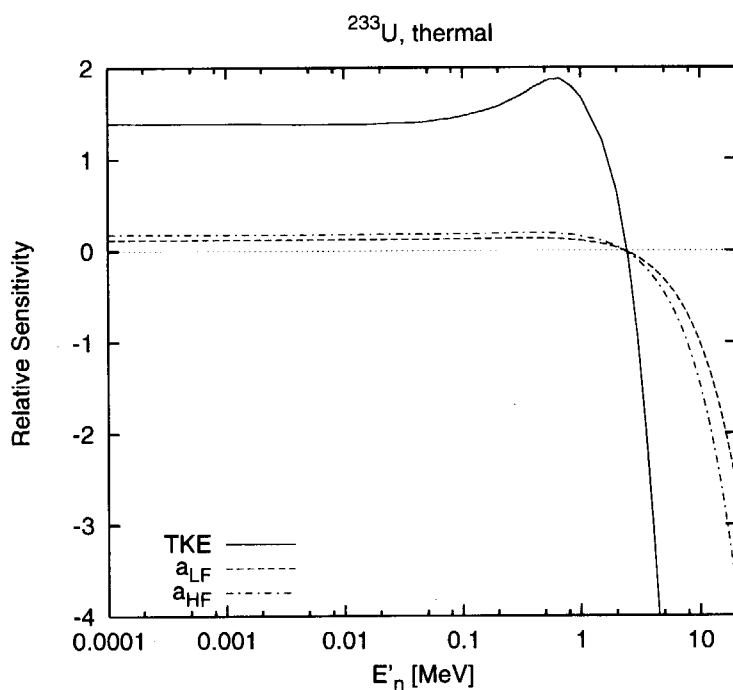


Fig. 2: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at thermal energy to the level density parameters and total kinetic energy.

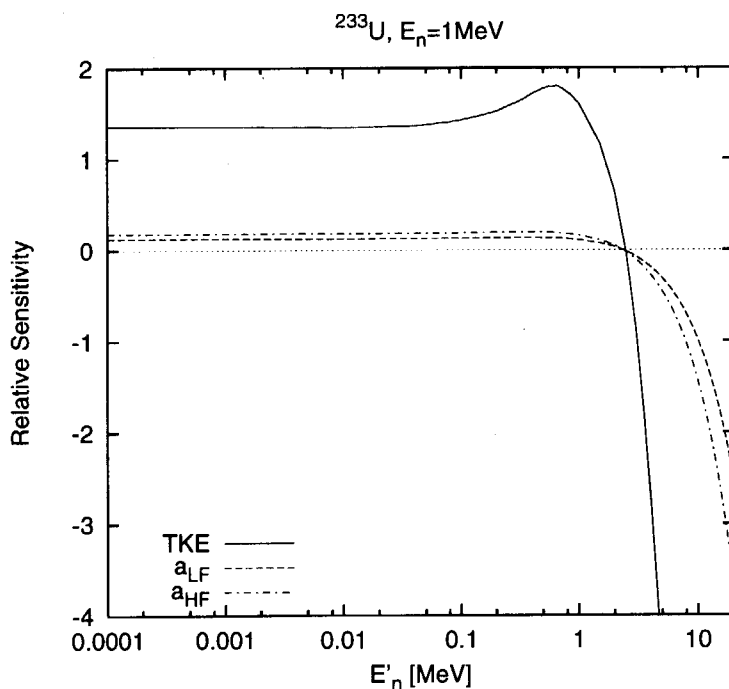


Fig. 3: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 1 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

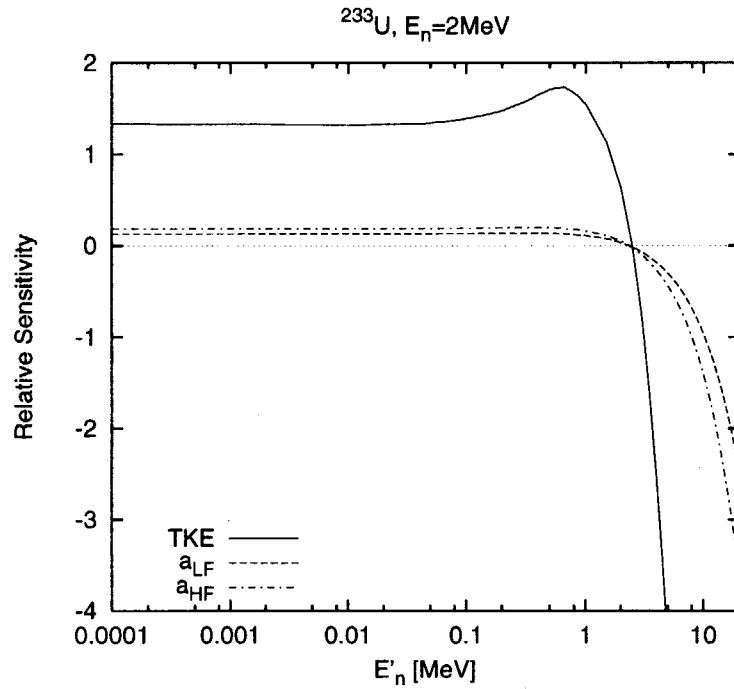


Fig. 4: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 2 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

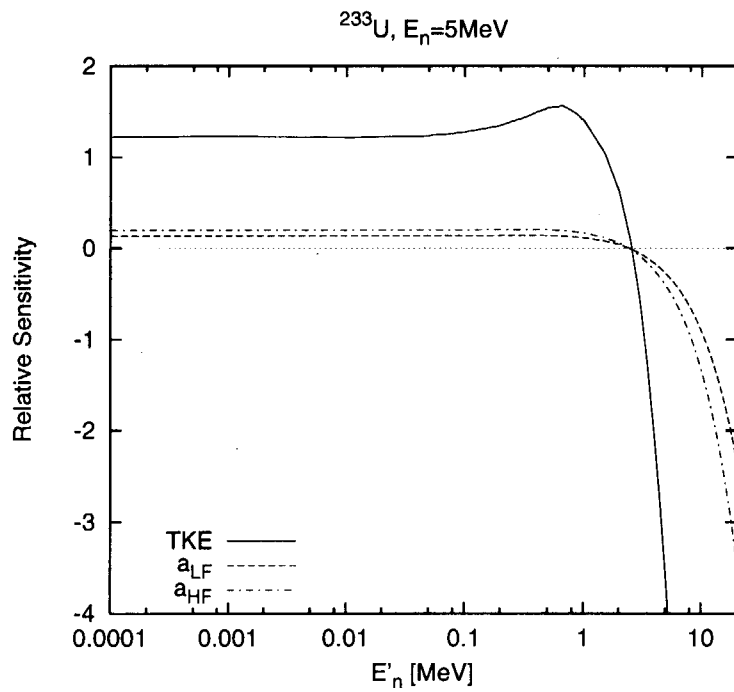


Fig. 5: Relative sensitivities of fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 5 MeV to the the level density parameters and total kinetic energy.

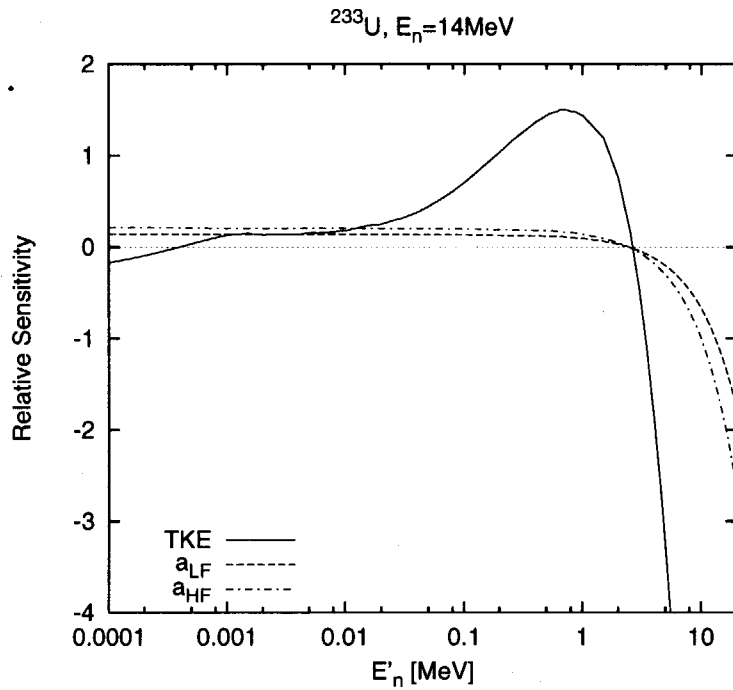


Fig. 6: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 14 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

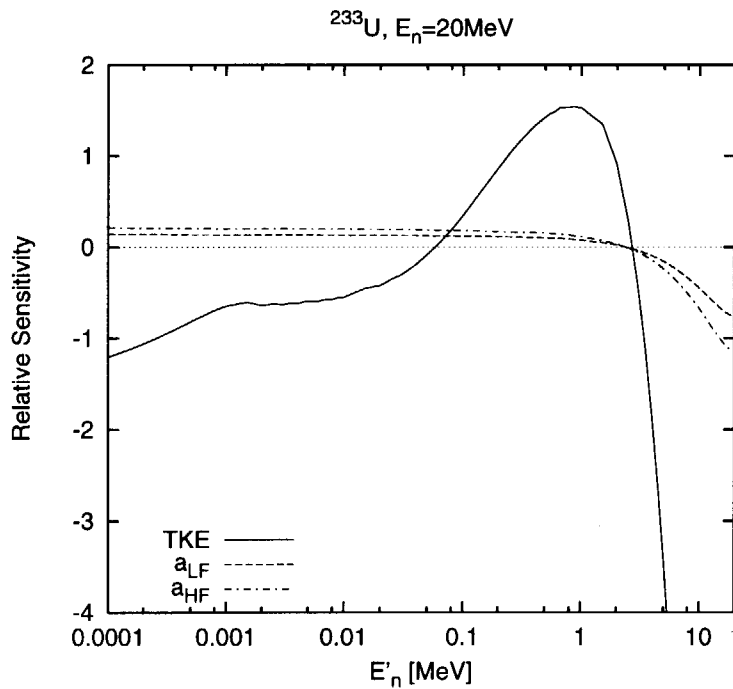


Fig. 7: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$  at 20 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

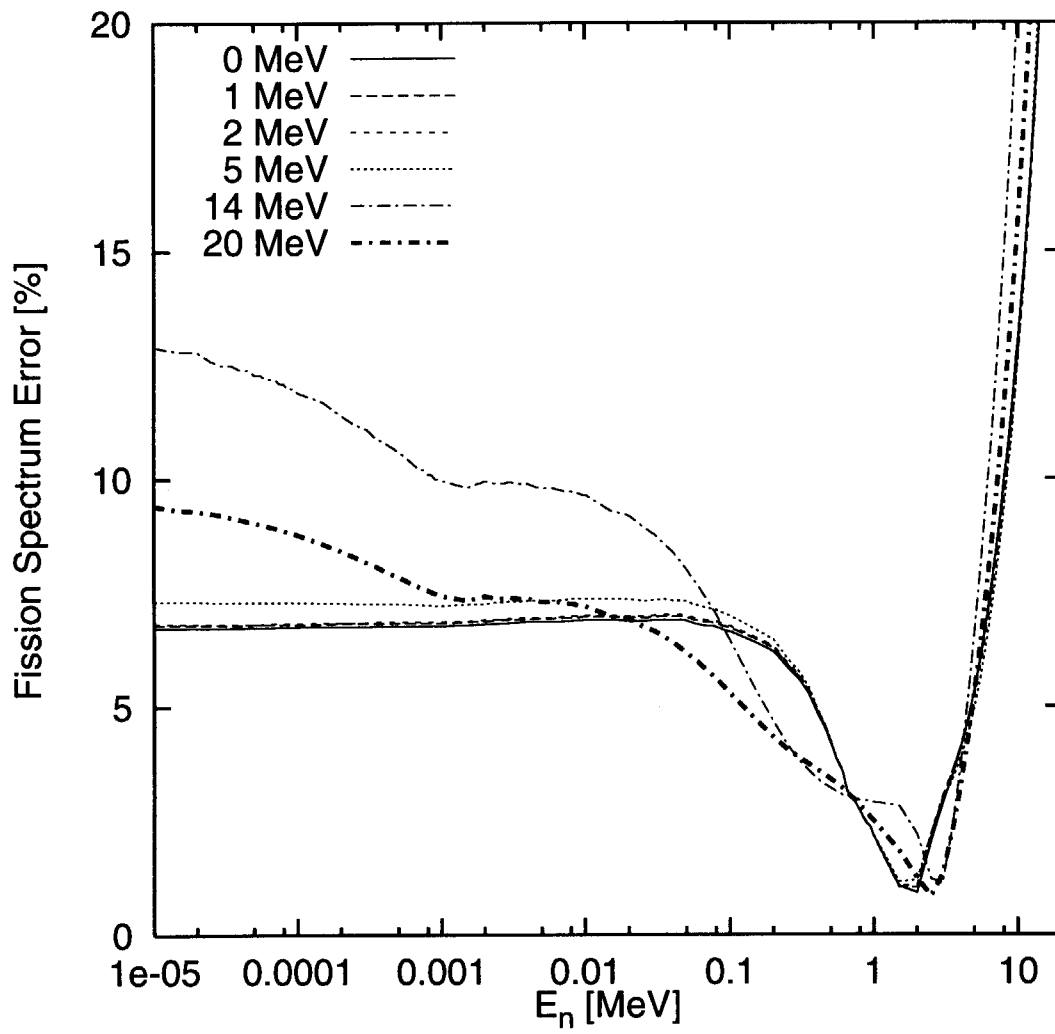


Fig. 8: Uncertainties in the fission neutron spectrum of  $^{233}\text{U}$

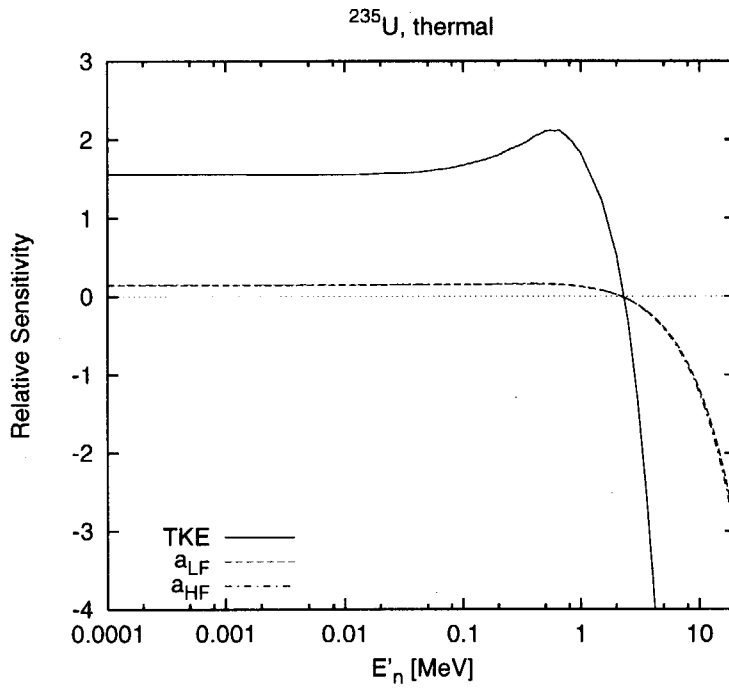


Fig. 9: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at thermal energy to the level density parameters and total kinetic energy.

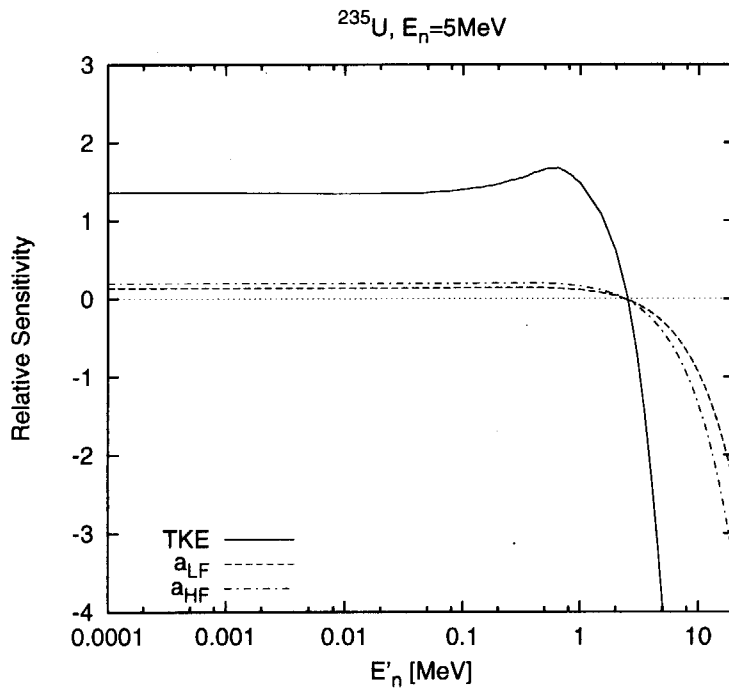


Fig. 10: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at 5 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

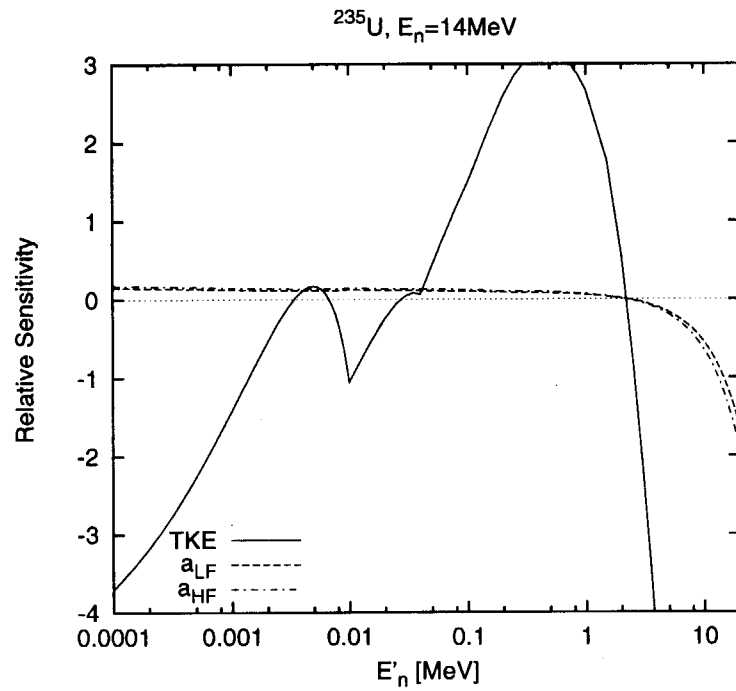


Fig. 11: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at 14 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

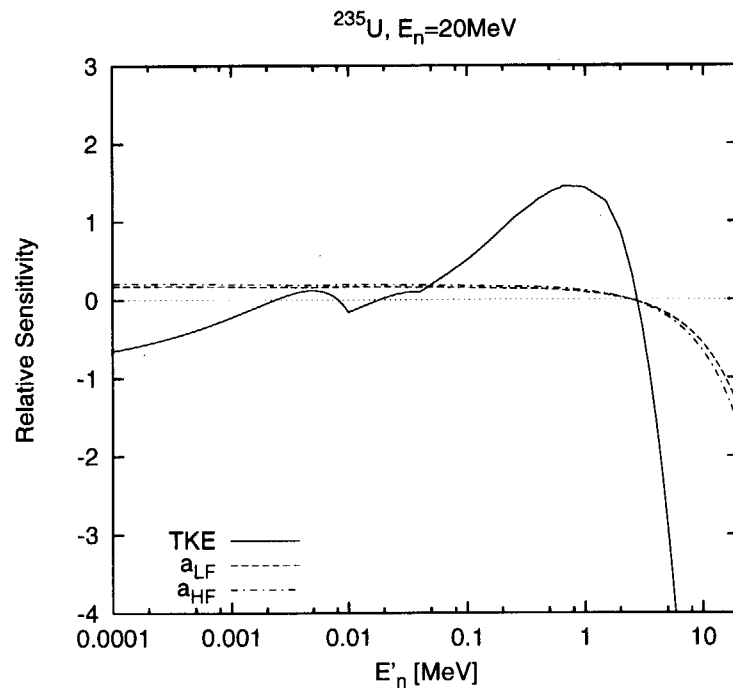


Fig. 12: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$  at 20 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.



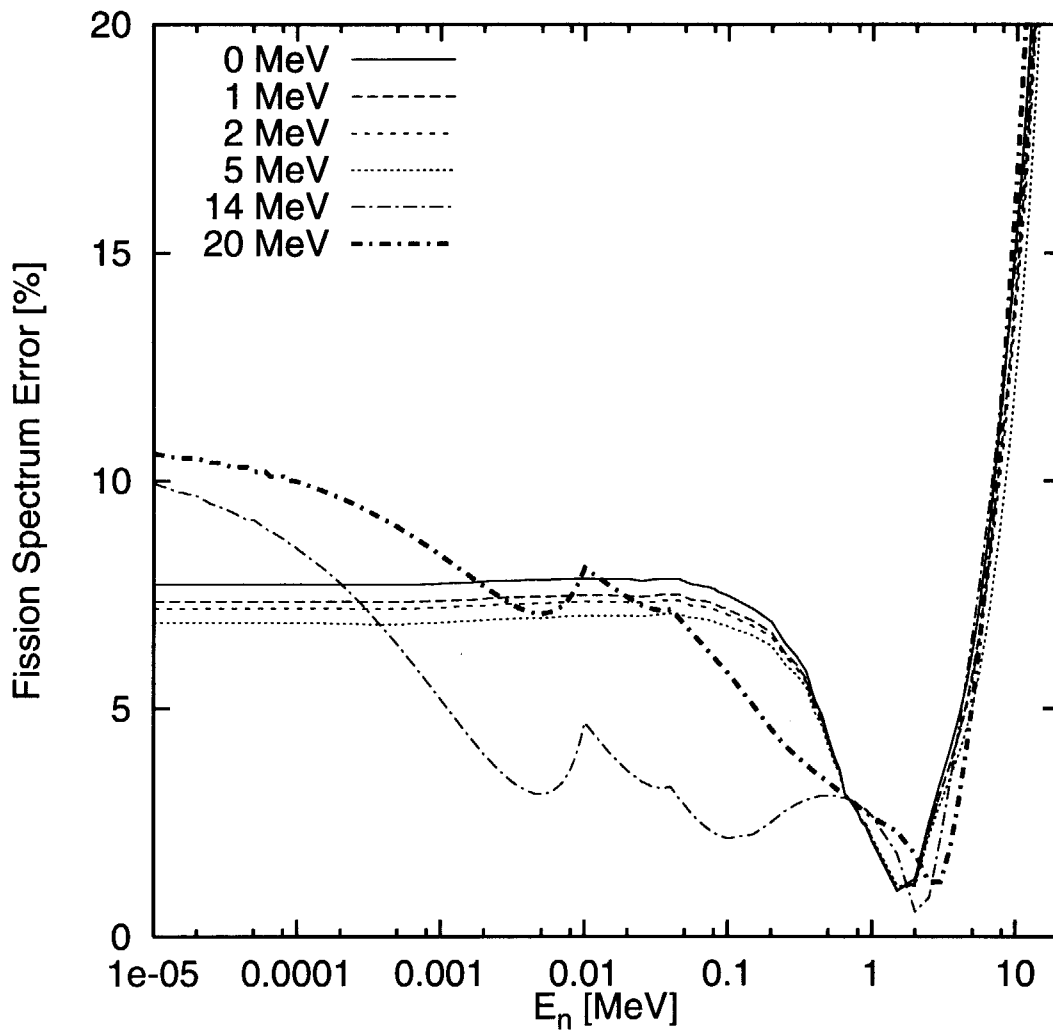


Fig. 13: Uncertainties in the fission neutron spectrum of  $^{235}\text{U}$

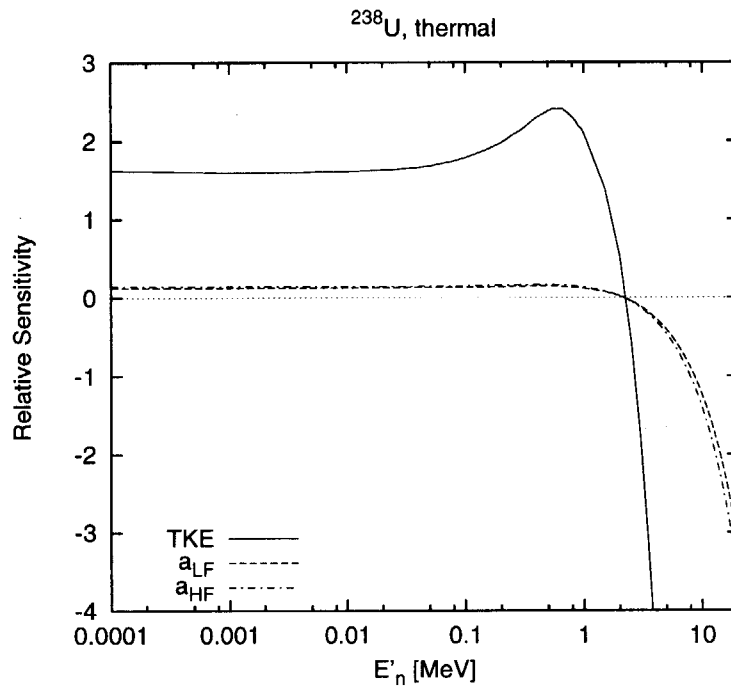


Fig. 14: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{238}\text{U}$  at thermal energy to the level density parameters and total kinetic energy.

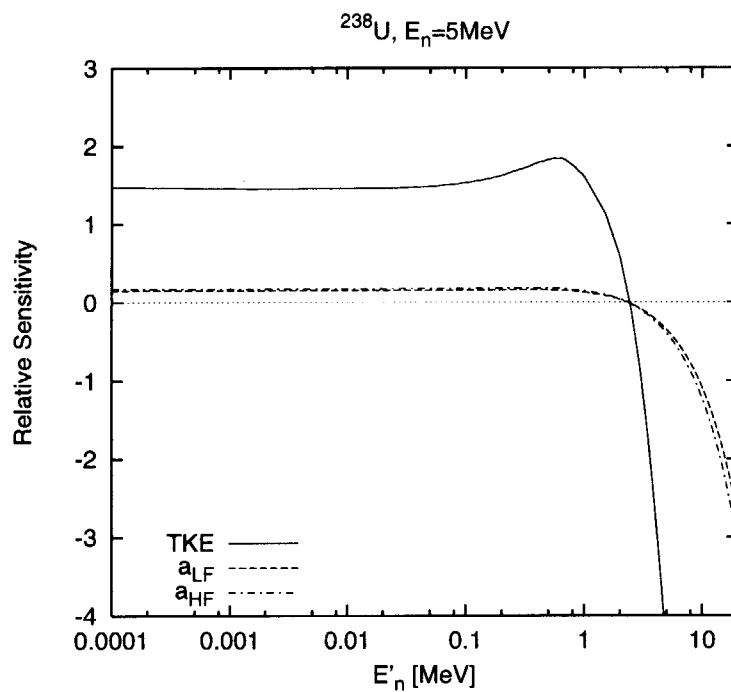


Fig. 15: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{238}\text{U}$  at 5 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

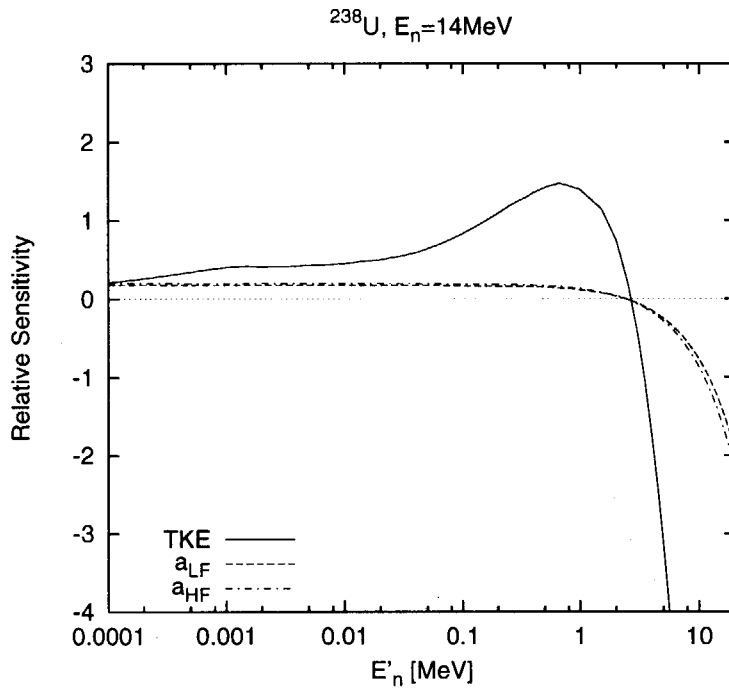


Fig. 16: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{238}\text{U}$  at 14 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

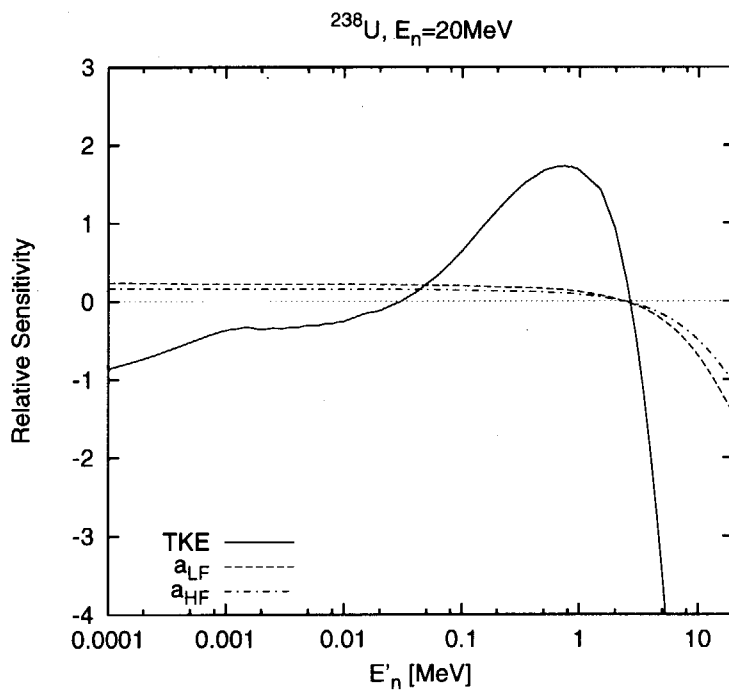


Fig. 17: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{238}\text{U}$  at 20 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

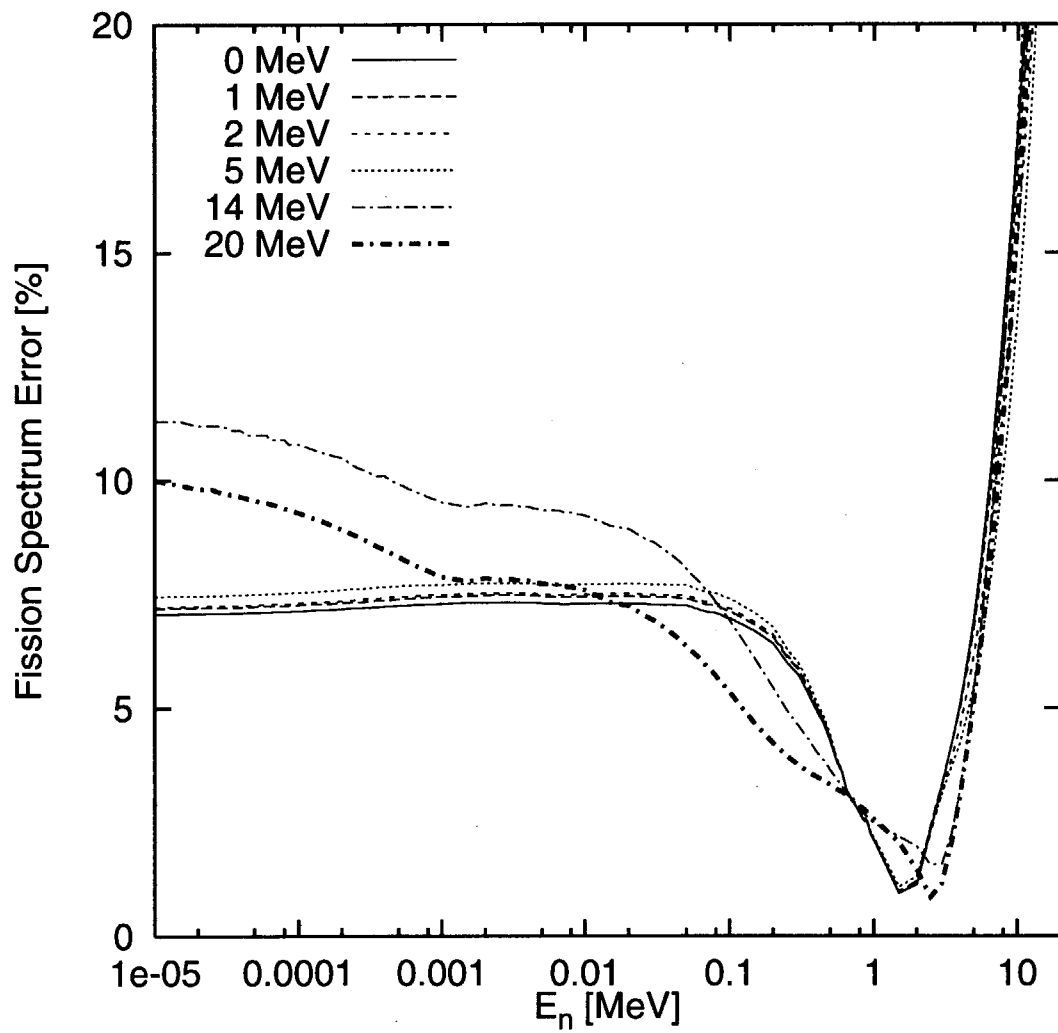


Fig. 18: Uncertainties in the fission neutron spectrum of  $^{238}\text{U}$

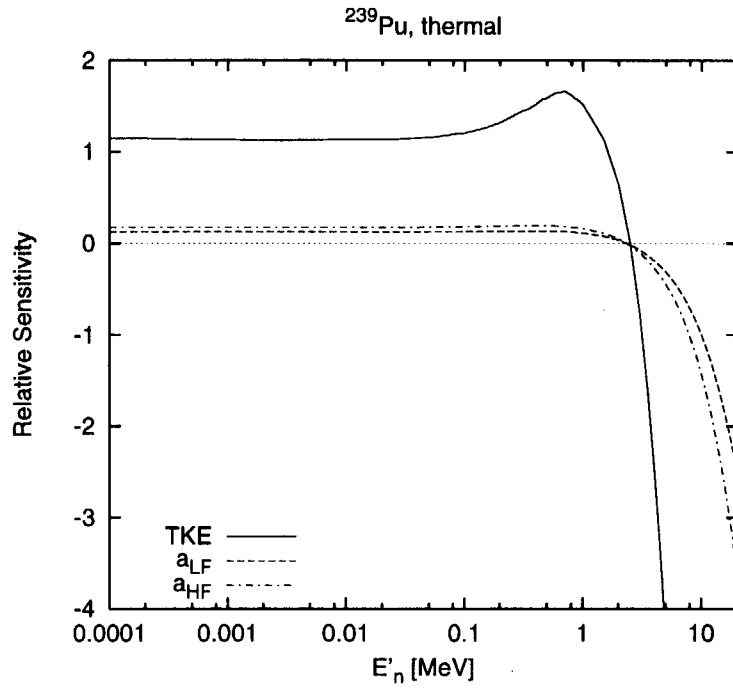


Fig. 19: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{239}\text{Pu}$  at thermal energy to the level density parameters and total kinetic energy.

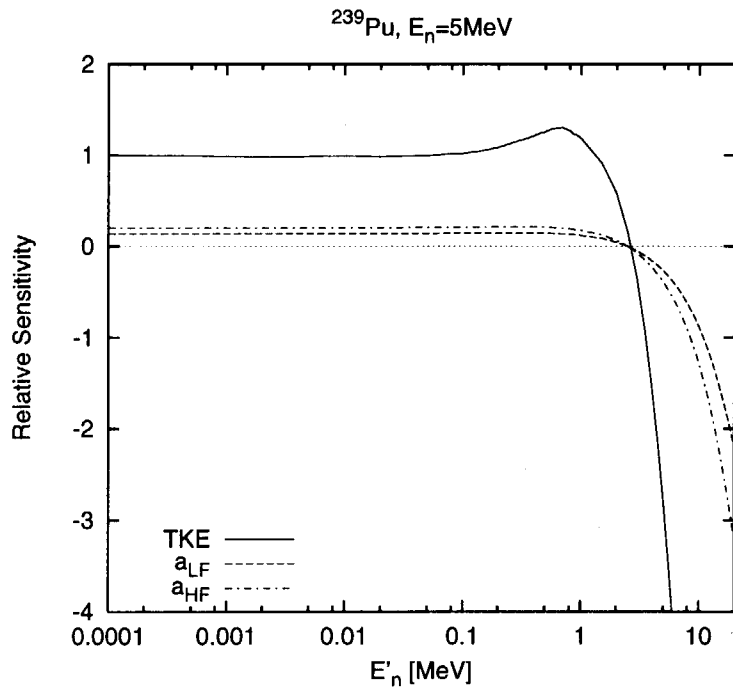


Fig. 20: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{239}\text{Pu}$  at 5 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

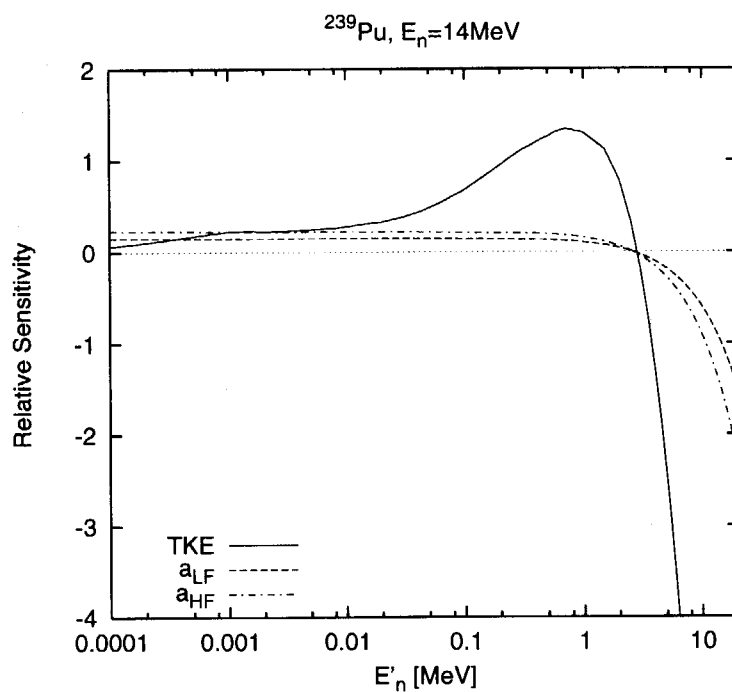


Fig. 21: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{239}\text{Pu}$  at 14 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

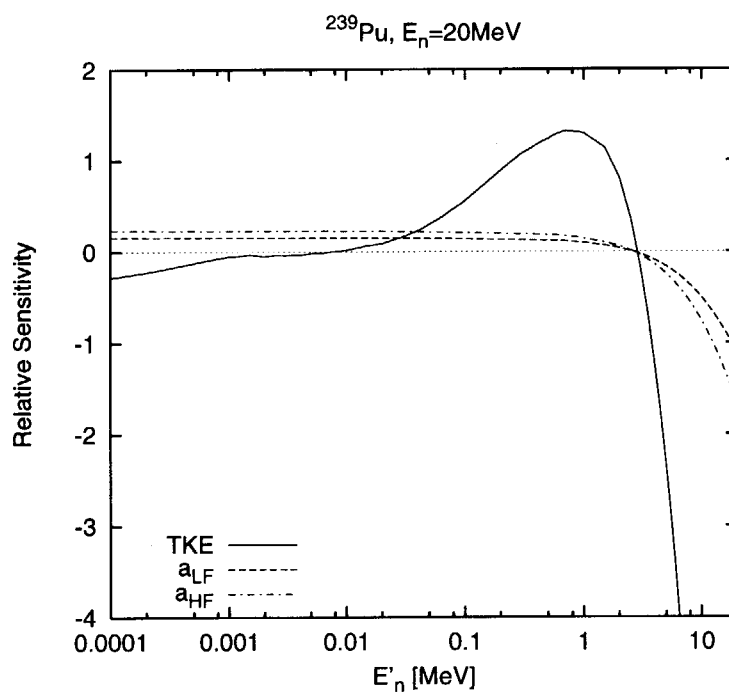


Fig. 22: Relative sensitivities of the fission neutron spectrum of  $^{239}\text{Pu}$  at 20 MeV to the level density parameters and total kinetic energy.

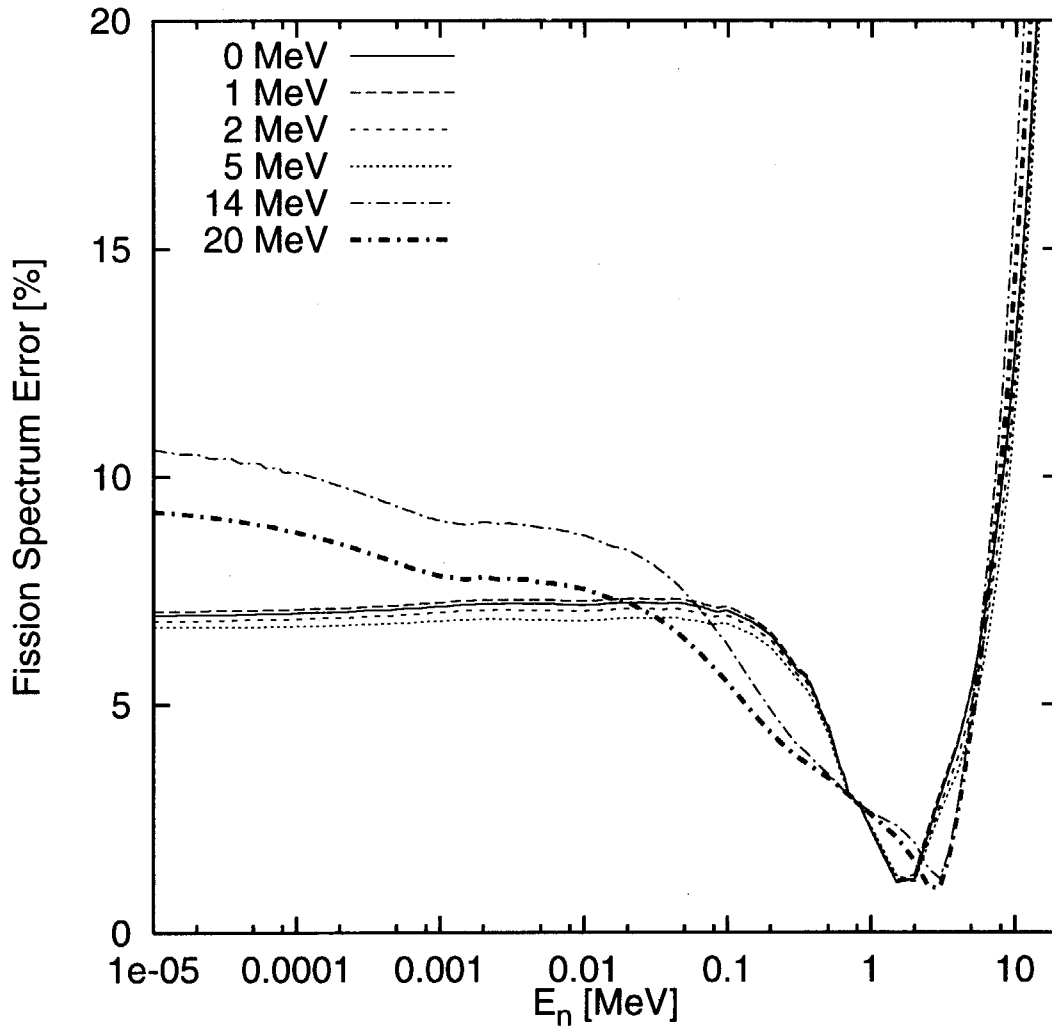


Fig. 23: Uncertainties in the fission neutron spectrum of  $^{239}\text{Pu}$

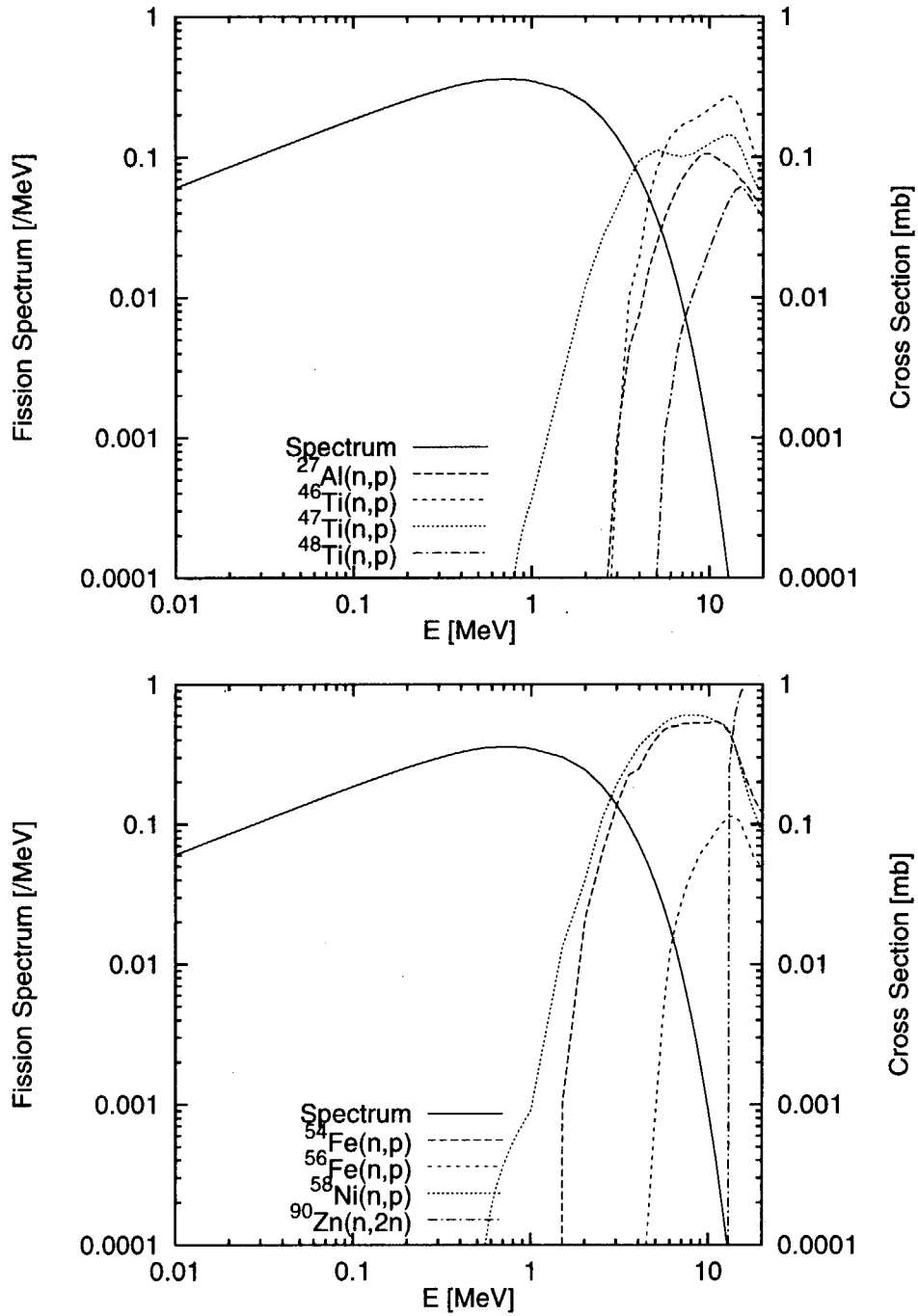


Fig. 24: Fission spectrum of  $^{235}\text{U}$ , and reaction cross sections of  $^{27}\text{Al}(n,p)$ ,  $^{46,47,48}\text{Ti}(n,p)$ ,  $^{54,56}\text{Fe}(n,p)$ ,  $^{58}\text{Ni}(n,p)$   $^{90}\text{Zr}(n,2n)$  in JENDL-3.2.



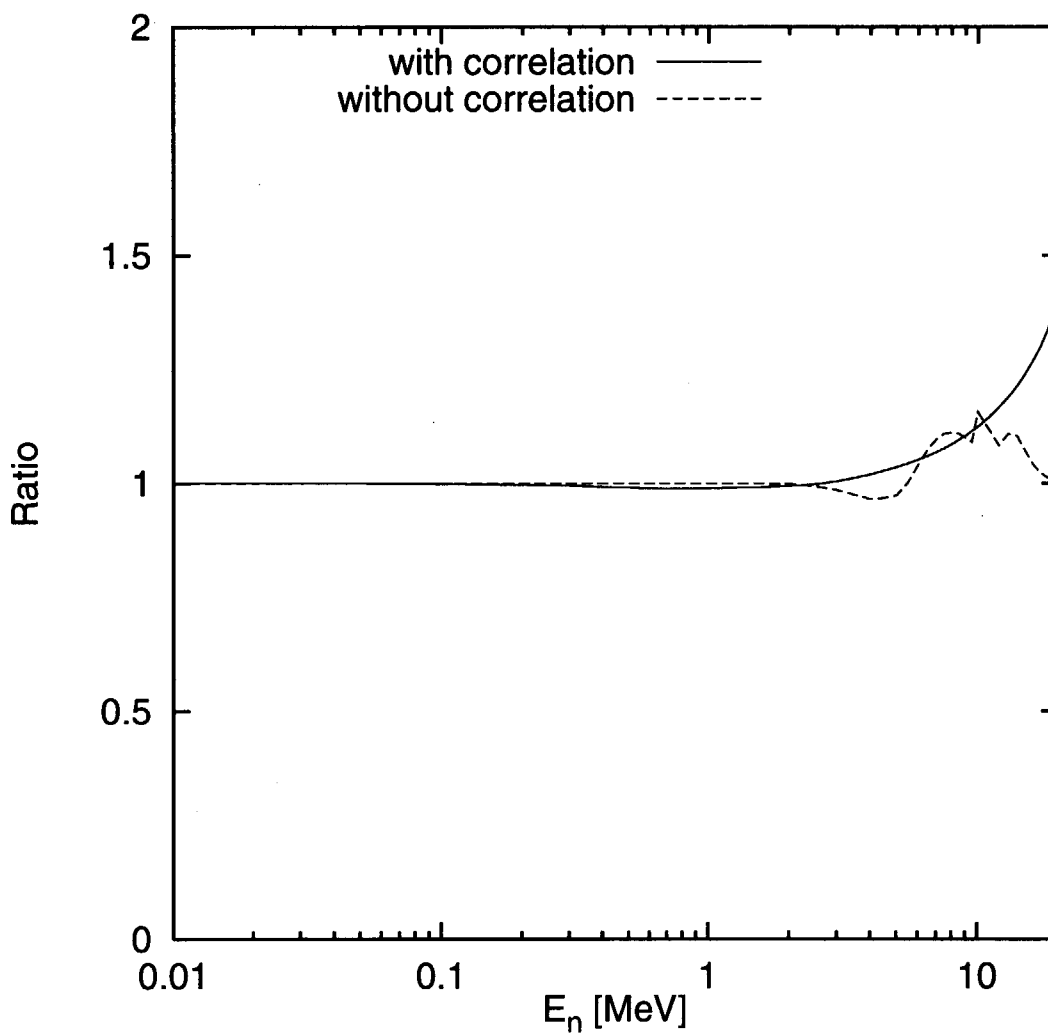


Fig. 25: Ratio of the adjusted fission spectra to the evaluated spectrum of  $^{235}\text{U}$ . The solid line was obtained with the evaluated covariance, and the dashed line corresponds to the case in which the off-diagonal elements of the covariance matrix were ignored.

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV=1.60218×10<sup>-19</sup>J

1 u=1.66054×10<sup>-27</sup>kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å=0.1nm=10<sup>-10</sup>m

1 b=100fm<sup>2</sup>=10<sup>-28</sup>m<sup>2</sup>

1 bar=0.1MPa=10<sup>5</sup>Pa

1 Gal=1cm/s<sup>2</sup>=10<sup>-2</sup>m/s<sup>2</sup>

1 Ci=3.7×10<sup>10</sup>Bq

1 R=2.58×10<sup>-4</sup>C/kg

1 rad=1cGy=10<sup>-2</sup>Gy

1 rem=1cSv=10<sup>-2</sup>Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1 eV および1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- E C閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換 算 表

力	N (=10 <sup>-7</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s(N·s/m<sup>2</sup>)=10 P(ポアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1 m<sup>2</sup>/s=10<sup>4</sup>St(ストークス)(cm<sup>2</sup>/s)

圧	MPa(-10bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	75.0062×10 <sup>3</sup>	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10 <sup>-1</sup>	1.35951×10 <sup>-3</sup>	1.31579×10 <sup>-3</sup>	1	1.93368×10 <sup>-2</sup>
	6.89476×10 <sup>-3</sup>	7.03070×10 <sup>-2</sup>	6.80460×10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778×10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813×10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150×10 <sup>18</sup>
	9.80665	1	2.72407×10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487×10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082×10 <sup>19</sup>
	3.6×10 <sup>6</sup>	3.67098×10 <sup>5</sup>	1	8.59999×10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522×10 <sup>6</sup>	2.24694×10 <sup>25</sup>
	4.18605	0.426858	1.16279×10 <sup>-6</sup>	1	3.96759×10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272×10 <sup>19</sup>
	1055.06	107.586	2.93072×10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515×10 <sup>21</sup>
	1.35582	0.138255	3.76616×10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506×10 <sup>-3</sup>	1	8.46233×10 <sup>18</sup>
	1.60218×10 <sup>19</sup>	1.63377×10 <sup>20</sup>	4.45050×10 <sup>26</sup>	3.82743×10 <sup>20</sup>	1.51857×10 <sup>22</sup>	1.18171×10 <sup>19</sup>	1

1 cal= 4.18605J (計量法)  
 = 4.184J (熱化学)  
 = 4.1855J (15°C)  
 = 4.1868J (国際蒸気表)  
 仕事率 1 PS(仏馬力)  
 = 75 kgf·m/s  
 = 735.499W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270×10 <sup>-11</sup>
	3.7×10 <sup>10</sup>	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10 <sup>-4</sup>	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

