

JAERI-memo

日 本 原 子 力 研 究 所
Japan Atomic Energy Research Institute



公開 JAERI-memo

この memo は、日本原子力研究所でなされた研究の、所内における検討と利用のために作成された報告書を、とりあえず公開するもので、研究所としての最終報告ではありません。複製・入手あるいは引用・転載は、茨城県東海村日本原子力研究所技術情報部に問い合わせてください。

JAERI-memo

The document contains the results of research works carried out in JAERI. It was prepared for use by JAERI personnel.

It is published temporarily, considering its use by the public; it is not a formal report from JAERI. Requests for the additional copies, or its reproduction, and for its citation and transmission in the literature, may be made to the Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Ibaraki-ken.

JAERI-M

4503

燃焼にともなう核分裂生成核種の濃度変化
と F. P. 核種の取扱い

1971年7月

長谷川 明・桂木 学・東稔達三

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

燃焼にともなう核分裂生成核種の濃度変化とF.P.核種の取扱い

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部核設計研究室

長谷川 明, 桂 木 学

日本原子力研究所動力炉開発管理室高速炉設計班

東 稔 達 三

(1971年 7月受理)

要 旨 高速炉の長期燃焼特性解析で重要となってくるFission Product(F.P.)の (n, γ) capture の実効断面積(群定数形式)の燃焼による時間依存性が崩壊系列の消滅によって調べられた。断面積はUKNDL-File, Yield dataはMeek and Riderによる recommended value を採用した。UKNDL File に存在しない核種の断面積はUKNDL File 中の核種の断面積の偶奇性から推定した断面積を代用して作成された(Pu-239について)。それらの結果decay chain内のFP核種のnumber density 変化による全FP実効 (n, γ) 断面積の時間依存性はspectrum の軟かい3000 μ 炉心の大型炉においても5%の程度であることが判明した。

とりあげられたyield dataは ^{239}Pu fast fission yieldを中心に ^{238}U , ^{235}U の fast fission yield, ^{238}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu の thermal fission yieldである。作成された多群定数としての実効断面積の群構造はJAERI FAST 70群のものと同じである。

Treatment of the Fission Products Cross Sections for Predicting
the Burn-up Characteristics of a Fast Reactor

Akira Hasegawa and Satoru Katsuragi

Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

Tastuzo Tone

Office of Power Reactor Projects, JAERI

(Received July 1971)

Summary The time dependence (n, γ) reaction group cross sections of fission products, important for the long-period burn-up analysis, has been studied for a few fissionable nuclides, by considering the variation in weighting number densities with burn-up.

The capture data in UKNDL File and yield data recommended by Meek and Rider were used. For the cross sections not available in UKNDL File, these were obtained from the statistics and odd-even characteristics in UKNDL File.

The time dependence of F.P. group cross sections due to the variation of number densities during the burn-up is not important, except in the reactors with soft core spectrum; the change is less than 5%.

The yield data treated are for the following species; Pu-239 and U-235 (both thermal and fast neutron fission energy), U-238 (fast fission energy), and Pu-241 (thermal fission energy).

The group structure used is the same as in the 70-group JAERI-FAST set.

目 次

1. 序 論	1
2. FP各核種の時間による濃度変化	3
2.1 計算モデル	3
2.2 FP各核種の密度変化の追跡とそれからの結論	6
2.3 chain の実効断面積の時間的变化	7
3. UKNDL File 中のFP (n, γ) cross section の偶奇性	39
3.1 equal weight にもとづく78核種断面積の偶奇性	39
3.2 yield weight にもとづく78核種断面積の偶奇性	39
3.3 energy group 別にみた各FP核種の断面積の偶奇性	40
A 一般的傾向	40
B energy group 別の傾向	40
3.4 断面積の偶奇性について	41
4. 全FPの実効断面積(群定数形式)の時間依存性	56
4.1 UKNDL File に含まれる78核種のみによる解析	56
A ²³⁹ Pu Fast Fission Yield による各time step毎の 全FP実効断面積	56
B ²³⁹ Pu, ²³⁸ U, ²³⁵ U (Fast Fission Yield): ²⁴¹ Pu (Thermal Fission Yield)の各fissionable核 種のweighting yield の差による全FP実効断面積の差	57
C thermal neutron fission及びfast neutron fission によるyield 分布の違いがFPの実効断面積にもたらす差 異(²³⁹ Pu, ²³⁸ Uについて)	58
D 高速炉のenergy spectrumでweightしたLFP (Lumped- Fission product) effective cross section	58
E 全FP実効断面積に占める各偶奇核の割合	59
F 結 論	60
4.2 断面積の偶奇性のみから推定した平均断面積を用いた場合	60
4.3 UKNDL File に与えられていない核種に対して偶奇性から推定 した断面積を代用した場合	65
A 計算方法	65
B 結果と議論	65
5. 結 論	97
参 考 文 献	99

List of Tables

- Table 2-2-1 Variation of percent number density in a β^- decay chain during burn-up.
(For the chain which should be considered 2 nuclides).
- Table 2-2-2 Variation of percent number density in a β^- decay chain during burn-up.
(For the chain which should be considered 3 nuclides).
- Table 2-2-3 Some examples of selecting the nuclides to be considered in a β^- decay chain.
(Variation of percent number density during burn-up.)
- Table 2-2-4 Variation of percent number density during burn-up for the 105, 135 (Mass Number) chain.
- Table 3-1-1 Equal weighted F.P (n, τ) mean cross sections for odd-even effect of (neutron-proton number) pair.
(Analysis from UKNDL-78 nuclides).
- Table 3-1-2 Equal weighted F.P (n, τ) mean cross sections for odd-even effect of mass number, atomic number and neutron number. (Analysis from UKNDL-78 nuclides).
- Table 3-2-1 ^{239}Pu fast fission yield weighted F.P (n, τ) mean cross sections for odd-even effect of (neutron-proton number) pair. (Analysis from UKNDL-78 nuclides).
- Table 4-0-1 Group structure.
- Table 4-0-2 Weighting Fluxes (1/E spectrum).
- Table 4-1-1-1 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of Pu-239 fast fission yield.
- Table 4-1-1-2 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of Pu-239 thermal fission yield.

- Table 4-1-2-1 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of U-235 fast fission yield.
- Table 4-1-2-2 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of U-235 thermal fission yield.
- Table 4-1-3 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of U-238 fast fission yield.
- Table 4-1-4 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of Pu-241 thermal fission yield.
- Table 4-1-5 Percent contribution to several flux weighted effective cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield from each energy group.
- Table 4-1-6 Percent contribution to several flux weighted effective cross sections of a pair of U-235 fast fission yield from each energy group.
- Table 4-1-7 Time dependence of flux weighted effective cross section for several weighting fluxes.
- Table 4-2-1 Nuclear transformation scheme.
- Table 4-3-1 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of Pu-239 fast fission yield corrected by the use of yield weighted (n, τ) mean cross section obtained by odd-even characteristics.
- Table 4-3-2 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of Pu-239 fast fission yield corrected by the use of equal weighted (n, τ) mean cross section obtained by odd-even characteristics.
- Table 4-3-3 Percent yield of the nuclides not available in UKNDL file for each odd-even item.

Table 4-3-4 Time dependence of flux weighted effective cross section for several weighting fluxes for a pair of ^{239}Pu fast fission yield corrected by the use of yield weighted and equal weighted (n, γ) mean cross section obtained by odd-even characteristics.

- Fig. 2-2-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 85 F.P chain.
- Fig. 2-2-2 Variation of number density with burn-up time for mass-number 103 F.P chain.
- Fig. 2-2-3 Variation of number density with burn-up time for mass-number 106 F.P chain.
- Fig. 2-2-4 Variation of number density with burn-up time for mass-number 129 F.P chain.
- Fig. 2-2-5 Variation of number density with burn-up time for mass number 141 F.P chain.
- Fig. 2-2-6 Variation of number density with burn-up time for mass number 144 F.P chain.
- Fig. 2-2-7 Variation of number density with burn-up time for mass number 95 F.P chain.
- Fig. 2-2-8 Variation of number density with burn-up time for mass number 125 F.P chain.
- Fig. 2-2-9 Variation of number density with burn-up time for mass number 127 F.P chain.
- Fig. 2-2-10 Variation of number density with burn-up time for mass number 147 F.P chain.

- Fig. 2-3-1-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 89 F.P chain.
- Fig. 2-3-1-2 Time dependence of 70-group average (n, r) cross section of mass-number 89 F.P chain.
- Fig. 2-3-2-1 Variation of number density with burn-up time for mass number 91 F.P chain.
- Fig. 2-3-2-2 Time dependence of 70-group average (n, r) cross section of mass-number 91 F.P chain.
- Fig. 2-3-3-1 Variation of number density with burn-up time for mass number 105 F.P chain.
- Fig. 2-3-3-2 Time dependence of 70-group average (n, r) cross section of mass-number 105 F.P chain.
- Fig. 2-3-4-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 131 F.P chain.
- Fig. 2-3-4-2 Time dependence of 70-group average (u, r) cross section of mass-number 131 F.P chain.
- Fig. 2-3-5-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 133 F.P chain.
- Fig. 2-3-5-2 Time dependence of 70-group average (n, r) cross section of mass-number 133 F.P chain.
- Fig. 2-3-6-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 135 F.P chain.
- Fig. 2-3-6-2 Time dependence of 70-group average (n, r) cross section of mass-number 135 F.P chain.
- Fig. 2-3-7-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 155 F.P chain.

- Fig. 2-3-7-2 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross section of mass-number 155 F.P chain.
- Fig. 3-1-1 Equal weighted F.P (n, τ) mean cross sections for odd-even effect of (neutron-proton number) pair. (Analysis from UKNDL-78 nuclides).
- Fig. 3-1-2 Equal weighted F.P (n, τ) mean cross sections for odd-even effect of mass-number, atomic number and neutron number. (Analysis from UKNDL-78
- Fig. 3-2-1 ^{239}Pu fast fission yield weighted F.P (n, τ) mean cross sections for odd-even effect of (neutron-proton number) pair. (Analysis from UKNDL-78 nuclides).
- Fig. 3-3-1 1st group (10.0 ~ 8.3 MeV) F.P (n, τ) cross section as a function of mass number.
- Fig. 3-3-2 7th group (2.5 ~ 1.9 MeV) F.P (n, τ) cross section as a function of mass number.
- Fig. 3-3-3 15-th group (310 KeV ~ 250 KeV) F.P (n, τ) cross section as a function of mass number.
- Fig. 3-3-4 23-th group (46.5 ~ 36.0 KeV) F.P (n, τ) cross section as a function of mass number.
- Fig. 3-3-5 35-th group (2.15 KeV ~ 1.66 KeV) F.P (n, τ) cross section as a function of mass number.
- Fig. 3-3-6 41-th group (465 ~ 360 eV) F.P (n, τ) cross section as a function of mass number.
- Fig. 3-3-7 59-th group (4.65 ~ 3.6 eV) F.P (n, τ) cross section as a function of mass number.
- Fig. 3-3-8 67-th group (0.598 ~ 0.465 eV) F.P (n, τ) cross section as a function of mass number.

- Fig. 4-1-1 Time dependence of 70-group average (n, γ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield.
- Fig. 4-1-2 Comparison of fast fission yield as a function of mass number for several fissionable nuclei.
- Fig. 4-1-3 Comparison of 70-group average (n, γ) cross section for several fissionable nuclei at 60 days burn-up.
- Fig. 4-1-4 Comparison of 70-group average (n, γ) cross section for several fissionable nuclei at 360 days burn-up.
- Fig. 4-1-5 Comparison of 70-group average (n, γ) cross section of a pair of Pu-229 fast and thermal fission yield at 360 days burn-up.
- Fig. 4-1-6 Comparison of 70-group average (n, γ) cross section of a pair of U-235 fast and thermal fission yield at 360 days burn-up.
- Fig. 4-1-7 Weighting fluxes of ZPR-3-6F at core center
(An example of hard spectrum.)
- Fig. 4-1-8 Weighting fluxes of ZPR-3-45 at core center
(An example of soft spectrum.)
- Fig. 4-1-9 Weighting fluxes of 3000 L PuO₂-UO₂ core at core center.
(An example of large fast power reactor (1000MWe))
- Fig. 4-1-10 Percent contribution to (odd-even) items of average (n, γ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield. (At 1000 days burn-up.)

- Fig. 4-3-1 Comparison of several 70-group average (n, τ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield at 300 days burn-up. ((i) pure UKNDL; (ii) corrected by the use of yield weighted (n, τ) mean cross section; (iii) corrected by the use of equal weighted (n, τ) mean cross section.)
- Fig. 4-3-2 Comparison of several 70-group average (n, τ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield at 180 days burn-up. ((i) pure UKNDL; (ii) corrected by the use of yield weighted (n, τ) mean cross section; (iii) corrected by the use of equal weighted (n, τ) mean cross section.)
- Fig. 4-3-3 Comparison of several 70-group average (n, τ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield at 30 days burn up. ((i) pure UKNDL; (ii) corrected by the use of yield weighted (n, τ) mean cross section; (iii) corrected by the use of equal weighted (n, τ) mean cross section.)
- Fig. 4-3-4 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield. The values are corrected by the use of yield weighted (n, τ) mean cross section.

1 序 論

前回¹⁾の報告においては、核分裂生成核種 (FP) のそれぞれに対して高中速エネルギー域の中性子捕獲断面積の多群定数及びそれらを一つに lumping した多群定数が作成された。lumping の際の各核種の断面積の weight としては total chain yield が使用された。選ばれた各 FP 核種は全て安定核もしくは長寿命核 (炉内燃焼期間に較べて) が用いられた。したがって、得られた多群定数系は長期 burn-up の解析を想定して作成されたものであった。ところで、実際には FP 各核種の蓄積による原子数密度は崩壊系列にしたがって時間とともに変るものである。崩壊系列は主に β^- decay によるものが大部分であるが、それらは同重核系列について原子番号が1つつづ増えていく崩壊形式のことである。その他 (n, r) capture 等の核変換機構の作用によりかなり複雑な核変換網を形成しているのが実際の姿である。

前回¹⁾において指適しておいたように、前回の結果が実用化されるには、FP 各核種が時間に比例して蓄積していくという仮定 (蓄積の直線性, linearity) が成立するか検討することが必要である。

高中速エネルギーにおける断面積には、たとえば熱中性子領域における Xe, Sm のように極端に吸収断面積が大きいものは存在しない。したがって、高速炉においては、FP の Pseudo 化をはかる場合断面積に留意して特定の核種を選び出すことは有効でない。そのため、膨大な量にのぼる FP の各核種の断面積を高速炉の解析用に簡単な形にまとめるために熱中性子炉とは異った Pseudo 化の概念が存在する。この作業は将来の FP の Pseudo の方向がどうあるべきかを検討するために行なわれた。

ここでは、長期燃焼特性解析の際大きな影響を与えると考えられる中性子捕獲断面積、いわゆる (n, r) 断面積をとりあげて、FP の Pseudo 化の研究を行った。

FP の Pseudo 化を行なう上で次のことがらを検討する必要がある。

(I) Decay Chain Scheme

考慮する decay chain scheme は APED-5398A²⁾ に記載されているものを採用し、それがあまい場合には Table of Isotopes³⁾ を参照して決めた。上で選ばれた decay chain の解析によって FP の lumping 化をいくつかの time step について行った。実際には存在する同位元素系列への (n, r) 反応による核変換過程は Flux(ϕ)及び (n, r) 反応断面積 σ_r が極めて大きくない限り無視できるとした。したがって、ここでは複雑な核変換網を単純な β^- decay chain のみで simulate している。

(II) FP 各核種の捕獲断面積

FP 核種の断面積は一応 publish されたものを使用した。publish されているもので代表的なものとしては、GA-2451⁴⁾, Benzi-Bortolani⁵⁾, UKNDL⁶⁾, Benzi-Reffo⁷⁾ があり、後者になる程核種の数は増えている。上記各 data についての詳しいことは、前回までの各報告書^{1,8,9,10,11)} を参照して頂きたい。4), 6) は 10 MeV から熱中性子域まで、5), 7) は 1 KeV 以上 10 MeV のエネルギー範囲を対象としている。これらのうち我々は個々の FP 核種について 70

群の定数が全エネルギー range で存在している UKNDL⁰⁾ を基準にして考えていくことにした。

(iii) Yield Data

Yield data は前回迄⁸⁾の報告書に詳しく述べられた様になりに公表されているが、ここでは最新の Meek and Rider⁹⁾ の evaluation にもとづく recommended value (APED-5398A) を使用する。yield の energy dependence は lumping した FP の断面積にそれ程 severe な影響を与えないという結論が得られているが^{8), 1)} 今回の作業では、前回の補足の意味からも U-235, Pu-239 に対して Fast Fission Yield および Thermal Fission Yield data を用いて lump 化した FP の群定数を作成し、前回の計算結果との比較、対比を行った。(Data Source による差がでるか調べるためでもある。)

(iv) Burn-up time のとり方

実際の高速炉における燃焼を考慮するために、最高の burn-up として 10^6 MWD/T を考えた。FP の lumping にあつては、FP の蓄積率は 30 日毎にとり 1000 日までの time step を考えた。

以上のような前提条件にもとづいて時間的な FP 各核種の濃度変化によつてもたらされる pseudo 化した FP の群定数作成を行っていくことにする。高速度用の FP の群定数としてのまとめ方には lumping 化、Pseudo Fission Product (P.F.P) 化が考えられているが、まだこれといって決定的な手法はない。ここでは、FP 核種の断面積の偶奇性を考慮した方法を用い、この問題に対する炉物理的処理の方法論が展開されそれからの結論が述べられる。

2. FP各核種の時間による濃度変化

各 β^- decay chainに属する各核種の時間による濃度変化を追ってみることにする。ここでは数十日経過後かなり蓄積して残ってくるような、半減期が比較的長い安定核ではない(半減期が数日以上)核種にどのようなものがあり、それが含まれる decay scheme 及びその計算方法の提示とその結果についての考察がなされる。

さらに、各 chain に含まれる各核種を濃度で weight した、chain についての実効断面積の時間的な振舞についても調べられる。

2.1 計算モデル

序論において述べたように、FP各核種をそれぞれ別個に取扱うのは大変である。そのため、最も簡単な方法としてFP全体を疑似的な一核種で表わそうとする lumping の方法がある。これはFPとして生まれてくる各核種の断面積をその時点の濃度(yield)でweightするという方法である。ここで、燃焼時間から考えて各 β^- decay chainについて安定核(半減期が2~3年以上)がただ1核種にのみ限られている(decay chainを構成する他の核種の半減期が極めて短かく、分、時間以下のものであるような場合)なら、前回までに作成したような単なる total chain yield のみによるweightでよい。しかし現実に decay scheme をみるとそのように単純なものではなく、mass formulaeからも推察されるように、一般には even mass number の chain については、安定核(半減期数十日以上無限大まで)は通常1つであり、逆に odd mass number の chain については好物理的な長寿命核及び安定核は2~3もあるものがある。しかも、後で詳しく述べられるように (n, r) 断面積の統計性から明らかのように odd mass number の核種のものの方が断面積はかなり大きい。こういう状況であるから、これら奇数の質量数を持つ核で、安定核(半減期が10~年以上)ではないがかなり長い半減期(数日~数十日以上)を持つものの蓄積による効果が無視しえなくなってくるのは当然であろう。また、燃焼過程を模擬する上からも、半減期が day 単位以上の核種についてその蓄積効果を検討する必要がある。

FPの lumping 化を行なう場合は、各 burn up 時点でのFPの各核種の原子数濃度を weight とすることが必要である。時間依存の Pseudo 化FP断面積を精度よく作成するには以上のことからFP各核種の濃度変化を核変換網にしたがって精度よく求める必要がある。

一般に炉内での核変換過程にもとづく各核種の濃度変化は次のように記述される。但し、 $(n, 2n)$ 、 (n, p) 、 (n, α) 、 (n, d) 等の高エネルギー域($\geq 5\text{MeV}$)で重要になってくる反応は除いて (n, r) 反応のみ考える。

$$\begin{aligned} \frac{d^A_Z N}{dt} = & \frac{A}{Z} y_i (\Sigma_f \phi) + \frac{A}{Z-1} \lambda \cdot \frac{A}{Z-1} N - \frac{A}{Z} \lambda \cdot \frac{A}{Z} N \\ & + \phi \frac{A-1}{Z} \sigma_c \cdot \frac{A}{Z} N - \phi \frac{A}{Z} \sigma_c \cdot \frac{A}{Z} N \end{aligned} \quad (2.1)$$

${}^A_Z N(t)$: 原子番号 Z , 質量数 A で指定される核種 (Z, A) の濃度 (原子数密度 number density)

${}^A_Z y_i$: (Z, A) 核種の independent yield

${}^A_Z \lambda$: (Z, A) 核種の半減期 (β^- decay) [Day]⁻¹

${}^A_Z \sigma_c$: (Z, A) 核種の microscopic capture (n, γ) cross section [barn]

ϕ : neutron flux

t : 時間 [Day]

$\Sigma_f \phi$: FP の発生項

Σ_f : macroscopic fission cross section

ここで、今考えている核種の半減期が数日～数十日の場合には λ は $10^{-7} \sim 10^{-6}$ の order になる。そして (2-1) 式の最後の 2 項についてみると、通常の炉では ϕ は $10^{13} n/cm^2 \cdot sec$ である。 σ_c の値が 1 barn [$10^{-24} cm^2$] と仮定すると $\phi \sigma_c \approx 10^9$ 前後となる。

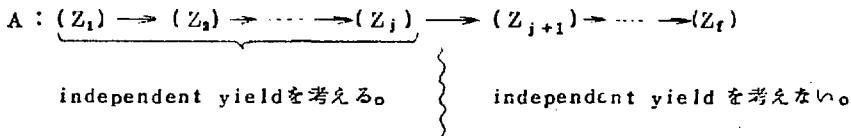
すでに前回¹⁾ 示したように、高速炉の場合全 FP 核種の energy spectrum で平均された σ_c の値はほぼ 1 barn である。したがって (2-1) 式の最後の 2 項は無視しても本研究にはさしつかえないと考えられる。

(2-1) 式の最後の 2 項を無視すると核変換網は β^- decay chain のみ考えればよい。したがって (2-1) は、

$$\frac{d {}^A_Z N}{dt} = {}^A_Z y_i \cdot (\Sigma_f \cdot \phi) + {}^A_{Z-1} \lambda \cdot {}^A_{Z-1} N - {}^A_Z \lambda \cdot {}^A_Z N \quad (2-2)$$

と簡単化される。

今、decay chain が下図のようなものであったとしよう。



A : 質量数 A についての β^- decay chain

(Z_i) : 原子番号 Z_i を持つ質量数 A の核種

この chain に対する数式モデルは次のようになる。

$$\frac{d}{dt} \lambda \frac{A}{Z_1} N = \lambda \frac{A}{Z_1} y_1 \cdot (\Sigma_f \phi) - \lambda \frac{A}{Z_1} \lambda \cdot \frac{A}{Z_1} N \quad (2-3-1)$$

$$\frac{d}{dt} \lambda \frac{A}{Z_2} N = \lambda \frac{A}{Z_2} y_1 \cdot (\Sigma_f \phi) + \lambda \frac{A}{Z_2} \lambda \cdot \frac{A}{Z_1} N - \lambda \frac{A}{Z_2} \lambda \cdot \frac{A}{Z_2} N \quad (2-3-2)$$

$$\frac{d}{dt} \lambda \frac{A}{Z_j} N = \lambda \frac{A}{Z_j} y_1 \cdot (\Sigma_f \phi) + \lambda \frac{A}{Z_{j-1}} \lambda \cdot \frac{A}{Z_{j-1}} N - \lambda \frac{A}{Z_j} \lambda \cdot \frac{A}{Z_j} N \quad (2-3-3)$$

$$\frac{d}{dt} \lambda \frac{A}{Z_{j+1}} N = \lambda \frac{A}{Z_j} \lambda \cdot \frac{A}{Z_j} N - \lambda \frac{A}{Z_{j+1}} \lambda \cdot \frac{A}{Z_{j+1}} N \quad (2-3-4)$$

$$\frac{d}{dt} \lambda \frac{A}{Z_{t-2}} N = \lambda \frac{A}{Z_{t-2}} \lambda \cdot \frac{A}{Z_{t-2}} N - \lambda \frac{A}{Z_{t-1}} \lambda \cdot \frac{A}{Z_{t-1}} N \quad (2-3-5)$$

$$\frac{d}{dt} \lambda \frac{A}{Z_t} N = \lambda \frac{A}{Z_{t-1}} \lambda \cdot \frac{A}{Z_{t-1}} N \quad (2-3-6)$$

ここで我々は、半減期 ($T_{1/2}$) が秒、分の order の核種には ($Z_i; i=1, j$) independent yield を考慮するが、それらは前回¹⁾扱ったように全て生まれると同時に decay してしまうとする。つまり上方程式系において (2-3-4) 式以降を考えることにする。いかえれば、我々の考えている chain は Z_{j+1} 核種から始まるとする。その際

$$\lambda \frac{A}{Z_j} \lambda \frac{A}{Z_j} N = \sum_{i=1}^j \lambda \frac{A}{Z_i} y_i \cdot (\Sigma_f \phi) \quad (2-4)$$

とする。すなわち Z_{j+1} 核種は total chain yield をもって生まれてくるという model を用いた。

計算の対象とした decay chain の scheme は APED-5398A²⁾ に記載のものを使用し、それによってもはっきりしない chain については Table of Isotopes³⁾ を使用した。その中で 1 day 以上の半減期を持つ核種が存在する β^- decay chain を全て取りあげて、それらの核種についての濃度変化を追跡した。

濃度変化の追跡に使用したコードは (2-3) 式で表わされる連立微方程式を初期値を出発値として time step にしたがって積分していく RKC (Runge-Kutta-Gill) 法を使用した RKGFPD というコードを作成して行った。

このコードは考えている chain を構成する各核種の $T_{1/2}$ (半減期), y_i (independent yield), $t=0$ での初期値 $\lambda \frac{A}{Z_i} N (t=0)$, time step を入力すると、それぞれの濃度変化を time step 毎に求める。濃度変化の追跡といっても絶対的な濃度変化を追う必要はなく、あくまでも β^- decay chain 内の変化を考えているのにすぎないのであるから、その chain 全体についての和は保存されていることになる (考えている同重核崩壊系列から他の系列へ移

っていく核種は無視しているため)。したがって単に total chain yield を各核種に振り分けているだけのことである。したがって、このコード自体は、この相対的な density (percent density 表示) 追跡の他に、原子数の絶対値追跡もできるようになっている。全 time step について各核種の濃度変化が求まると、それを graphic plotter で出力したり、さらにその chain を構成している各核種の断面積が与えられると(群定数の形で)、その chain について、その求めた濃度を weight とした実効断面積を出力するようになっている。

通常の chain では上述のような取扱いで十分であるが chain によっては、その chain 内にかなり特殊な、metastable な isomer 等が存在するために、標準的な chain とは異った取扱いをする必要のあるものが 10 chain 位存在する。それらには分岐、合流が存在しており、たとえば mass number が 85, 115, 119, 124 ($^{124}\text{Sb}-^{124}\text{Te}$), 125, 126, 127, 129, 131, 133 の chain である。これらのものについては(2-3)の方程式系をこの特殊な scheme にしたがった微分方程式系にとりかえる必要がある。これらの chain については option により使用できるようにすでに RKGFP コードに組み込まれている。それらの計算結果を表とグラフ^{*}で次に示す。

2.2 FP 各核種の密度変化の追跡とそれから結論

解析の対象とした chain は半減期が 1 日以上比較的安定な核種が存在する(通常の β -decay chain, isomer 等の存在による分岐、合流が存在することによる特殊な chain)ものについて行った。その結果、一応断面積を評価する必要がある核種としては、その chain において 60 日の時点で 5% 以上の number density を持つものを選んだ。この値は、現在えられる断面積の精度(理論的推定値では $\pm 50\%$ が現状である)および高速炉の燃焼解析上の精度を考慮して本報告書の目標値として設定したものである。このようにすると、特殊な decay scheme をもつ chain も 7 つだけ考えればよく、1 つの chain について 4~5 核種考える必要があると考えた chain についても(たとえば 125, 127, 133 chain で、table 2-3-3 参照のこと)上の解析の結果 3 核種までにおさえられることが結論される。またこの table 2-3-3 に示されるように mass number 90 の chain については炉物理的にみただの長寿命核が、核物理的に安定な核よりも必要となることを如実に示している。したがって、各 chain において追跡すべき核種の数は 2~3 核種のみになる。その場合の濃度変化を Table 2-2-1 ~ 2-2-2, Fig. 2-2-1 ~ 2-2-10 に示す。

(これら chain に含まれる全ての核種に対しての断面積が与えられている場合には、2.3 節であらためて示す。)

chain 内で濃度変化を考えなければならない数は 25 chains であり、その他の chain では半減期が数十日~1 年以上の 1 核種のみ考えればよい。図表からわかるように上記 2 chains のうち 2 核種のみ考えればよいのは、20 chains であり、3 核種考える必要のある

* 本報告書中のグラフは全てグラフ作成コード GPLÖT1, GPLÖTC⁽¹⁴⁾によって作成されたものである。

chain は 5 chains である。

これら 25 chains に含まれる各核種の濃度変化が FP を 1 つに lumping する仮定にどの程度の修正をもたらすか調べていく。

3 核種考慮すべき chain は分岐、合流（ある分岐確率で isomer へ decay するのを分岐さらにその isomer からある時間経過後基底状態へ落ちていくのを合流とする。）のある特殊な decay scheme を持っている。これら特殊な chain に含まれる isomer は寿命はかなり長い（day 以上の半減期を持つ）。この種の isomer の断面積 data は現在の所えられないが、たとえば、 $^{127}\text{Te}^m$ ($T_{1/2} = 109 \text{ days}$) は断面積 data を考慮すべき重要な核種である。

以上の結果からみて、特に問題となる核種には、安定核の他に、 ^{90}Sr ($T_{1/2} = 50.6 \text{ d}$), ^{91}Y ($T_{1/2} = 59. \text{ d}$), ^{108}Ru ($T_{1/2} = 39.6 \text{ d}$), ^{106}Ru ($T_{1/2} = 367. \text{ d}$), $^{*120}\text{Te}$ ($T_{1/2} = 34 \text{ d}$), ^{141}Ce ($T_{1/2} = 32.4 \text{ d}$), ^{144}Ce ($T_{1/2} = 284. \text{ d}$), ^{168}Eu ($T_{1/2} = 1.81 \text{ Y}$), ^{95}Zr ($T_{1/2} = 65. \text{ d}$), ^{98}Nb ($T_{1/2} = 35. \text{ d}$), $^{*125}\text{Sb}$ ($T_{1/2} = 2.7 \text{ Y}$), $^{*127}\text{Te}$ ($T_{1/2} = 109. \text{ d}$), ^{147}Pm ($T_{1/2} = 2.623 \text{ Y}$) があり、半減期が 10 0 日～1 年前後のものが最も取扱いを注意すべき事を如実に示している。少くともこれら全ての核種については断面積 data を必要とするものである。

2.3 chain の実効断面積の時間的变化

2.2 節において、各 chain 内の時間に対する濃度変化の追跡が必要とされる全ての核種について計算された。ここで我々は各 chain 内の各核種の濃度を weight としてその chain の実効的な断面積を求めてみる。

ここで追跡された chain は、その chain に含まれる核種の断面積データが UKNDL File に与えられているものに限った。各 chain についての実効的な時間依存断面積は次式にしたがって求めた。

$$\bar{\sigma}^i(E) = \frac{\sum_{m=1}^n \sigma_{cm}^i(E) \cdot N_{pm}(t)}{\sum_{m=1}^n N_{pm}} \quad (2-3-1)$$

但し、

- $\sigma^i(E)$: i the energy group の考えている chain についての実効断面積
- $\sigma_{cm}^i(E)$: i the energy group の核種 m に対する (n, r) 断面積
- N_{pm} : 核種 m についての number density
- n : chain 内の考慮する必要がある核種の数

各 chain 内の核種の濃度変化、濃度を weight とした chain についての実効断面積の時間に対する変化を Figs. 2-3-1-1 ~ 2-3-7-2 に示した。

グラフから明らかなように、mass number 89, 91 の 2 つの chain を除けば、1 KeV ~ 1 MeV の energy region での時間に対する変化はそれ程大きくないが、1 KeV 以下では核種による大きな resonance の存在による影響によって、大幅にかわっている。したがって chain の実効的な断面積は特に 100 eV 以下の群での時間変化では一桁以上も変化して

おり、この energy 領域においては、群数としてのまとめ方が単なる lumping の手法では極めて困難になってくるものと考えられる。1 KeV ~ 1 MeV の region における断面積は統計モデルから出されており、断面積はエネルギー変化に対して概してスムーズである。

又核種間の断面積の相違も低いエネルギー領域における程顕著ではないため、この高いエネルギー region では特定の核種の濃度変化が chain の実効断面積にはきいてこない。しかし、この energy region において核種間の断面積の差異が大きい場合は chain の実効断面積は、濃度変化（時間による）にしたがって大きくかわる。

100eV以下における chain の実効断面積の大きな時間的变化および mass number が 89, 91等の chain でみられるように高エネルギー領域においても chain の実効的な断面積が時間的に大きく変化するものについて、FP の lumping を行う場合、どの程度の誤差をもたらすか調べることは重要である。

ここで考えた chain のうち、mass number が 105, 135 chain に含まれる核種については、UKNDL File に断面積 data が与えられているが、chain に含まれる核種の λ を考慮すれば事実上、最終核のみ考えればよく、この chains については前節で除外した。

(c.f. Table 2-3-1, Figs 2-3-3-1, 2-3-3-2, 2-3-6-1, 2-3-6-2)

(したがって、UKNDL File がこの核種をわざわざのせている理由は熱中性子炉で問題になる Xe, Ph の毒作用のためであろう。高速炉ではほとんど考える必要はない。)

追跡すべき chain に含まれる核種のうちで断面積 data が与えられているのは限られているために、chain の実効的な断面積の時間変化を追跡できたのは以上の 5 chains でしかなかった。すでに列挙した追跡すべき 25 chains の実効断面積の時間的变化を求めるには数十日の半減期を持つ断面積の整備をすることが必要である。

それで我々は、近似的にそれらの欠けている断面積の推定を UKNDL File に含まれる 78 核種の data 解析を、偶奇性の観点にもとづいて行うことにする。

Table 2-2-1 Variation of percent number density in a β^- decay chain during burn-up
(For the chain which should be considered 2 nuclides)

Mass Number	C	decay chain scheme	D	Nuclide	Percent Number Density (%)					Time unit days		
					30days	60days	90days	120days	180days	360days	720days	1000days
85	※	4.4 h $^{85}\text{Kr}^m$	○	^{85}Kr	20.94	20.89	20.83	20.78	20.67	20.35	19.72	18.45
		10.76y $^{85}\text{Kr} \xrightarrow{0.21, 0.70} \text{Rb}$ L										
c. f Fig. 2-2-1												
89		$^{89}\text{Sr} - ^{89}\text{Y}$	○	^{89}Sr	82.0	68.18	57.47	49.08	37.11	20.13	10.14	7.30
		50.6d L										
c. f Fig. 2-3-1-1												
91*		$^{91}\text{Y} - ^{91}\text{Zr}$	○	^{91}Y	84.85	72.25	62.14	53.98	41.87	23.30	11.82	8.51
		59.d L										
c. f Fig. 2-3-2-1												
99		$^{99}\text{Mo} - ^{99}\text{Tc}$	○	^{99}Mo	13.22	6.61	4.41	3.31	2.20	1.10	0.55	0.40
		66H 2.14×10^6 y										
103		$^{103}\text{Ru} - ^{103}\text{Rh}$	○	^{103}Ru	77.79	61.90	50.34	41.78	30.38	15.84	7.92	5.71
		396d L										
c. f Fig. 2-2-2												
106		$^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Pd}$	○	^{106}Ru	97.22	94.54	91.96	89.48	84.77	72.56	54.66	44.94
		367d L										
c. f Fig. 2-2-3												
111		$^{111}\text{Ag} - ^{111}\text{Cd}$	○	^{111}Ag	33.81	17.96	12.02	9.02	6.01	3.01	1.50	1.08
		7.5d L										

(Continued)

Mass Number	C	decay chain scheme	D	Nuclide	Percent Number Density(%)				Time unit days			
					30days	60days	90days	120days	180days	360days	720days	1000days
129	※	$ \begin{array}{c} \text{34d } ^{129}\text{Te}^m \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{0.16 } ^{129}\text{Sb} \quad \text{0.36 } ^{129}\text{I} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{69m } ^{129}\text{Te} \quad \text{L} \\ \text{c. f Fig. 2-2-4} \end{array} $	○	$^{129}\text{Te}^m$ ^{129}I	11.22	8.65	6.87					
131	※	$ \begin{array}{c} \text{0.000 } ^{131}\text{Xe}^M \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{8.05d } ^{131}\text{I} \quad \text{0.004 } ^{131}\text{Xe} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{L} \quad \text{L} \\ \text{c. f Fig. 2-3-4-1} \end{array} $	○	^{131}I ^{131}Xe	35.78	19.25	12.90	9.68	6.45	3.23	1.61	1.16
132		$ \begin{array}{c} ^{132}\text{Te} - ^{132}\text{Xe} \\ \text{78h} \quad \text{L} \end{array} $	○	^{132}Te ^{132}Xe	15.60	7.81	5.21	3.91	2.61	1.31	0.65	0.47
133	※	$ \begin{array}{c} ^{133}\text{Xe} - ^{133}\text{Cs} \\ \text{5.27d} \quad \text{L} \\ \text{c. f Fig. 2-3-5-1} \end{array} $	○	^{133}Xe ^{133}Cs	71.01	85.23	90.15	92.61	95.07	97.54	98.23	99.38
140		$ \begin{array}{c} ^{140}\text{Ba} - ^{140}\text{Ce} \\ \text{12.8d} \quad \text{L} \end{array} $	○	^{140}Ba ^{140}Ce	49.43	29.58	20.36	15.37	10.26	5.13	2.56	1.85
141		$ \begin{array}{c} ^{141}\text{Ce} - ^{141}\text{Pr} \\ \text{32.4d} \quad \text{L} \\ \text{c. f Fig. 2-2-5} \end{array} $	○	^{141}Ce ^{141}Pr	73.8	56.32	44.36	35.96	25.42	12.98	6.50	4.67
143		$ \begin{array}{c} ^{143}\text{Pr} - ^{143}\text{Nd} \\ \text{L} \end{array} $	○	^{143}Pr ^{143}Nd	56.35	34.36	23.80	18.00	12.02	6.01	3.00	2.16

(Continued)

Mass Number	C	decay chain scheme	D	Nuclide	Percent Number Density (%)					Time unit days		
					30days	60days	90days	120days	180days	360days	720days	1000days
144		$^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Nd}$ 284d L c. f Fig. 2-2-6	○	^{144}Ce	96.43	93.02	89.78	86.69	80.93	66.54	47.09	37.40
				^{144}Nd	3.57	6.98	10.22	13.31	19.07	33.46	52.91	62.60
149		$^{149}\text{Pm} - ^{149}\text{Sm}$ 53h L	○	^{149}Pm	10.62	5.31	3.54	2.65	1.77	0.88	0.44	0.32
				^{149}Sm	89.38	94.69	96.46	97.35	98.23	99.12	99.56	99.68
153		$^{153}\text{Sm} - ^{153}\text{Eu}$ 47h L	○	^{153}Sm	9.42	4.71	3.14	2.35	1.57	0.78	0.39	0.28
				^{153}Eu	90.58	95.29	96.86	97.65	98.43	99.22	99.61	99.72
155		$^{155}\text{Eu} - ^{155}\text{Gd}$ 1.81y L c. f Fig. 2-3-7-1	○	^{155}Eu	98.44	96.92	95.42	93.96	91.12	83.28	70.18	61.93
				^{155}Gd	1.56	3.08	4.58	6.04	8.88	16.72	29.82	38.07
156		$^{156}\text{Eu} - ^{156}\text{Gd}$ 15.2d L	○	^{156}Eu	55.87	35.06	24.58	18.67	12.49	6.23	3.11	2.25
				^{156}Gd	44.13	64.94	75.42	81.33	87.51	93.77	96.89	97.75
161		$^{161}\text{Tb} - ^{161}\text{Dy}$ 6.9d L		^{161}Tb	31.55	16.55	11.06	8.30	5.53	2.77	1.39	1.00
				^{161}Dy	68.45	83.45	88.94	91.70	94.47	97.23	98.61	99.00

Note.(i) (COLUMN C):×-means for this chain the decay scheme is not simple

(ii) (COLUMN D):○-means for this nuclide cross sections are given in UKNDL FILE.

Table 2-2-2 Variation of percent number density in a β^- decay chain during burn-up.
(For the chain which should be considered 3 nuclides)

Mass Number	C	decay chain scheme	D	nuclide	Percent Number Density % Time unit (days)							
					30days	60days	90days	120days	180days	360days	720days	1000days
95		$^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb} - ^{95}\text{Mo}$ 65d 35d L c. f Fig. 2-2-7	○	^{95}Zr	85.58	73.87	64.29	56.41	44.46	25.49	13.02	9.38
				^{95}Nb	11.88	17.92	20.56	21.28	20.06	13.39	7.01	5.05
				^{95}Mo	2.54	8.22	5.15	22.21	35.68	61.22	79.98	85.57
115	※	$^{115}\text{Cd} \rightarrow ^{115}\text{In} \rightarrow ^{115}\text{Sn}$ 53.5h 6×10^{14} y L	○	^{115}Cd	10.72	5.36	3.57	2.68	1.79	0.89	0.45	0.32
				^{115}In	84.82	89.91	91.61	92.45	93.30	94.15	94.58	94.69
				^{115}Sn	4.46	4.73	4.82	4.87	4.91	4.96	4.98	4.98
125	※	$^{125}\text{Sn} - ^{125}\text{Sb} - ^{125}\text{Te}$ 9.62d 2.7y L c. f Fig. 2-2-8	○	^{125}Sn	40.89	22.82	15.40	11.56	7.71	3.86	1.92	1.39
				^{125}Sb	58.64	75.84	82.31	85.16	87.07	85.32	77.29	71.12
				^{125}Te	0.47	1.34	2.40	3.27	5.22	10.82	20.78	27.49
127	※	$^{127}\text{Sb} - ^{127}\text{Tc}^m - ^{127}\text{I}$ 3.9d 109d L c. f Fig. 2-2-9	○	^{127}Sb	18.66	9.38	6.25	4.69	3.13	1.56	0.78	0.70
				$^{127}\text{Tc}^m$	13.68	13.97	12.17	11.23	9.66	6.40	3.54	3.20
				^{127}I	67.71	77.55	81.58	84.05	87.21	92.03	95.68	96.10
147		$^{147}\text{Nd} - ^{147}\text{Pm} - ^{147}\text{Sm}$ 11.1d 2.623y L c. f Fig. 2-2-10	○	^{147}Nd	45.18	26.06	17.73	13.34	8.90	4.45	2.22	1.60
				^{147}Pm	54.37	72.64	80.01	83.41	85.86	84.56	76.60	70.37
				^{147}Sm	0.45	1.30	2.26	3.25	5.25	10.99	21.18	28.03

Note (i) COLUMN C: ※ - means for this chain the decay scheme is not simple.

(ii) COLUMN D: ○ - means for this nuclide cross sections are given in UKNDL-FILE.

Table 2-2-3 Some examples of selecting the nuclides to be considered in a β^- decay chain
(Variation of percent number density during burn-up.)

Mass Number	O	decay chain scheme	D	nuclide	Percent Number Density % Time unit (days)							
					30days	60cays	90days	120days	180days	360days	720days	1000days
90		$^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Zr}$ 288y L	○	^{90}Sr	99.9	99.8	99.7	99.61	99.41	98.82	97.64	96.77
				^{90}Zr	0.1	0.2	0.3	0.39	0.59	1.18	2.36	3.23
125	*		○	^{125}Sn	40.89	22.82	15.40	11.56	7.71	3.86	1.93	1.39
				^{125}Sb	58.64	75.84	82.31	85.16	87.07	85.32	77.29	71.12
				$^{125}\text{Te}^m$	0.09	0.23	0.36	0.46	0.62	0.82		
				^{125}Te	0.38	1.11	1.94	2.81	4.66	10.00	19.92	26.67
127	*		○	^{127}Sb	18.66	9.38	6.25	4.69	3.13	1.56	0.78	0.70
				$^{127}\text{Te}^m$	12.01	12.24	11.60	10.83	9.36	6.25	3.46	3.13
				^{127}Te	1.67	0.83	0.57	0.43	0.30	0.15	0.08	0.07
				^{127}I	67.71	77.55	81.58	84.05	87.21	92.03	95.68	96.10
131	*		○	^{131}I	35.78	19.25	12.90	9.68	6.45	3.23	1.61	1.16
				$^{131}\text{Xe}^m$	0.21	0.16	0.11	0.09	0.06	0.03	0.01	0.007
				^{131}Xe	64.00	80.60	86.99	90.24	93.49	96.75	98.37	98.83
133	*		○	^{133}I	4.21	2.10	1.40	1.05	0.70	0.35	0.18	0.13
				$^{133}\text{Xe}^m$	0.27	0.13	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01
				^{133}Xe	24.75	12.67	8.45	6.34	4.22	2.11	1.06	0.76
				^{133}Cs	70.78	85.10	90.06	92.55	95.03	97.52	98.75	99.10

Note (i) COLUMN C: *—means for this chain the decay scheme is not simple.

(ii) COLUMN D: ○—means for this nuclide cross sections are given in UKNDL-FILE.

Table 2-2-4 Variation of percent number density during burn-up for the 105,135(Mass Number) chain

Mass Number	O	decay chain scheme	D	nuclide	Percent Number Density % Time unit (days)							
					30days	60days	90days	120days	180days	360days	720days	1000days
105		$^{105}\text{Rh} - ^{105}\text{Pd}$	○	^{105}Rh	7.21	3.61	2.40	1.80	1.20	0.50	0.30	0.22
		35h L	○	^{105}Pd	92.79	96.39	97.50	98.20	98.80	99.40	99.70	99.78
		c.f. Fig. 2-3-3-1										
135		$^{135}\text{I} - ^{135}\text{Xe} - ^{135}\text{Cs}$	○	^{135}I	1.34	0.67	0.45	0.34	0.22	0.13	0.06	0.05
		57h 92h 3×10^6 y	○	^{135}Xe	1.84	0.92	0.61	0.46	0.31	0.16	0.08	0.06
		c.f. Fig. 2-3-6-1	○	^{135}Cs	96.81	98.40	98.94	99.20	99.47	99.70	99.85	99.89

Note COLUMN D : O-means for this nuclide cross rections are given in UKNDI-FILE.

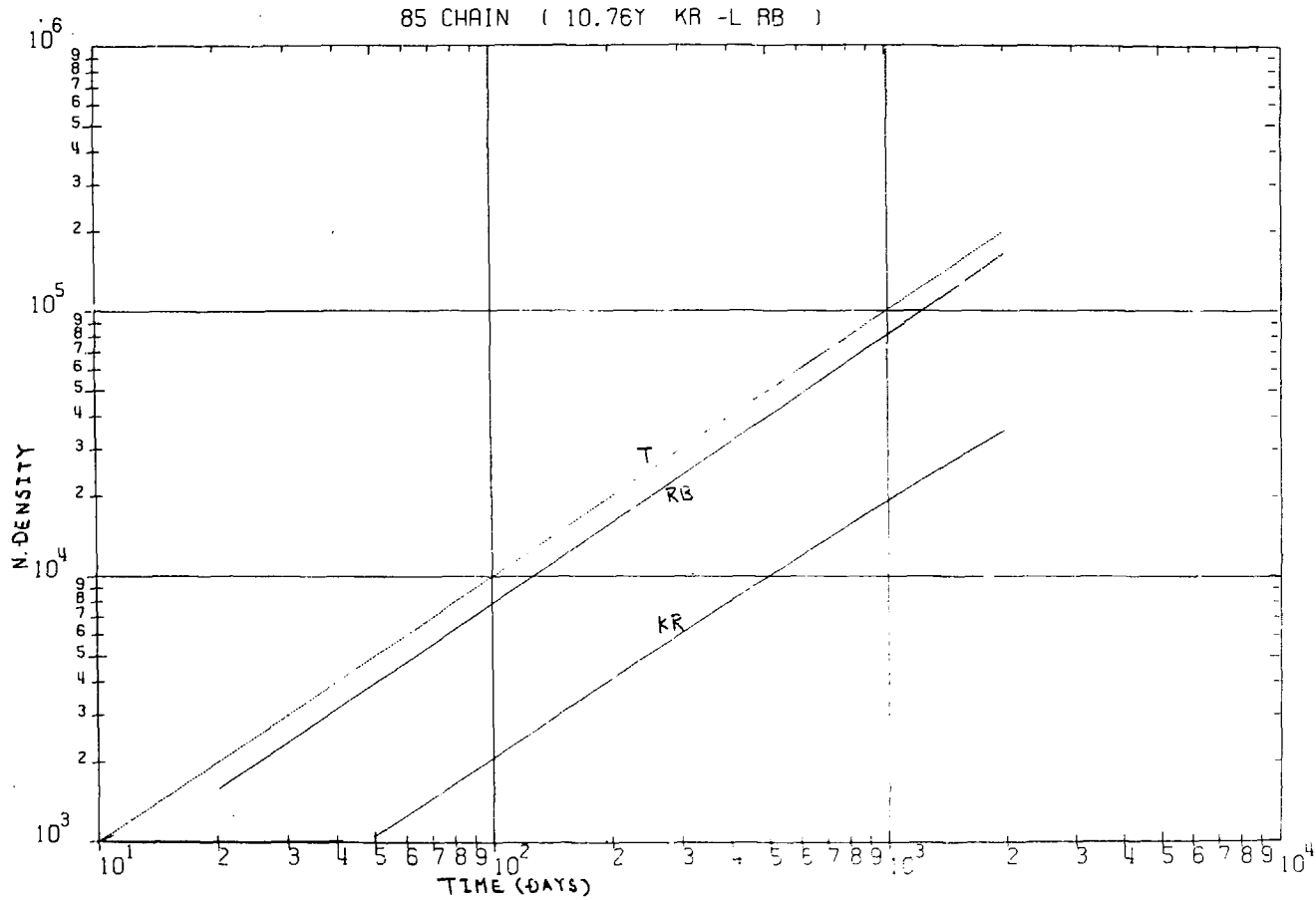


Fig. 2-2-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 85 F.P chain.

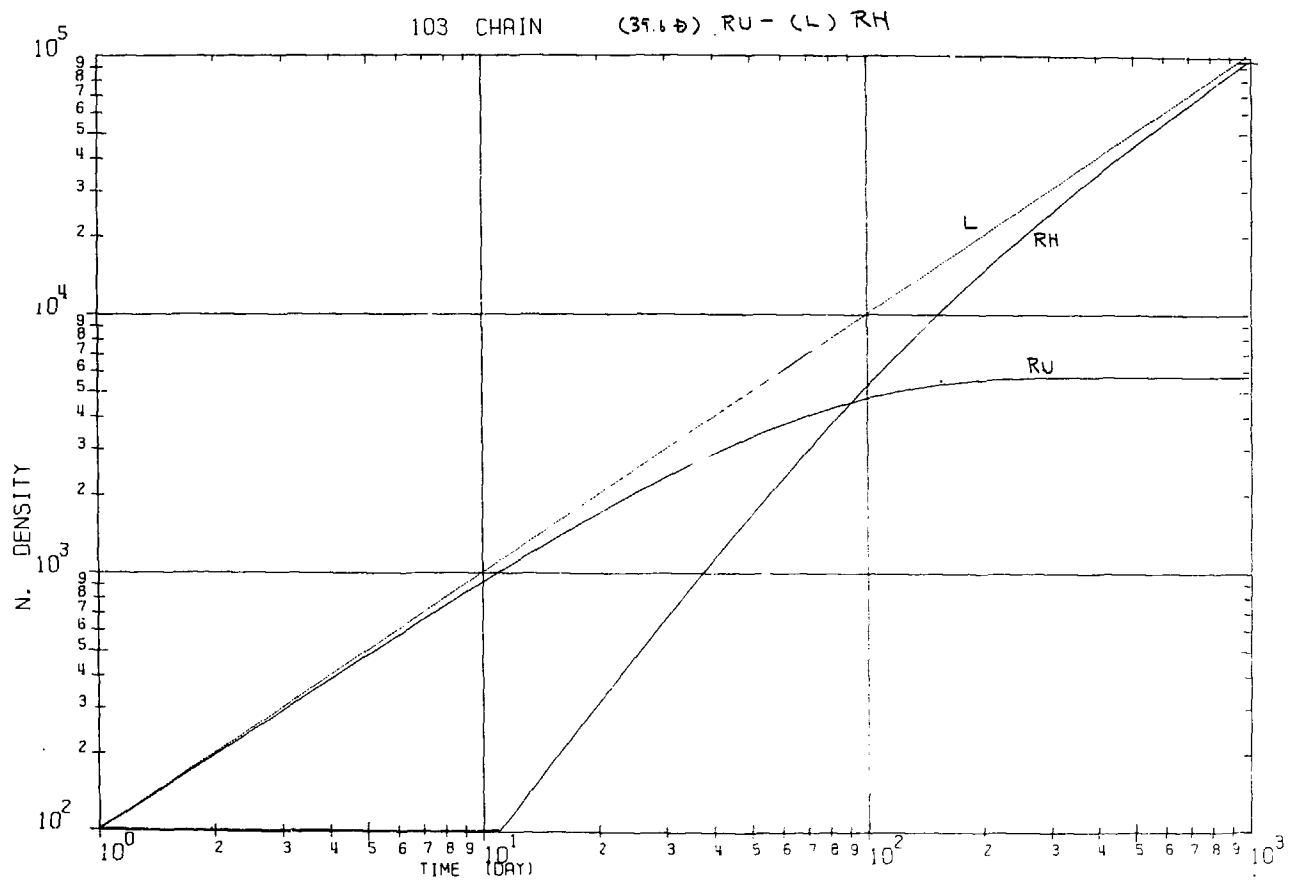


Fig. 2-2-2 Variation of number density with burn-up time for mass-number 103 F.P. chain.

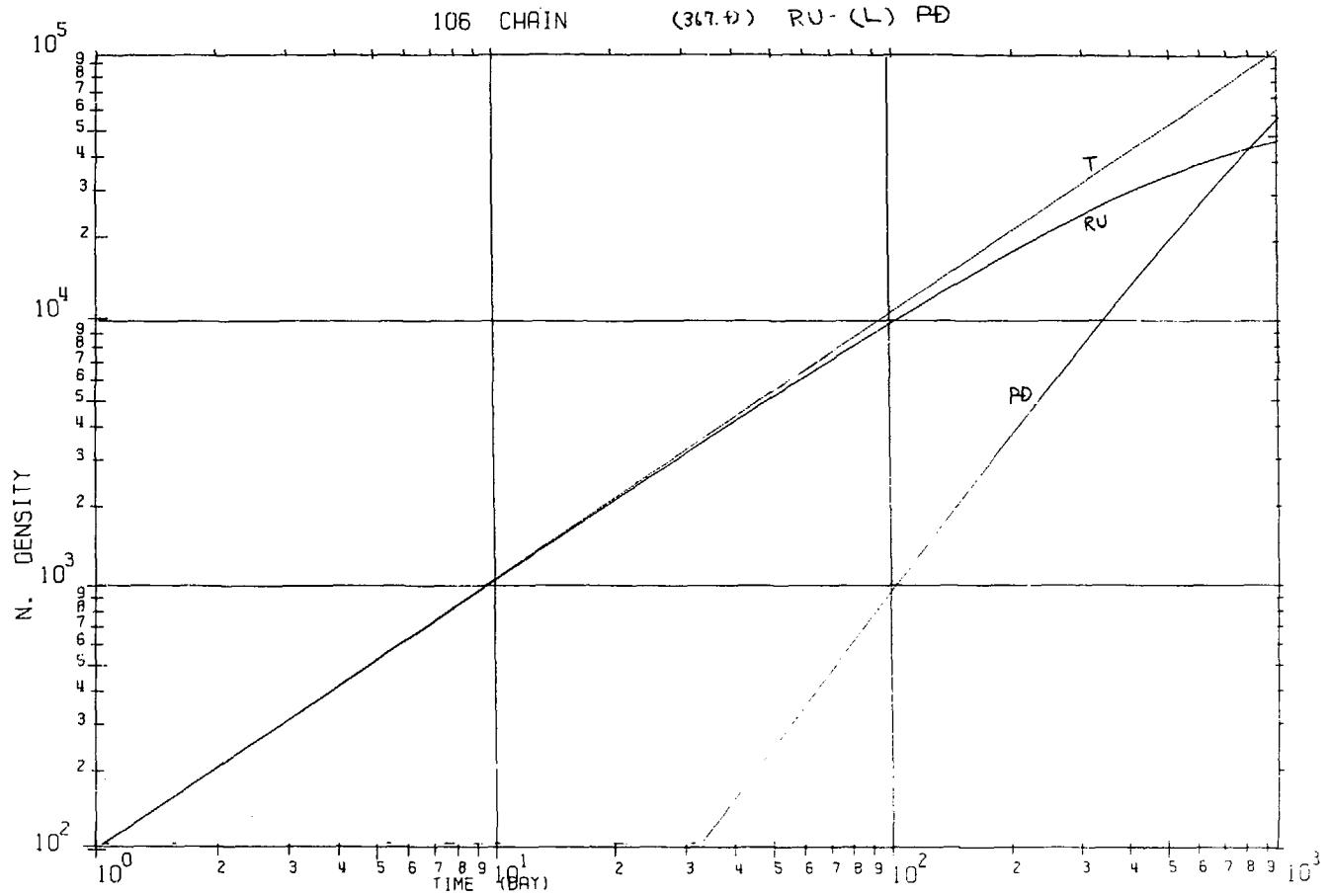


Fig. 2-2-3 Variation of number density with burn-up time for mass-number 106 F.P chain.

129 CHAIN (34D TE M -69M TE - L I)

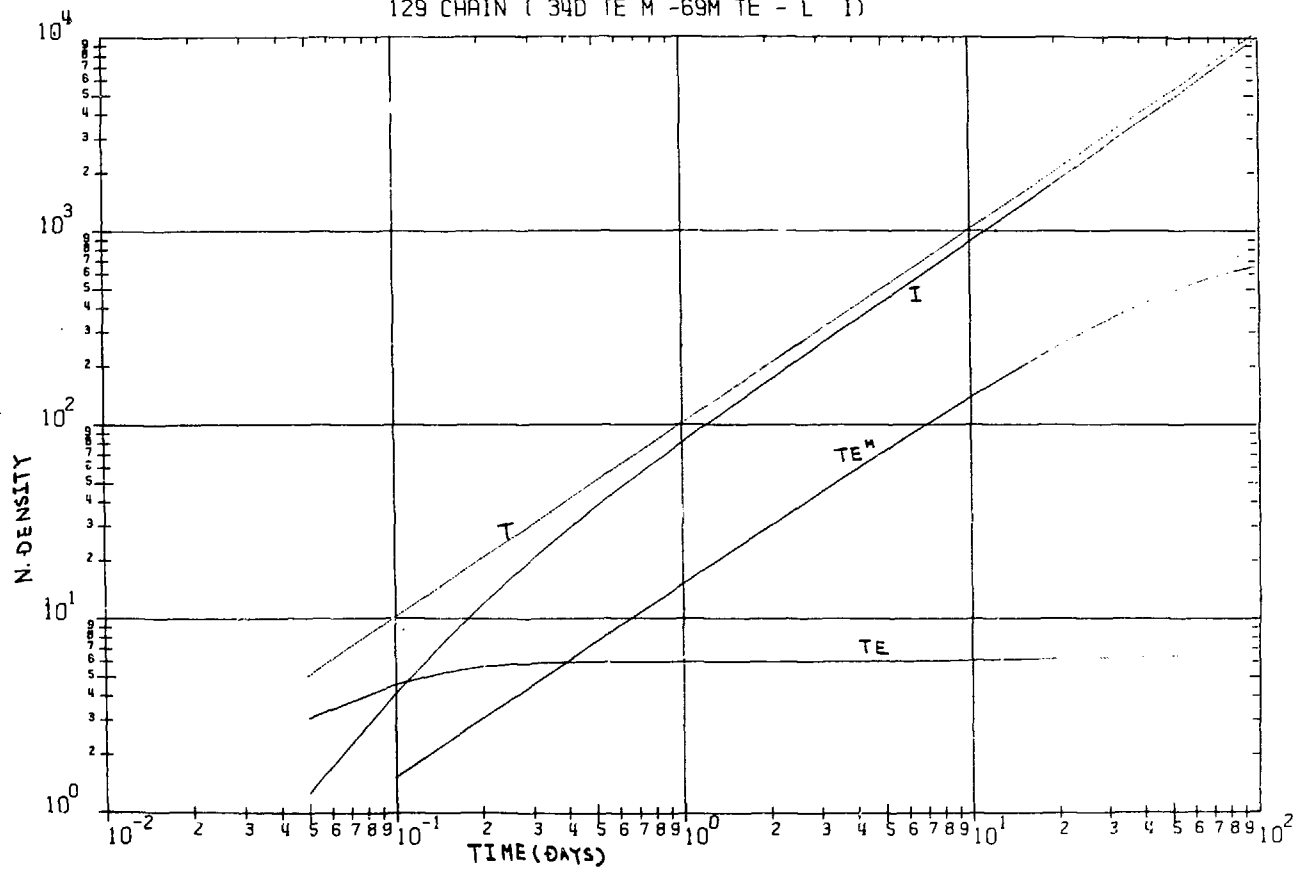


Fig. 2-2-4 Variation of number density with burn-up time for mass-number 129 F.P chain.

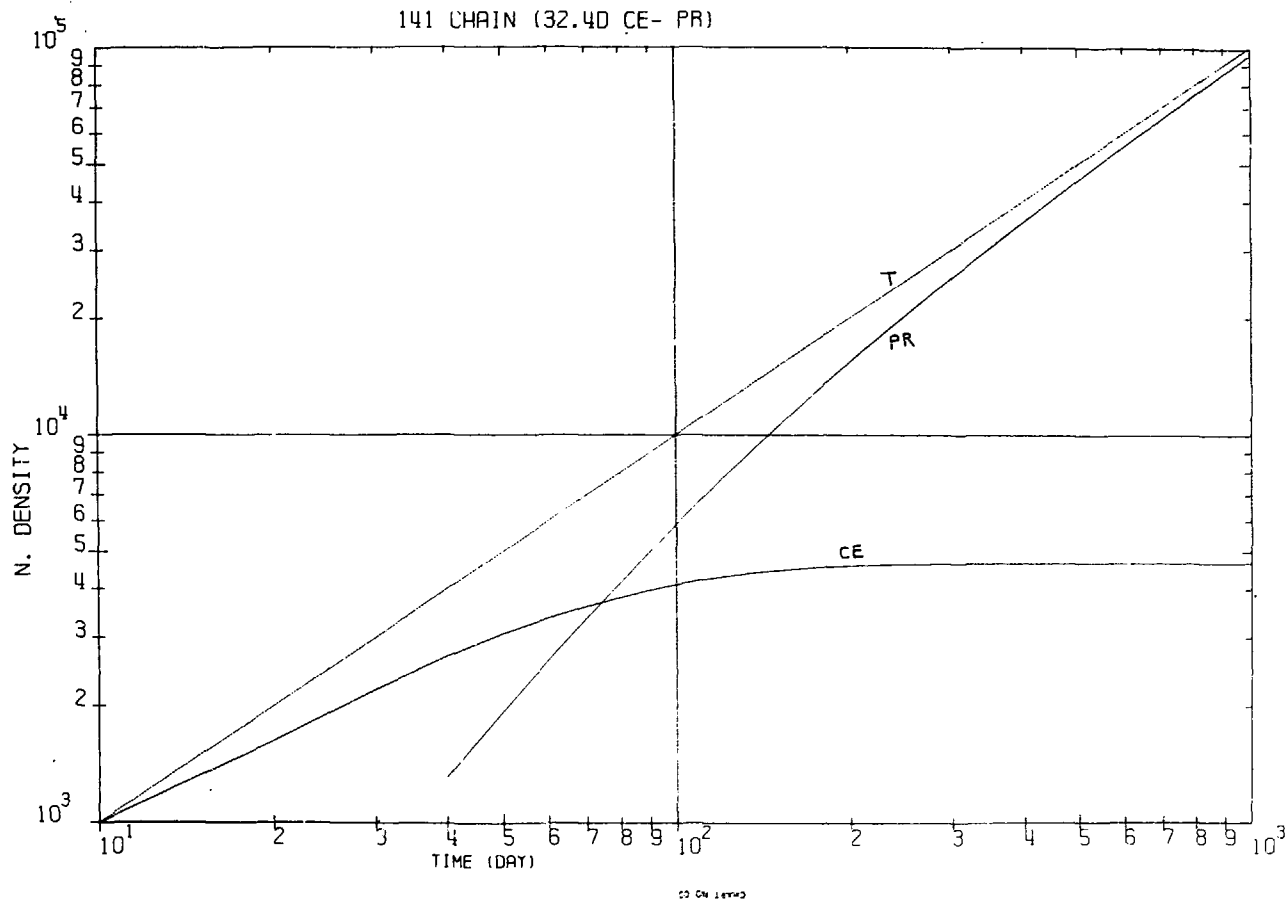


Fig. 2-2-5 Variation of number density with burn-up time for mass number 141 F.P. chain.

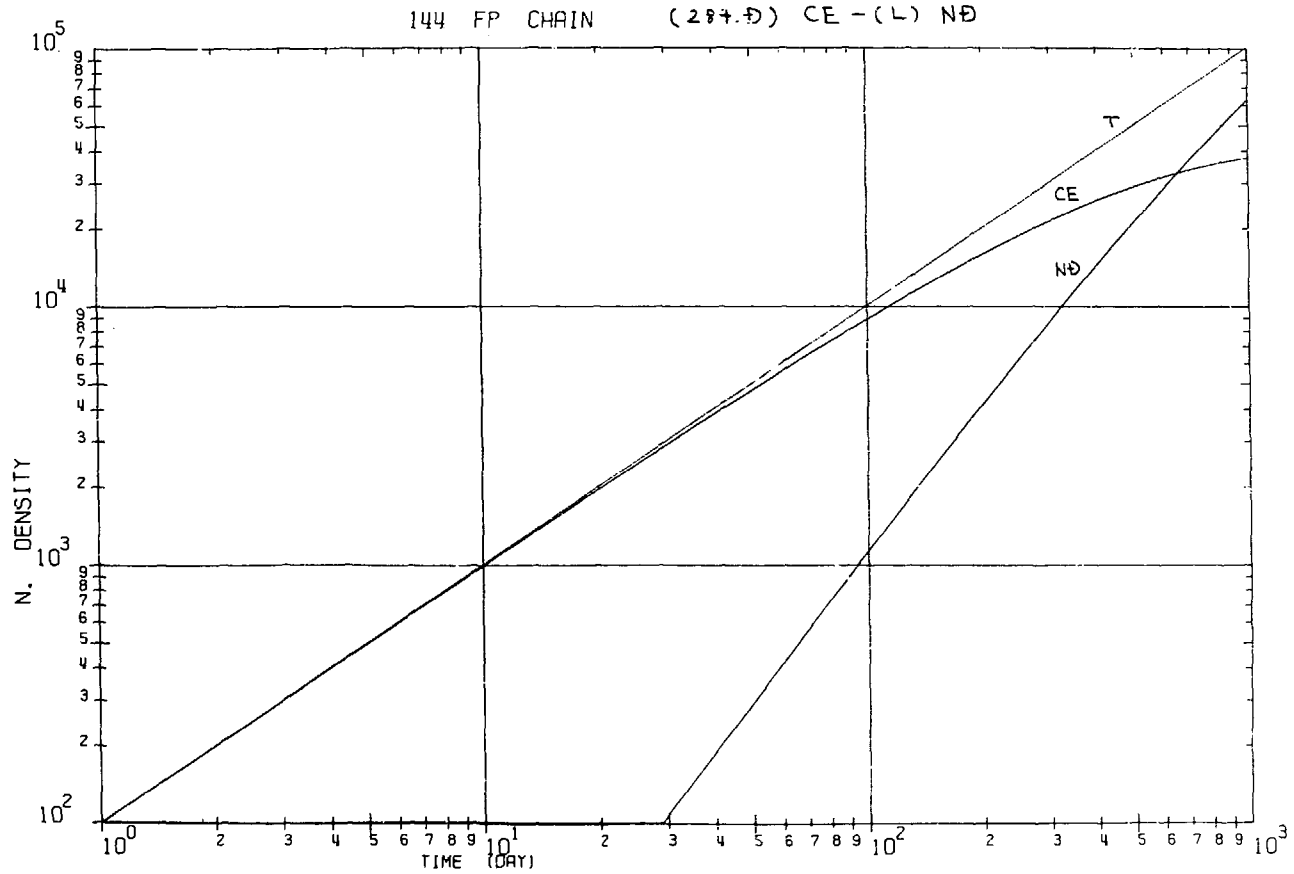


Fig. 2-2-6 Variation of number density with burn-up time for mass number 144 F.P chain.

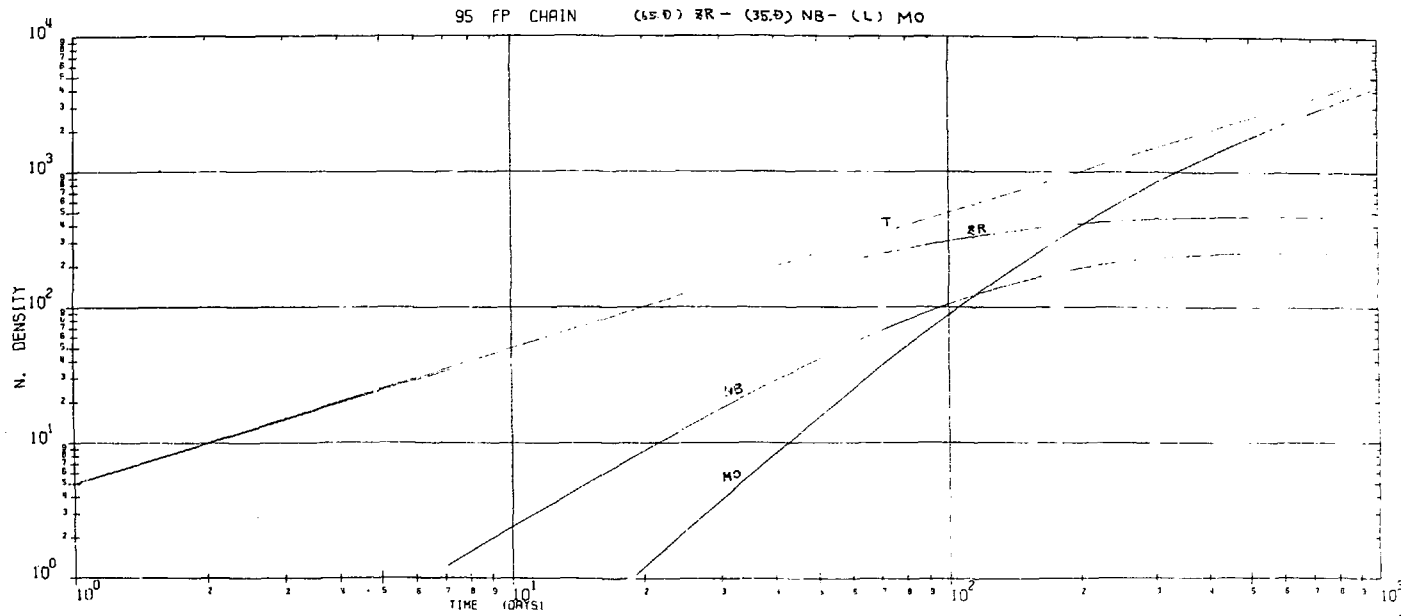


Fig. 2-2-7 Variation of number density with burn-up time for mass number 95 F.P chain.

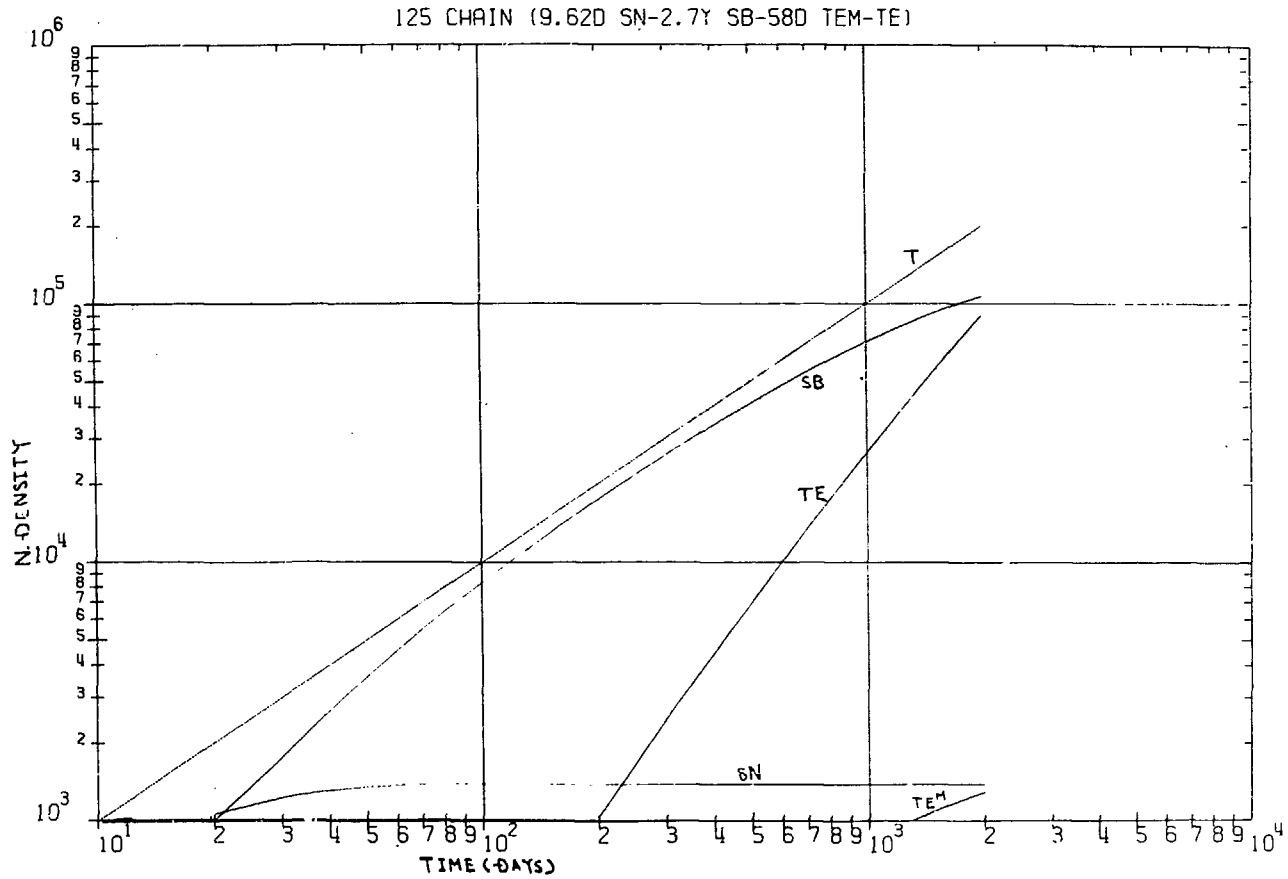


Fig. 2-2-8 Variation of number density with burn-up time for mass number 125 F.P chain.

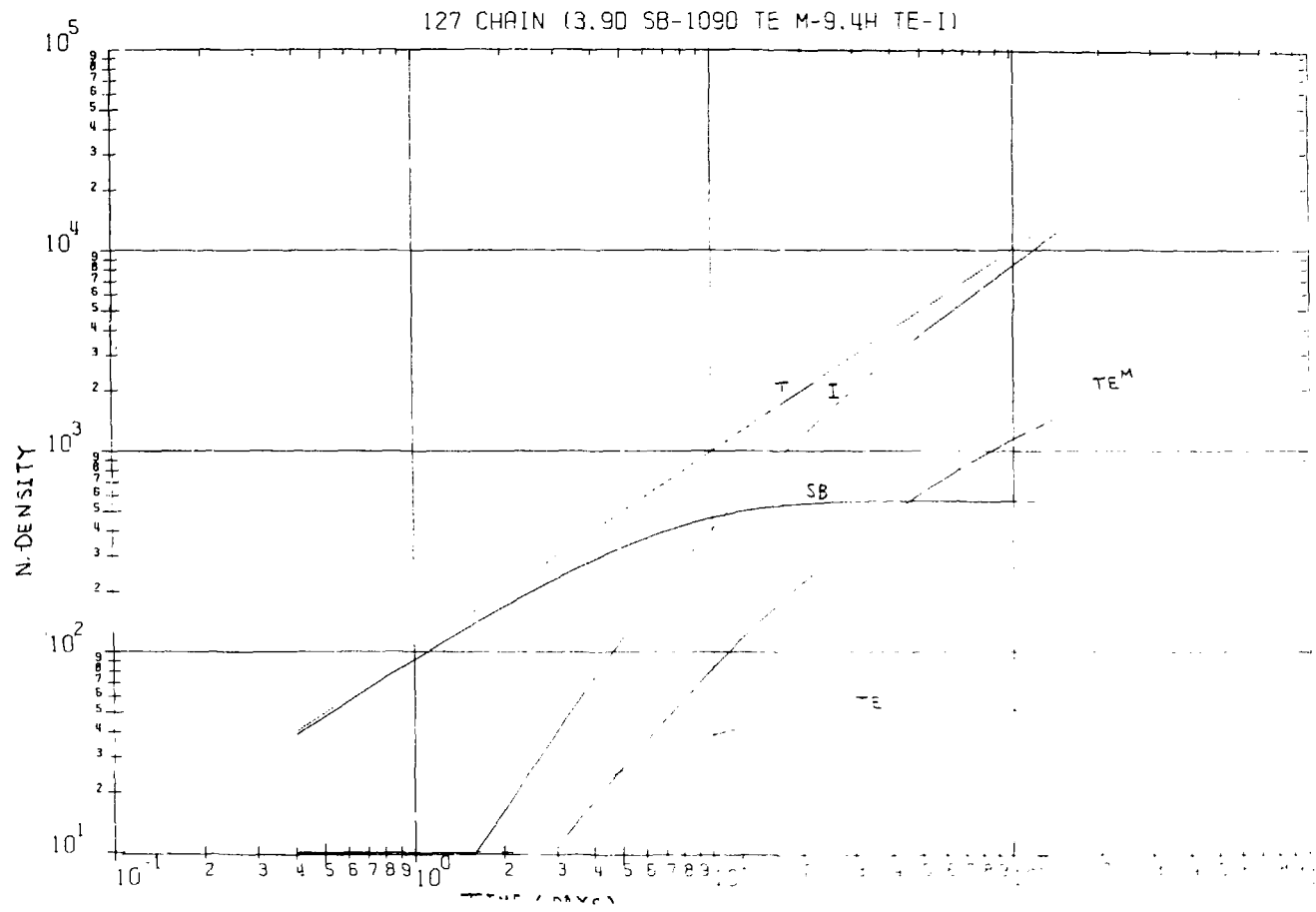


Fig. 2-2-9 Variation of number density with burn-up time for mass number 127 F.P. chain.

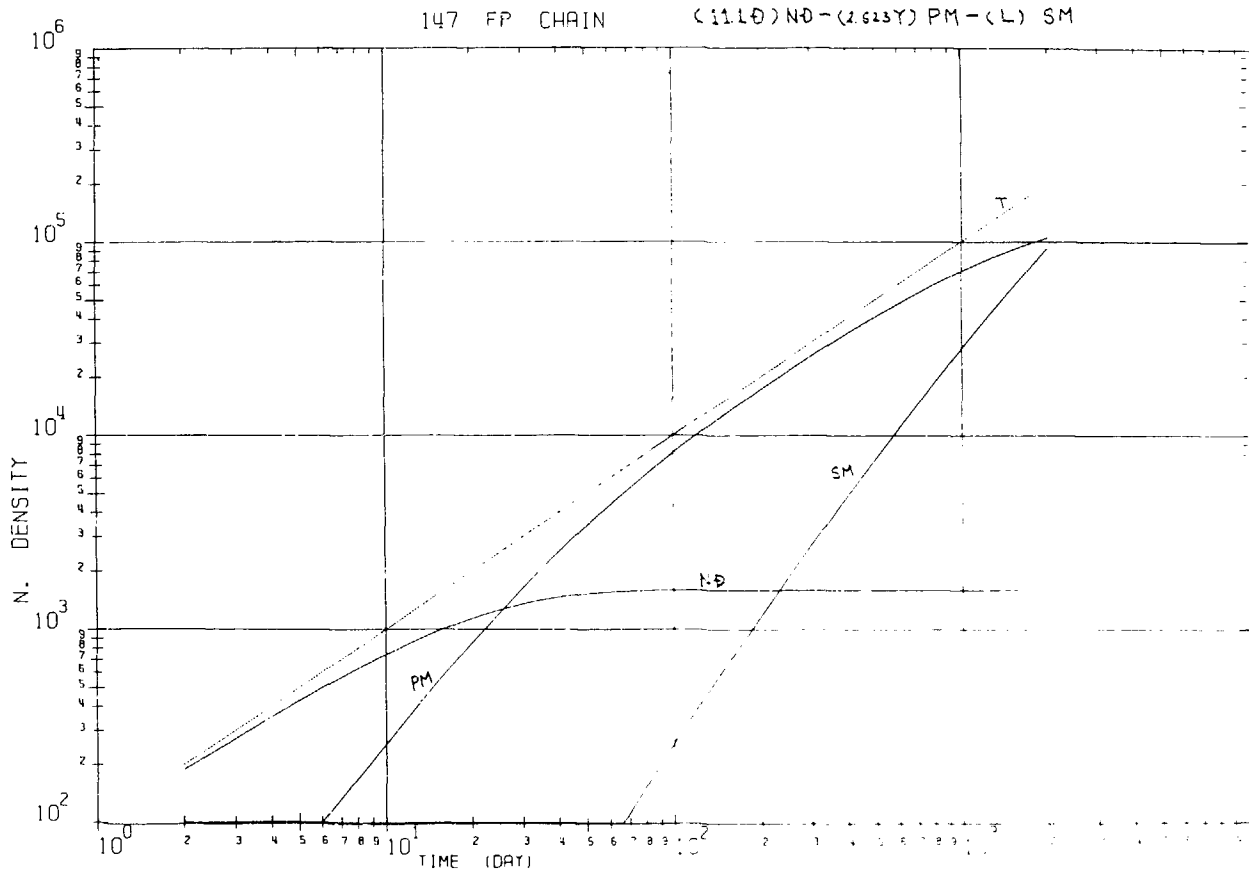


Fig. 2-2-10 Variation of number density with burn-up time for mass number 147 F.P chain.

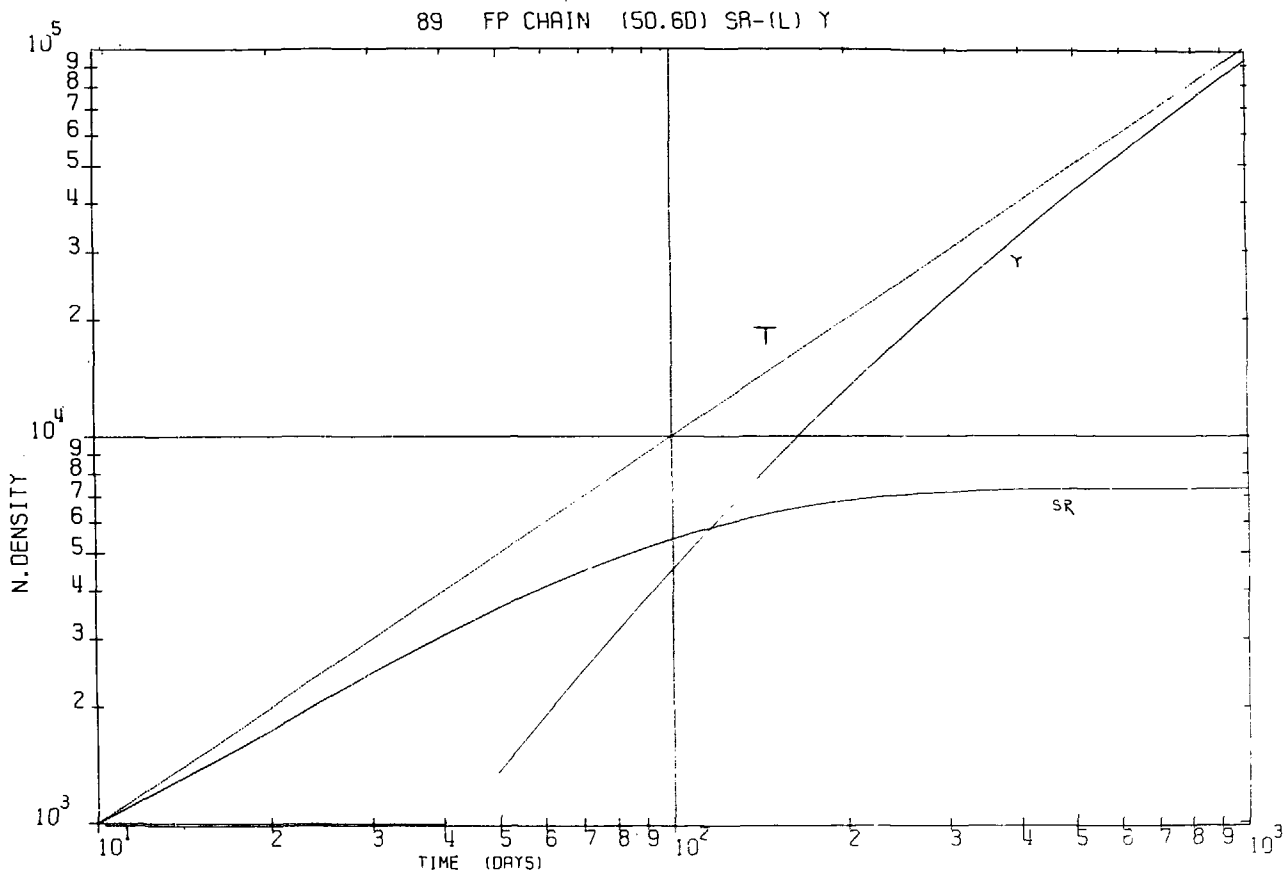


Fig. 2-3-1-1 Variation of number density with burn-up time for macs-number 89 F.P. chain.

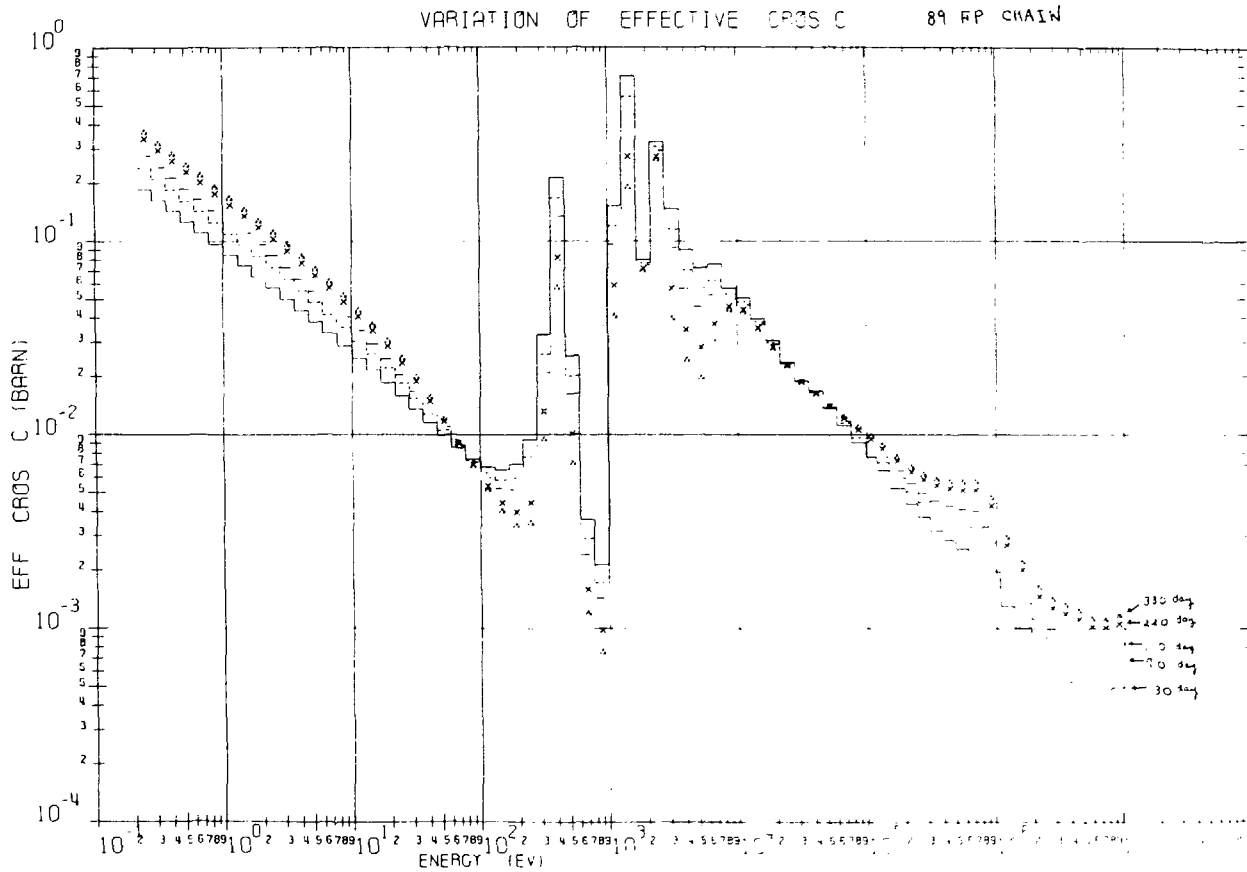


Fig. 2-3-1-2 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross section of mass-number 89 F.P chain.

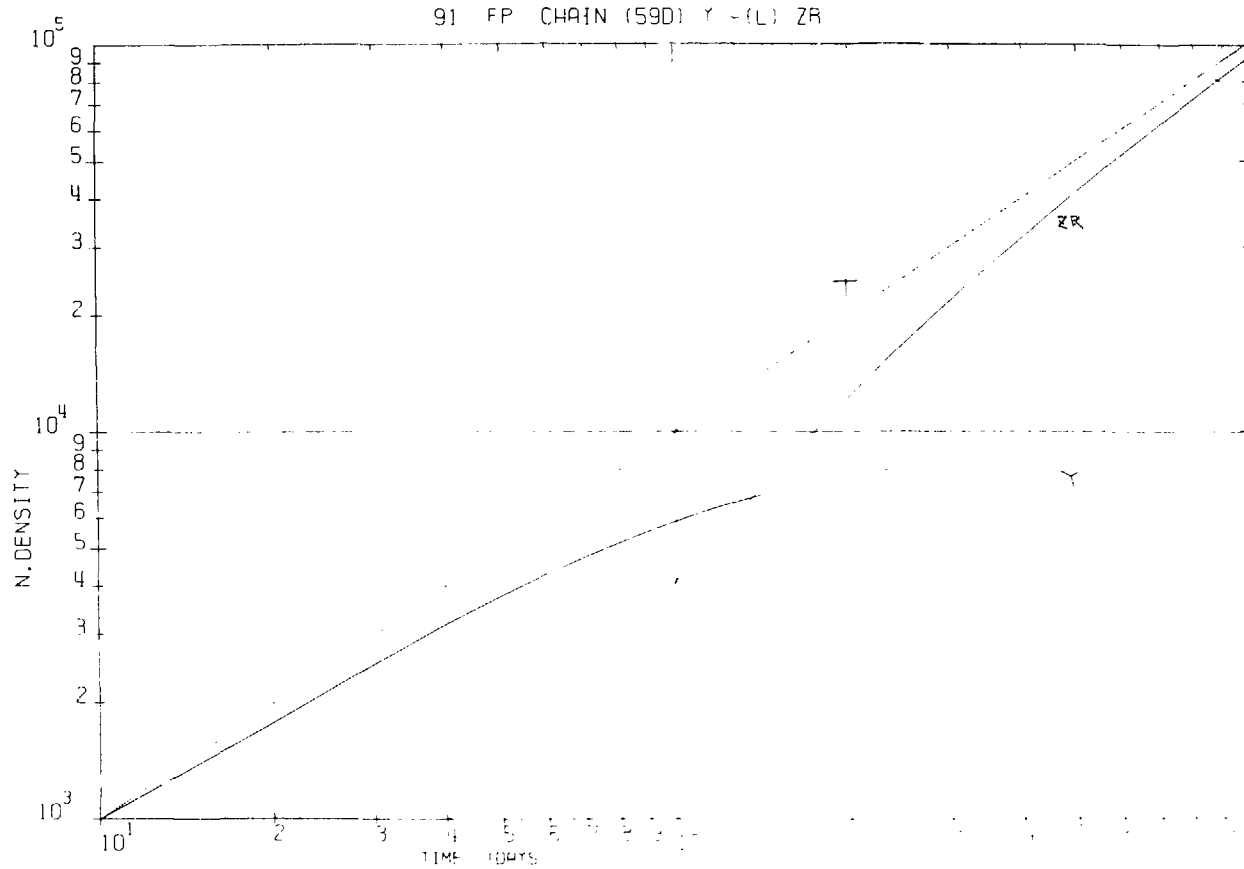


Fig. 2-3-2-1 Variation of number density with burn-up time for mass number 91 F.P chain.

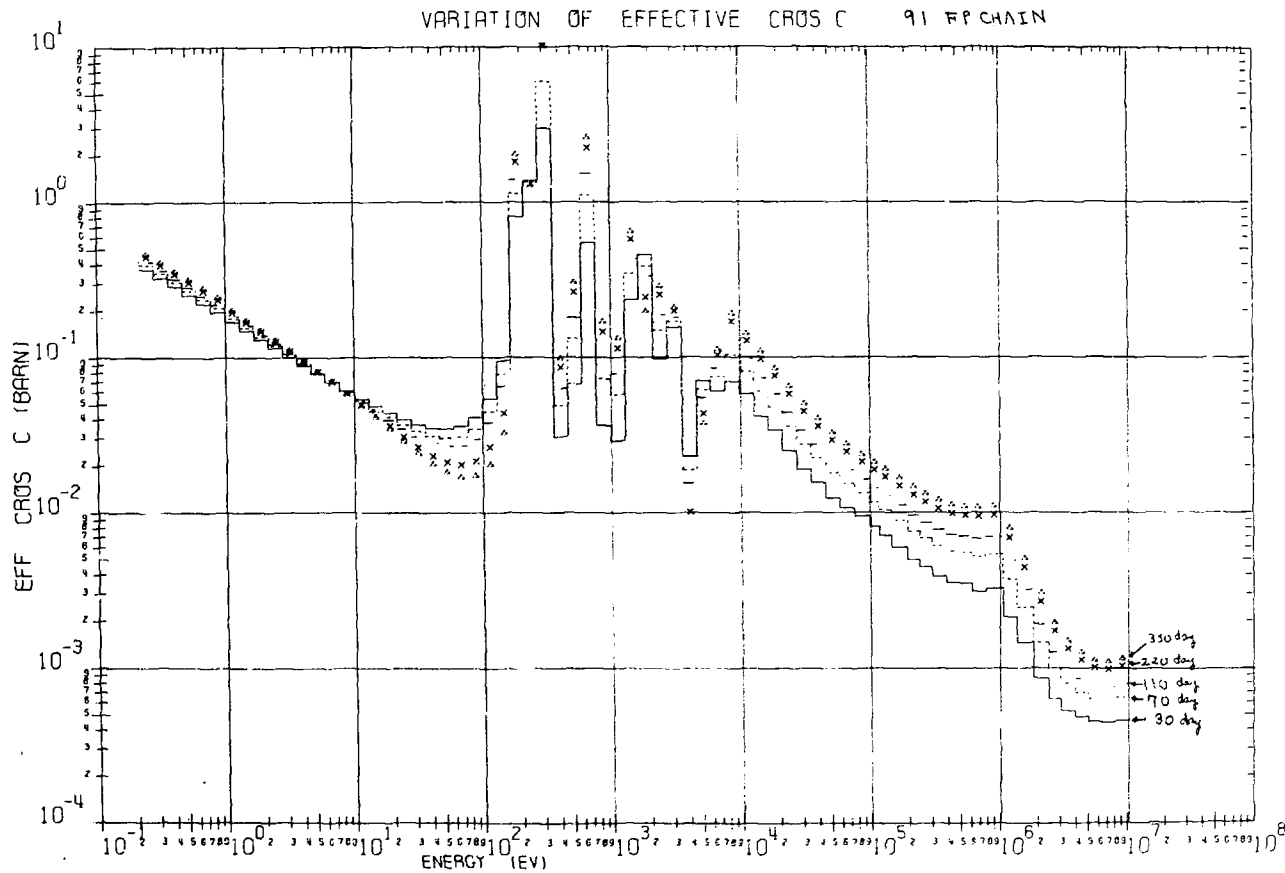


Fig. 2-3-2-2 Time dependence of 70-group average (n, γ) cross section of mass-number 91 F.P chain.

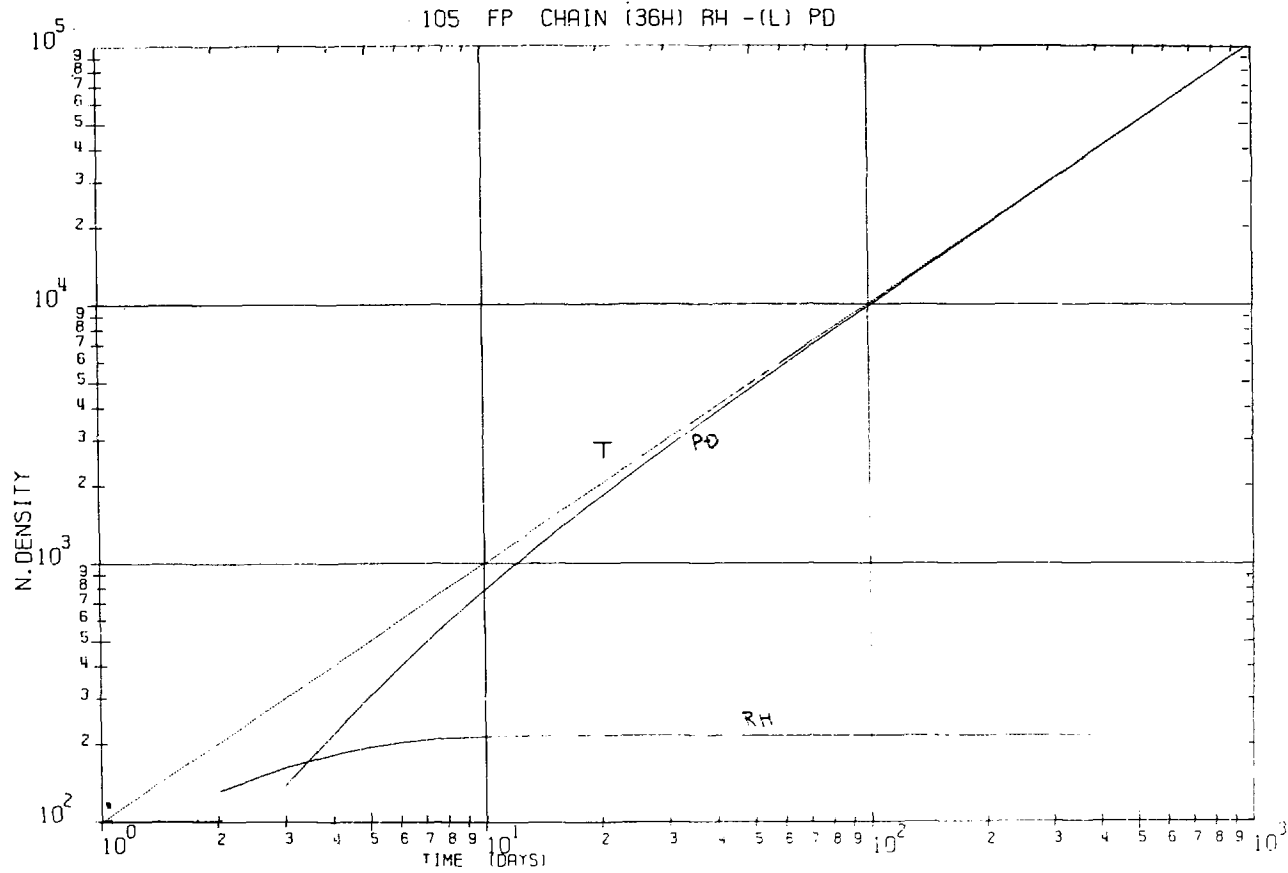


Fig. 2-3-3-1 Variation of number density with burn-up time for mass number 105 F.P. chain.

VARIATION OF EFFECTIVE CROSS SECTION OF MASS-NUMBER 105 F.P. CHAIN

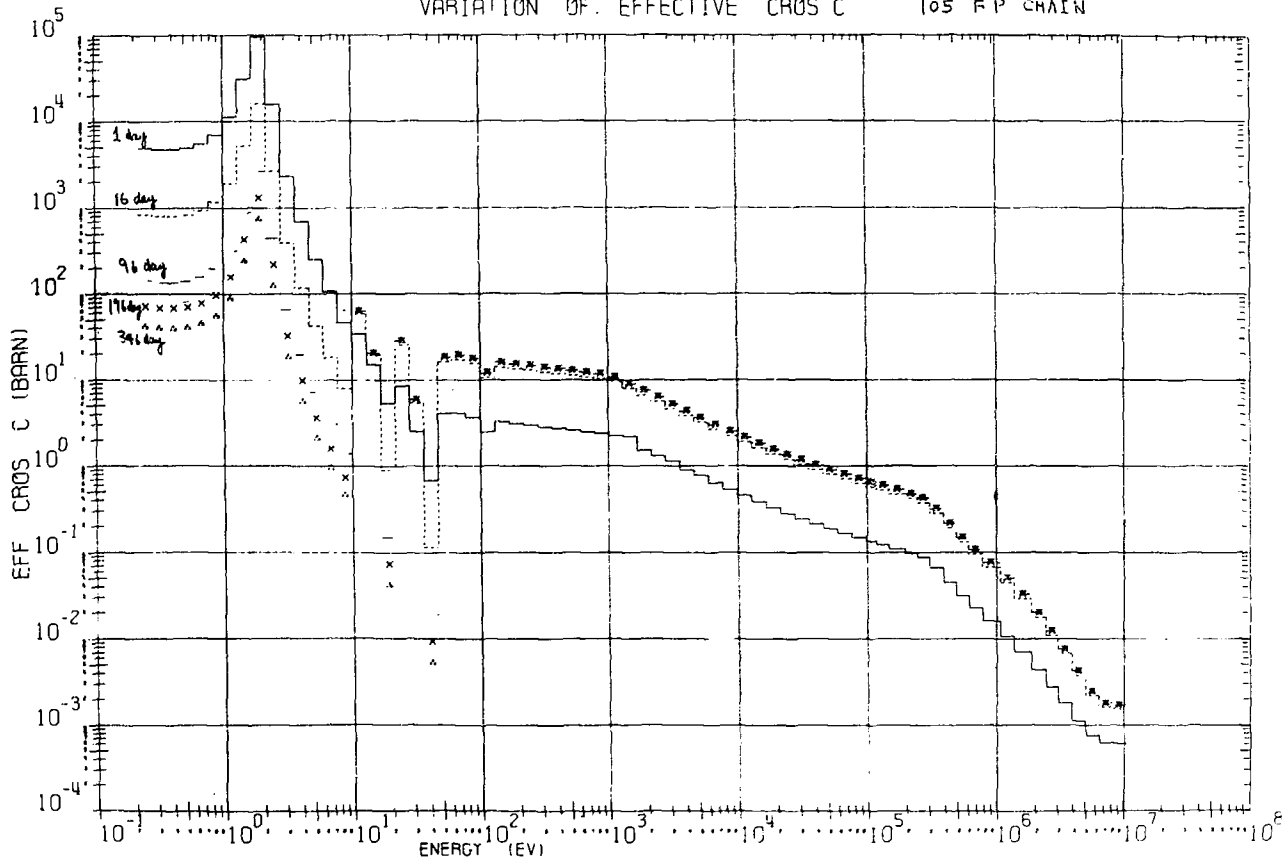


Fig. 2-3-3-2 Time dependence of 70-group average (n, r) cross section of mass-number 105 F.P. chain.

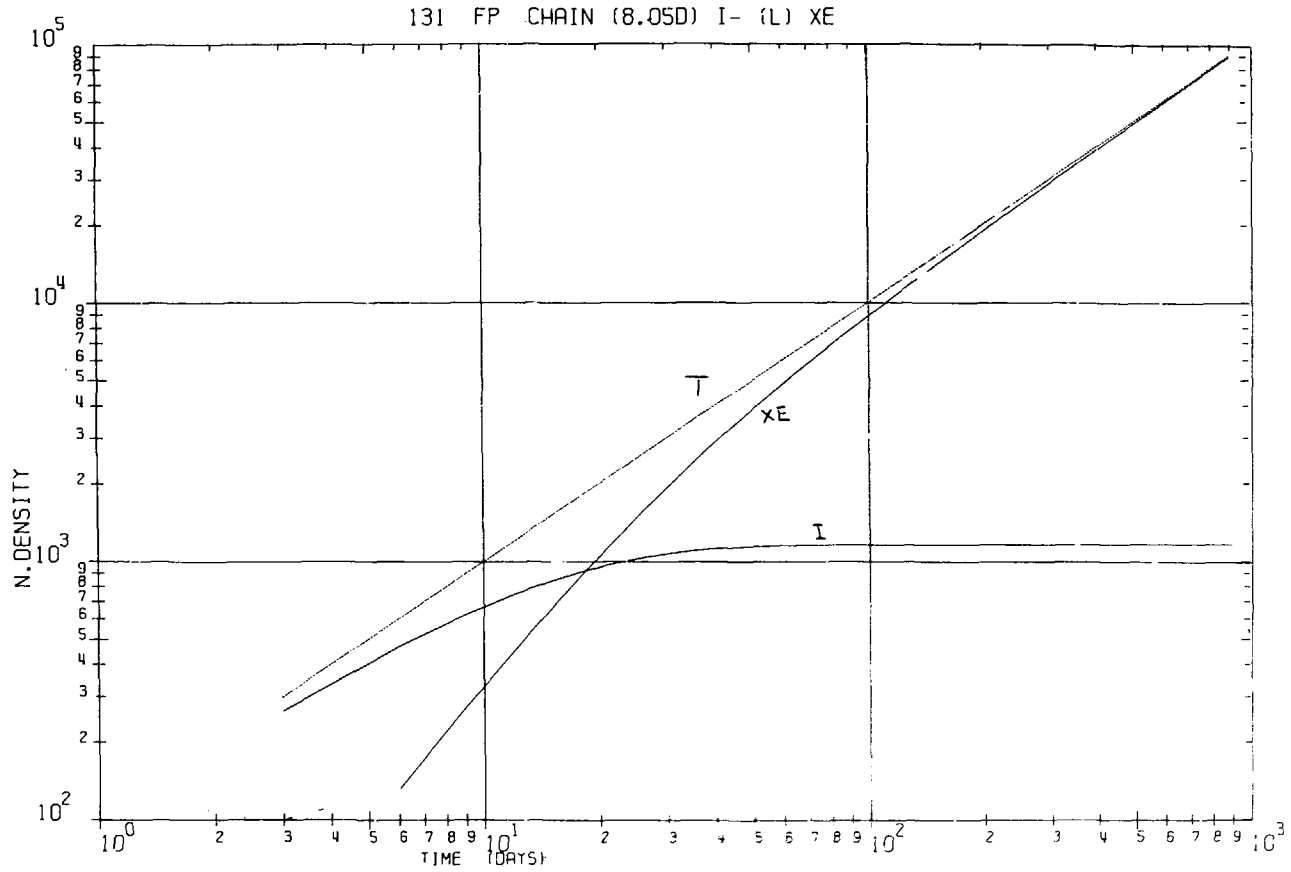


Fig. 2-3-4-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 131 F.P. chain.

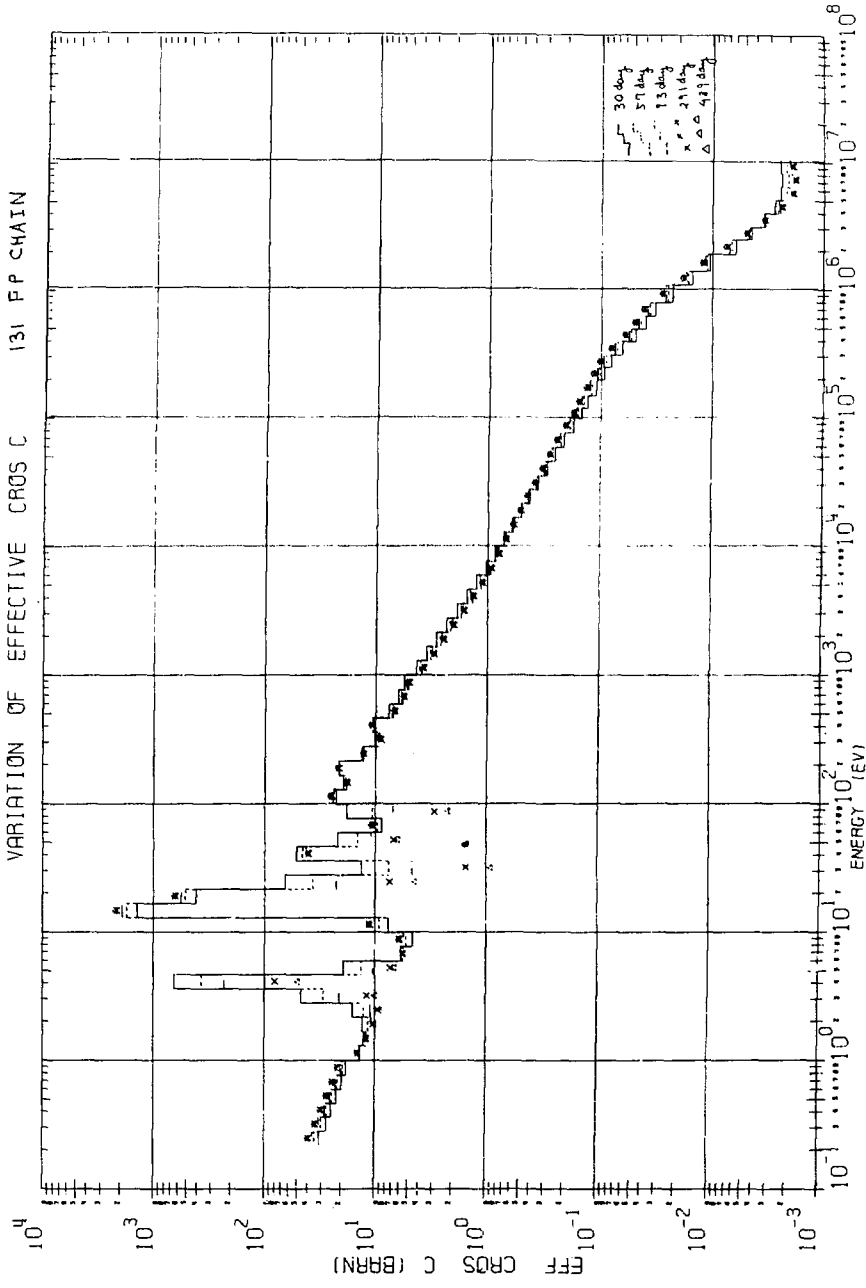


Fig. 2-3-4-2 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross section of mass-number 131 F.P. chain.

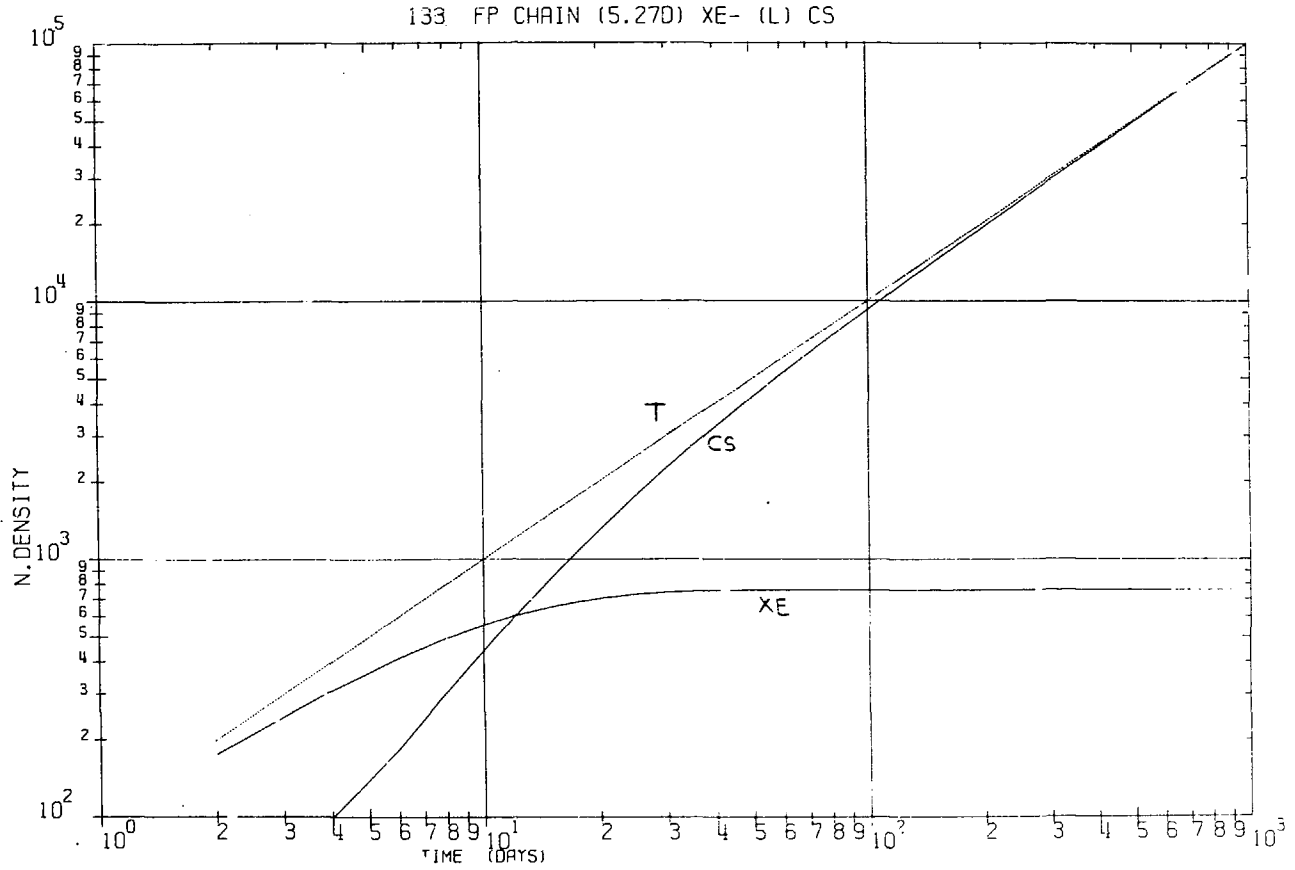


Fig. 2-3-5-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 133 F.P chain.

VARIATION OF EFFECTIVE CROSS C

133 F.P. CHAIN

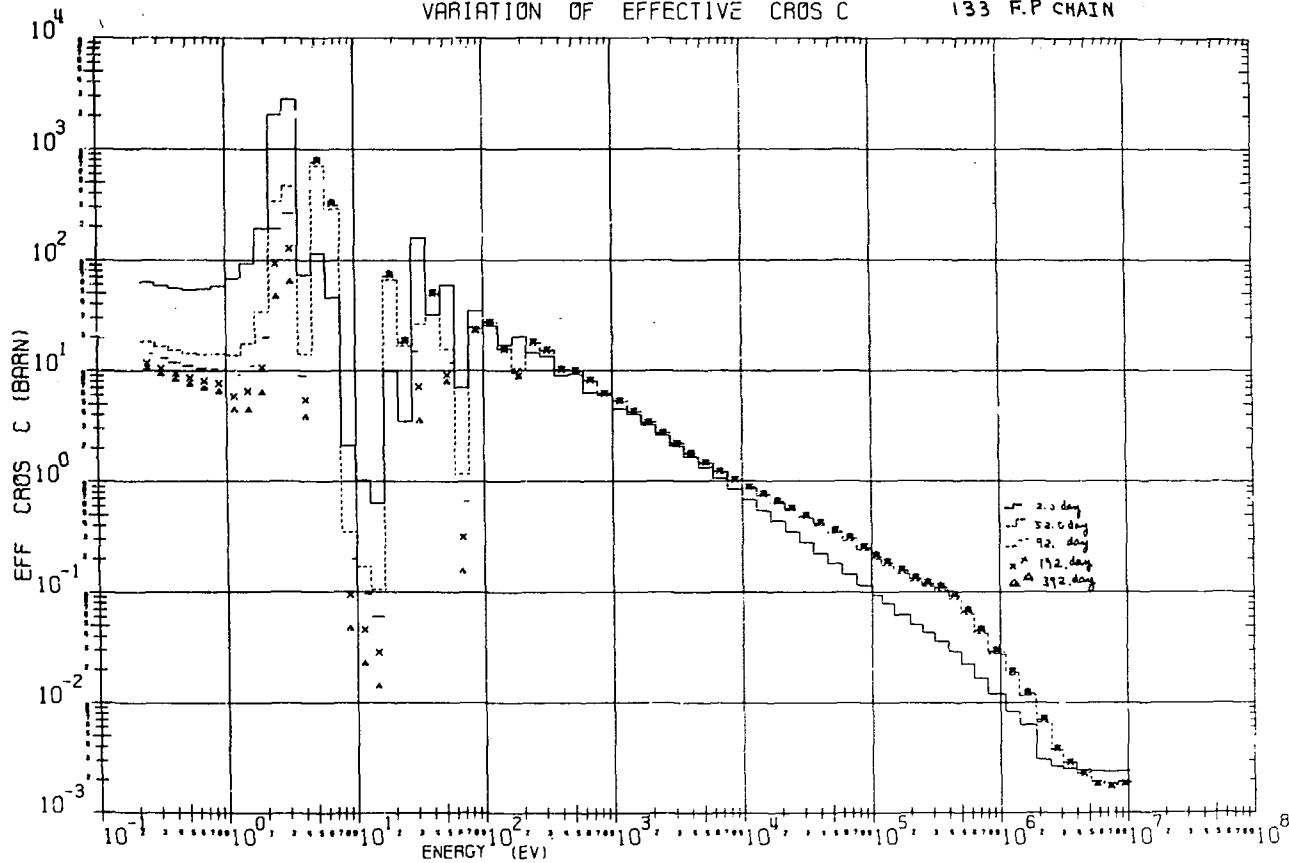


Fig. 2-3-5-2 Time dependence of 70-group average (n, γ) cross section of mass-number 133 F.P. chain.

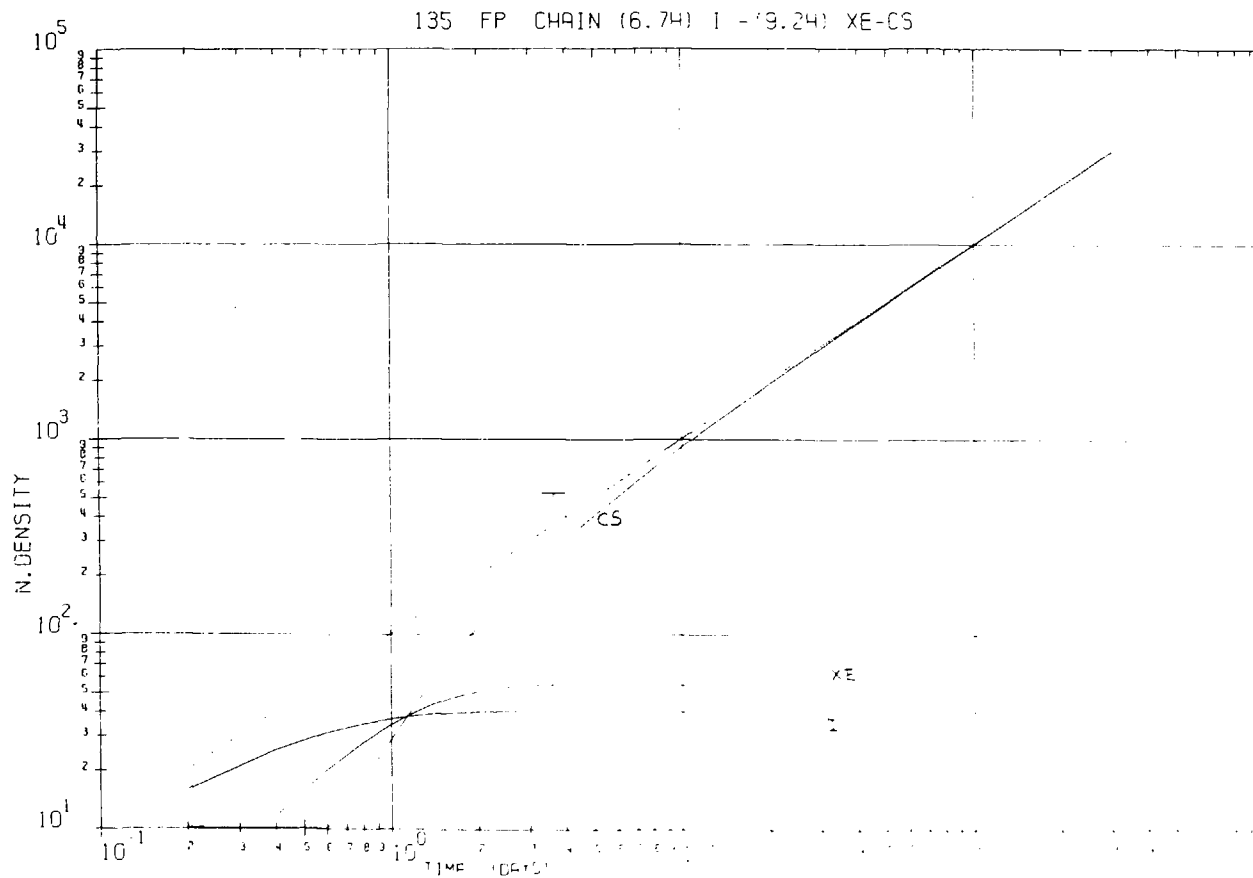


Fig. 2-3-6-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 135 F.P. chain.

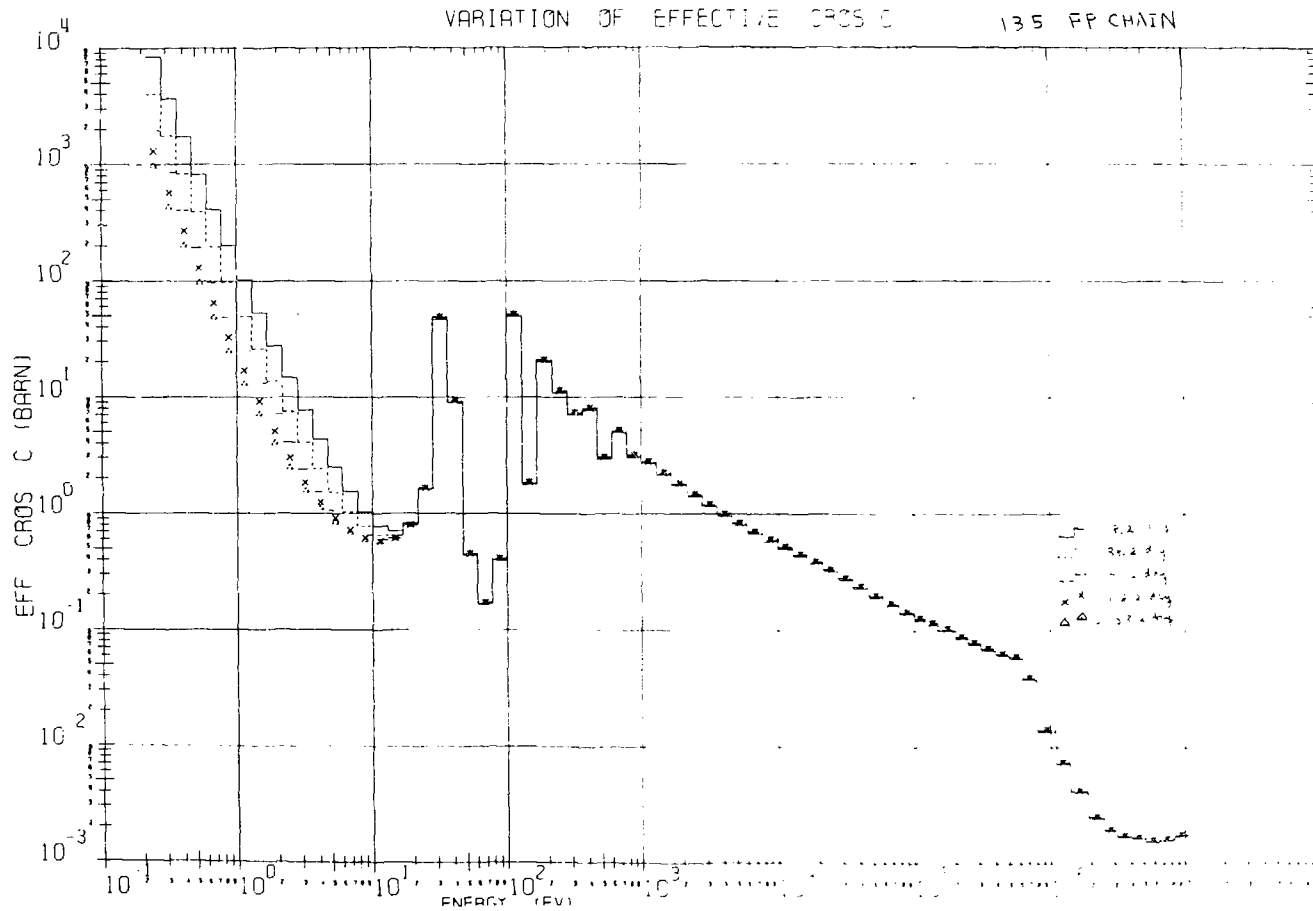


Fig. 2-3-6-2 Time dependence of 70-group average (n, γ) cross section of mass-number 135 F.P chain.

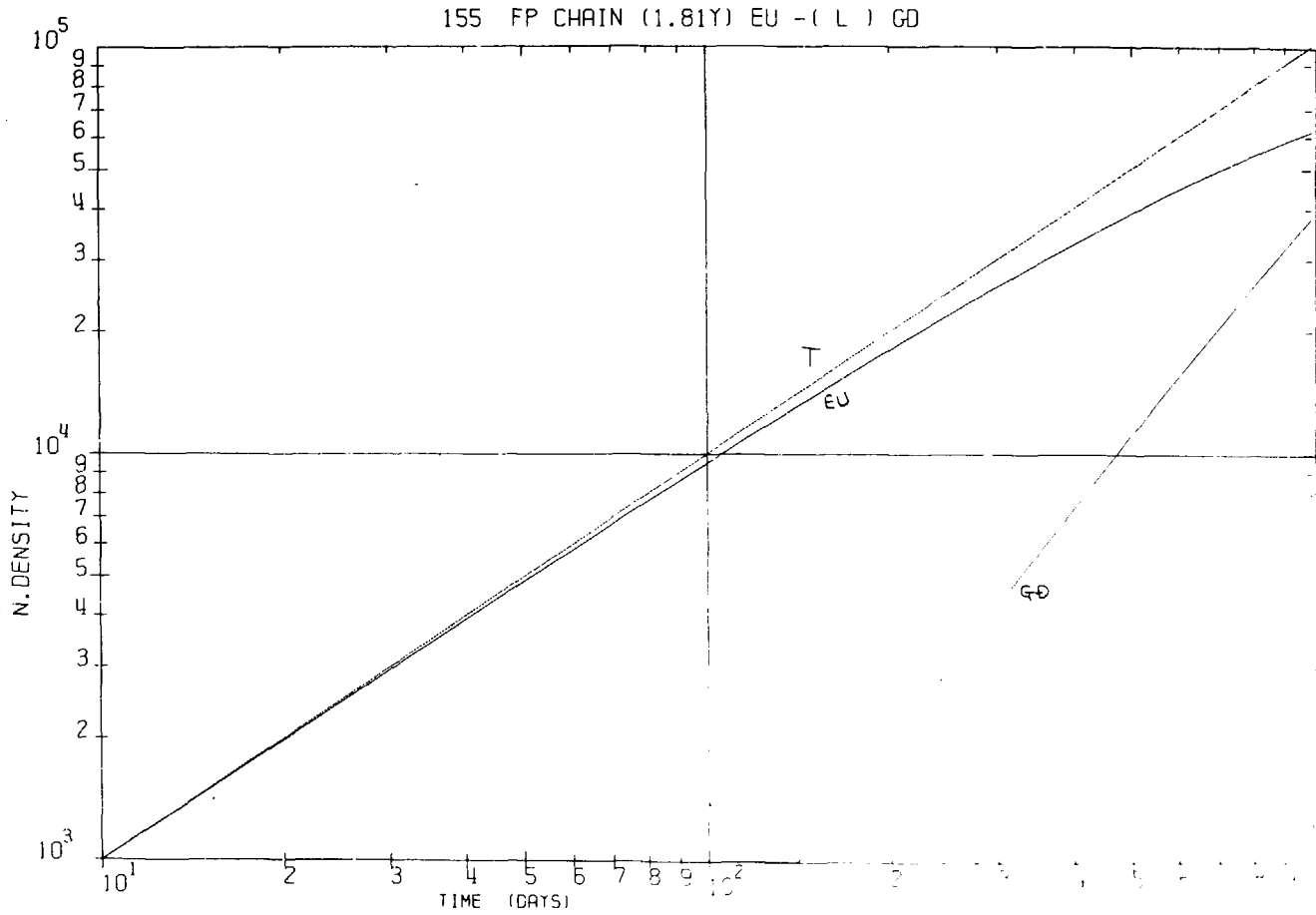


Fig. 2-3-7-1 Variation of number density with burn-up time for mass-number 155 F.P chain.

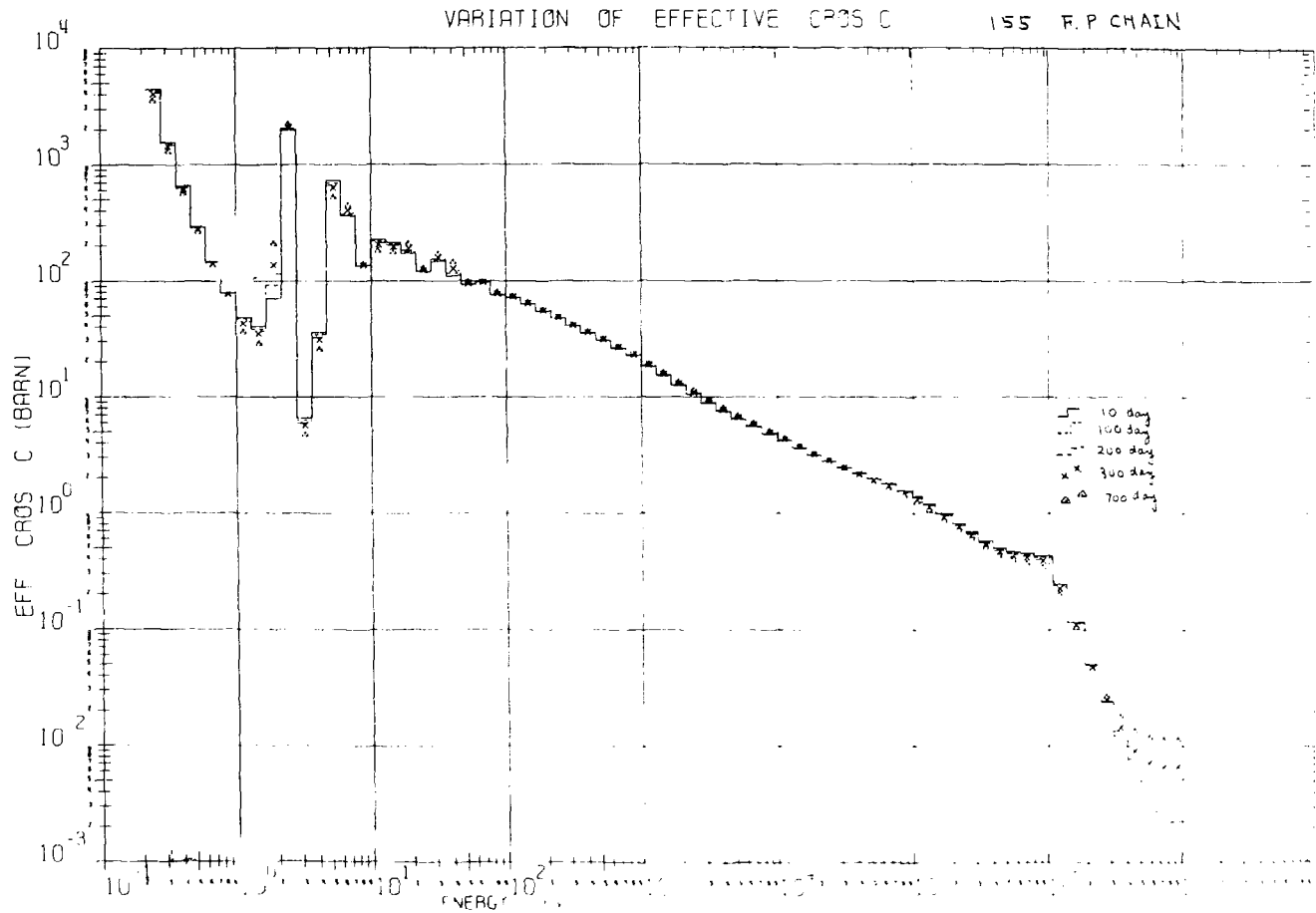


Fig. 2-3-7-2 Time dependence of 70-group average (n, r) cross section of mass-number 155 F.P. chain.

3. UKNDL-File)KDFP(n, Z) cross-section の偶奇性

前章で決定した UKNDL chain によって得られた $\sigma_i(E)$ の平均値 $\bar{\sigma}(E)$ は断面積の推定を試みることにする。ここでは UKNDL-File (3-1-1) の 78 核種の 70 組セットを用いて断面積の平均値 $\bar{\sigma}(E)$ と標準偏差 S の推定を試みるが、これは、各核種の断面積の偶奇性に依存 (magic number) したものであつた。

3.1 equal weight にもとづく 78 核種断面積の偶奇性

UKNDL-File⁶⁾ で与えられている核種の物理量に Z (原子番号), N (中性子数) の pair についての odd-even effect, A (質量数), Z (原子番号), N (中性子数) とそれぞれ odd-even effect を与付た上で equal weight をおいて統計処理を試みた。

ここで equal weight とは次のような意味である。

各核種 i における $o-e, o-o, e-o, e-e$ (ここで o, e は N (中性子数) $- Z$ (原子番号) の形で, o は odd, e は even を表わす) の category 別 $\sigma_i(E)$ の category 別 $\sigma_i(E)$ の i について weight 1 での統計処理。

$$M = \bar{\sigma}(E) = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_i(E)}{N} \quad M: \text{mean}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\sigma_i(E) - \bar{\sigma}(E))^2} \quad S: \text{standard deviation}$$

N は各 category に属する核種の数

$\sigma_i(E)$: 各核種のエネルギー E の group 別断面積

その結果を表で示す (Tables 3-1-1, 3-1-2, Figs 3-1-1, 3-1-2)

Table 3-1-1, Fig. 3-1-1 からわかるように、平均的にみて断面積の大きさは、 $o-o, o-e, e-o, e-e$ の順に小さくなっているが、長さ \sim が定まる $o-o$ 核は 78 核種の中には極めて少ないので、統計性の精度は十分でないであろう。

Table 2-1-2, Fig. 2-1-2 に示されるように A (質量数) が奇数の核については、平均的な断面積は他よりも一層もかなり高く ($o-o$ 核を除くと)、したがって奇数核については十分な断面積評価が幾度されるものと思われる。

3.2 yield weight にもとづく 78 核種断面積の偶奇性

3.1 では、各核種の weight は全て同じ weight であったが、核物理的にみて重要な FP の核種は mass-yield curve で valley よりも peak にある核種である。

核分裂核種として $Pu-239$ を選び、その yield data は Meek and Rider による data

を採用した。

同一の偶奇性を持つものに対して、次の式で平均値を算出する。

$$M = \bar{\sigma}_c(E) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sigma_i(E)}{\sum_{i=1}^N y_i}$$

M : mean

y_i : 核種 i についての yield (number density)

$\sigma_i(E)$: 核種 i の energy group E での断面積

N : 各 category に属する核種の数

解析結果を Table 3-2-1, Fig 3-2-1 に示す。

その結果 3.1 における equal weight による取扱いのものより standard deviation はかなり減少しており、取りまわっているものの、まだかなり大きいといわねばならない。

3.3 energy group 別にみた各 F P 核種の断面積の偶奇性

Figs 3-3-1 ~ 3-3-8 (1), DKNDL(n, r) cross section の odd-even effect を見るために mass number を parameter として示したものである。graph からわかるように、(n, r) 断面積は平均値のまわりに変化が ±1 の factor の内に (平均値が 1 とすると 1.0 ~ 0.1 の間という意味) 分布している。これらのグラフから次の 2 つの特徴がみつけられる。

A 一般的傾向

N=50, Z=50, N=82, Z=82 の magic number の核種 (N=50 のものには ^{89}Y , ^{88}Sr , ^{87}Rb , ^{86}Kr があり, N=82 のものには ^{141}Pr , ^{140}Ce , ^{138}La , ^{138}Ba , ^{137}Cs , ^{136}Xe , ^{135}I がある) の所で, 断面積は一様にかなり低くなっており, 極めて安定な核となっていることを示している。又 mass number が変化した場合の断面積の変化の傾向では, magic number をとる部分で低くなるブーチ型の分布をしていることがはっきりでている。

当然予想されるように, これらのグラフから個々の核種の断面積の odd-even effect をみると, odd-odd 核 (+印) が全体的にみて cross section が最大であり, 次いで odd-even (×印), even-odd (○印), even-even (△印) の順になっている。

F P の断面積を lumping 化する場合には, yield と cross section の大きい所程重要であり, 上のことから mass number A の odd 核がきわめて重要になってくることが理解されよう。一方 A が even の核で odd-odd 核となるものは, 安定な核はかなり少ないので余り大きな寄与をするとは考えられない。

B energy group 別の傾向

次に energy group 別にみていくと Fig 3-3-1 の 1st group では (10.5 MeV ≤ E < 8.3 MeV), ほとんどの核種の断面積が magic region を除いて, きれいに直線上にのって, cross section が mass number について一定という奇妙なことになっているが, こ

れは Benzi et Bortolani の direct capture の計算 model が mass number にそれ程よらないものをとったためである。この energy region では (n, p) , (n, α) の threshold reaction がかなりきいてくるため、capture process として、これらの reaction を本来は考慮に入れる必要があるものと思われる。

energy が下がっていくにつれて、 (n, γ) 断面積のばらつきは大きくなっていき、ほど 40 th group (≈ 600 eV) 以下では deviation はものすごく大きくなってしまい、平均値のまわりに factor で ± 3 (平均値が 1 とすると $10^3 \sim 10^{-3}$ 位の分布) 位の所に分布していて統計性は悪くなっている。(c.f Fig 3-3-3 ~ 3-3-7)。この energy region ではもはや用いた UKNDL data からは統計性は得られない。したがって、energy の低い所での偶奇性にもとづく断面積の統計性は余りよくなく、断面積の統計性にもとづいて、与えられていない核種の断面積を推定することは、この低いエネルギーではかなりの誤差を生じると考えられる。よって、100 eV 以下の energy のかなり低い部分の取扱いは、ここで統計性にもとづく取扱よりも、もっときめ細かい取扱が必要である。さらに、各 mass number A についての同重核系列の核種については、統計性がとれる程の断面積のデータはない。

3.4 断面積の偶奇性について

3.1, 3.2 で取扱ったように equal weight と yield weight とで σ_i , 特に下の group (energy の低い) で大きな差異が存在する。これは低エネルギーの領域で非常に大きな capture の resonance の影響によるものである。すなわち、equal weight の場合には、たとえば 10^8 (barns) 位の capture cross section の大きさを持つとすると、 N (各 category に属する核種の数) がせいぜい 20 位のために平均値は $10^4 \sim 10^8$ という大きなものとなり、その他の核種からの寄与はほとんどなく、きわめて大きい deviation を持つようになる。

高中速エネルギー域 (KeV 以上) での断面積の偶奇性にもとづく統計性は他の region に比してかなりよく、かつ yield weight のものは equal weight のものに比較してかなり standard deviation はよくなっている。

よって、我々は追跡すべき chain に含まれる核種の断面積 data が必要であるが、現在手に入らない核種 (評価値がなく、断面積の作成も困難) に対して、この統計解析からの結果を利用していくという方針をとった。

Table 3-1-1 Equal weighted F.P (n, γ) mean cross sections for odd-even effect of (neutron-proton number) pair. (Analysis from UKNDL-78 nuclides).

EQUAL WEIGHTED MEAN CROSS SECTIONS AND THEIR DEVIATIONS (UNIT BARN)

SUM (A-F N-E Z-E 1) (A-E N-O Z-O 2) (A-O N-O Z-E 3) (A-O N-O Z-E 4)

GROUP	MEAN		S		MEAN		S		MEAN		S		MEAN		S	
	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S
1	6.045E-03	2.150E-02	7.059E-03	1.5071E-03	5.948E-02	6.265E-02	7.009E-03	2.061E-03	3.386E-03	7.140E-03						
2	4.106E-03	2.151E-02	1.901E-03	1.400E-03	5.948E-02	6.265E-02	2.277E-03	2.433E-03	3.352E-03	7.147E-03						
3	6.467E-03	2.154E-02	2.208E-03	1.414E-03	5.948E-02	6.265E-02	3.046E-03	4.924E-03	3.536E-03	7.100E-03						
4	7.430E-03	2.164E-02	3.189E-03	2.212E-03	5.948E-02	6.265E-02	4.511E-03	7.472E-03	4.158E-03	7.011E-03						
5	1.007E-03	2.251E-02	7.144E-03	3.979E-03	5.948E-02	6.265E-02	7.099E-03	1.181E-02	5.543E-03	6.997E-03						
6	1.545E-02	2.445E-02	1.578E-03	3.031E-02	5.948E-02	6.265E-02	1.186E-02	1.086E-02	4.152E-03	7.810E-03						
7	2.264E-02	3.489E-02	2.200E-03	3.634E-02	5.948E-02	6.265E-02	2.250E-02	3.216E-02	1.449E-02	1.379E-02						
8	4.592E-02	5.751E-02	2.619E-02	4.063E-02	1.208E-01	1.766E-01	3.707E-02	4.837E-02	2.529E-02	2.459E-02						
9	6.717E-02	7.411E-02	3.780E-02	4.377E-02	4.588E-01	1.486E-01	3.710E-02	4.607E-02	3.680E-02	3.056E-02						
10	6.925E-02	1.037E-01	4.031E-02	4.412E-02	2.209E-01	2.946E-01	4.424E-02	1.207E-01	5.680E-02	4.276E-02						
11	8.182E-02	1.425E-01	3.429E-02	4.124E-02	2.919E-01	3.117E-01	1.023E-01	1.111E-01	7.724E-02	6.295E-02						
12	9.594E-02	1.567E-01	3.748E-02	4.100E-02	6.634E-01	3.499E-01	1.146E-01	1.467E-01	4.553E-02	9.777E-02						
13	1.135E-01	1.402E-01	4.237E-02	4.562E-02	4.578E-01	4.935E-01	1.280E-01	1.129E-01	1.151E-01	1.029E-01						
14	1.351E-01	2.328E-01	4.771E-02	5.109E-02	5.663E-01	6.132E-01	1.467E-01	1.809E-01	1.451E-01	1.331E-01						
15	1.614E-01	2.907E-01	5.240E-02	5.832E-02	7.194E-01	7.780E-01	1.684E-01	2.090E-01	1.793E-01	1.689E-01						
16	1.865E-01	3.515E-01	5.609E-02	6.218E-02	8.720E-01	9.438E-01	1.920E-01	2.424E-01	2.044E-01	1.919E-01						
17	2.217E-01	4.459E-01	6.277E-02	7.322E-02	1.090E-01	1.199E-01	2.253E-01	2.079E-01	2.109E-01	2.270E-01						
18	2.671E-01	5.526E-01	7.250E-02	9.098E-02	1.394E-01	1.444E-01	2.664E-01	3.468E-01	2.181E-01	2.442E-01						
19	3.095E-01	6.613E-01	8.184E-02	1.078E-01	1.674E-01	1.666E-01	3.039E-01	3.796E-01	1.145E-01	2.995E-01						
20	3.605E-01	7.990E-01	9.241E-02	1.259E-01	2.035E-01	2.280E-01	3.478E-01	4.280E-01	1.599E-01	3.428E-01						
21	4.308E-01	9.791E-01	1.044E-01	1.432E-01	2.559E-01	2.492E-01	4.010E-01	3.477E-01	4.220E-01	4.054E-01						
22	5.109E-01	1.242E-01	1.170E-01	1.599E-01	3.204E-01	3.453E-01	4.557E-01	3.687E-01	4.911E-01	4.788E-01						
23	6.095E-01	1.547E-01	1.331E-01	1.719E-01	4.004E-01	4.406E-01	5.106E-01	4.472E-01	5.660E-01	5.388E-01						
24	7.215E-01	1.933E-01	1.514E-01	1.899E-01	5.010E-01	5.412E-01	5.908E-01	6.692E-01	6.541E-01	4.188E-01						
25	8.649E-01	2.417E-01	1.735E-01	2.116E-01	6.254E-01	7.419E-01	6.834E-01	7.225E-01	7.637E-01	7.515E-01						
26	1.071E-01	3.016E-01	1.971E-01	2.363E-01	7.786E-01	9.197E-01	7.806E-01	8.748E-01	6.884E-01	8.823E-01						
27	1.248E-01	3.755E-01	2.266E-01	2.698E-01	9.658E-01	1.151E-01	9.221E-01	9.131E-01	1.022E-01	1.048E-01						
28	1.498E-01	4.653E-01	2.595E-01	3.094E-01	1.192E-01	1.434E-01	1.070E-01	1.183E-01	1.256E-01	1.240E-01						
29	1.800E-01	5.762E-01	2.986E-01	3.611E-01	1.472E-01	1.783E-01	1.249E-01	1.394E-01	1.456E-01	1.469E-01						
30	2.177E-01	7.126E-01	3.495E-01	4.322E-01	1.814E-01	2.213E-01	1.474E-01	1.479E-01	1.793E-01	1.557E-01						
31	2.638E-01	8.774E-01	4.071E-01	5.285E-01	2.224E-01	2.732E-01	1.703E-01	1.849E-01	2.100E-01	2.124E-01						
32	3.140E-01	1.073E-01	4.629E-01	6.490E-01	2.714E-01	3.458E-01	2.091E-01	2.190E-01	2.537E-01	2.590E-01						
33	3.898E-01	1.316E-01	5.349E-01	8.119E-01	3.319E-01	4.120E-01	2.526E-01	2.649E-01	3.106E-01	3.067E-01						
34	4.790E-01	1.608E-01	7.588E-01	1.031E-01	4.044E-01	5.056E-01	3.137E-01	3.293E-01	3.884E-01	3.768E-01						
35	5.884E-01	1.951E-01	8.718E-01	1.279E-01	5.998E-01	6.139E-01	3.854E-01	3.964E-01	4.930E-01	4.218E-01						
36	7.635E-01	2.458E-01	1.038E-01	1.655E-01	8.944E-01	7.441E-01	4.765E-01	4.761E-01	7.879E-01	1.744E-01						
37	1.071E-01	3.453E-01	1.145E-01	2.051E-01	7.167E-01	8.949E-01	5.812E-01	6.159E-01	1.504E-01	3.864E-01						
38	1.129E-01	3.466E-01	2.890E-01	2.024E-01	8.654E-01	1.072E-01	6.999E-01	8.122E-01	9.926E-01	1.143E-01						
39	1.315E-01	4.135E-01	3.518E-01	2.431E-01	1.029E-01	1.292E-01	8.061E-01	9.155E-01	1.009E-01	1.107E-01						
40	1.549E-01	4.923E-01	3.788E-01	2.625E-01	1.236E-01	1.441E-01	9.507E-01	1.107E-01	1.293E-01	1.194E-01						
41	1.795E-01	5.861E-01	4.256E-01	2.864E-01	1.494E-01	1.803E-01	1.154E-01	1.208E-01	1.544E-01	1.174E-01						
42	2.139E-01	6.969E-01	4.717E-01	6.894E-01	1.744E-01	2.138E-01	1.274E-01	1.538E-01	1.920E-01	2.278E-01						
43	2.476E-01	8.252E-01	5.207E-01	8.703E-01	2.005E-01	2.458E-01	1.474E-01	1.952E-01	1.700E-01	2.221E-01						
44	2.778E-01	9.722E-01	7.671E-01	2.095E-01	2.399E-01	3.032E-01	1.457E-01	1.809E-01	1.814E-01	2.464E-01						
45	3.065E-01	1.147E-01	8.031E-01	1.225E-01	2.879E-01	3.441E-01	1.807E-01	2.287E-01	2.052E-01	3.100E-01						
46	3.790E-01	1.608E-01	7.588E-01	1.031E-01	4.044E-01	5.056E-01	3.137E-01	3.293E-01	3.884E-01	3.768E-01						
47	4.884E-01	1.951E-01	8.718E-01	1.279E-01	5.998E-01	6.139E-01	3.854E-01	3.964E-01	4.930E-01	4.218E-01						
48	6.077E-01	1.853E-01	6.674E-01	3.114E-01	4.731E-01	5.470E-01	2.258E-01	3.394E-01	4.974E-01	7.111E-01						
49	7.389E-01	2.111E-01	6.200E-01	2.636E-01	4.331E-01	6.490E-01	2.192E-01	3.692E-01	4.624E-01	5.945E-01						
50	9.079E-01	2.617E-01	9.079E-01	2.665E-01	6.442E-01	7.611E-01	3.453E-01	5.942E-01	9.677E-01	1.657E-01						
51	9.019E-01	3.138E-01	6.530E-01	2.051E-01	7.996E-01	8.945E-01	2.555E-01	4.271E-01	4.144E-01	7.315E-01						
52	7.802E-01	3.385E-01	5.273E-01	2.712E-01	4.852E-01	2.012E-01	3.204E-01	4.456E-01	5.110E-01	1.097E-01						
53	1.004E-01	4.084E-01	5.514E-01	3.165E-01	1.116E-01	1.168E-01	3.040E-01	7.487E-01	7.720E-01	1.556E-01						
54	1.263E-01	4.945E-01	2.642E-01	3.944E-01	1.204E-01	1.260E-01	3.512E-01	4.462E-01	1.744E-01	4.718E-01						
55	1.722E-01	4.457E-01	2.628E-01	3.247E-01	9.749E-01	1.423E-01	3.185E-01	5.585E-01	1.255E-01	6.694E-01						
56	2.381E-01	1.001E-01	3.702E-01	1.086E-01	2.008E-01	2.218E-01	3.243E-01	8.700E-01	7.459E-01	2.202E-01						
57	1.769E-01	6.135E-01	9.122E-01	4.122E-01	1.504E-01	1.854E-01	7.224E-01	1.138E-01	9.248E-01	2.254E-01						
58	2.739E-01	1.058E-01	5.518E-01	7.242E-01	1.614E-01	2.694E-01	3.768E-01	1.274E-01	3.374E-01	1.268E-01						
59	1.682E-01	7.797E-01	4.081E-01	1.526E-01	1.661E-01	2.460E-01	1.519E-01	4.402E-01	6.001E-01	1.335E-01						
60	2.673E-01	1.136E-01	3.947E-01	7.747E-01	2.667E-01	3.210E-01	1.611E-01	5.966E-01	1.883E-01	4.928E-01						
61	1.586E-01	9.869E-01	1.558E-01	5.472E-01	1.894E-01	3.445E-01	1.014E-01	4.470E-01	2.759E-01	7.459E-01						
62	1.209E-01	1.335E-01	1.505E-01	4.923E-01	4.209E-01	3.883E-01	3.143E-01	2.416E-01	1.750E-01	4.142E-01						
63	9.509E-01	4.797E-01	1.574E-01	4.970E-01	3.700E-01	5.257E-01	2.334E-01	3.840E-01	9.406E-01	3.746E-01						
64	6.000E-01	3.462E-01	1.747E-01	5.442E-01	4.771E-01	9.192E-01	3.867E-01	2.863E-01	3.544E-01	2.016E-01						
65	8.852E-01	1.400E-01	3.239E-01	6.106E-01	4.771E-01	1.290E-01	4.075E-01	1.644E-01	8.253E-01	2.351E-01						
66	4.134E-01	1.868E-01	3.263E-01	8.742E-01	1.849E-01	2.400E-01	3.227E-01	1.395E-01	7.757E-01	2.916E-01						
67	8.888E-01	4.472E-01	2.927E-01	7.769E-01	4.535E-01	8.459E-01	3.292E-01	1.245E-01	1.884E-01	5.887E-01						
68	1.010E-01	6.483E-01	3.287E-01	1.201E-01	1.879E-01	2.111E-01	3.008E-01	2.108E-01	3.114E-01	1.243E-01						
69	1.912E-01	4.136E-01	4.692E-01	1.249E-01	1.674											

Table 3-1-2 Equal weighted F.P (n, γ) mean cross sections for odd-even effect of mass number, atomic number and neutron number. (Analysis from UKNDL-78 nuclides)

EQUAL WEIGHTED MEAN CROSS SECTIONS AND THEIR DEVIATIONS (UNIT BARN)

EVEN * A *		ODD * A *		EVEN * N *		ODD * N *		EVEN * Z *		ODD * Z *		
GROUP	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S	MEAN	S
1	1.026E-02	3.109E-02	2.681E-03	3.135E-03	2.063E-03	1.765E-03	1.880E-02	3.666E-02	2.590E-03	4.712E-03	1.232E-02	3.446E-02
2	1.019E-02	3.110E-02	2.777E-03	3.217E-03	4.110E-03	1.923E-03	1.458E-02	3.647E-02	2.535E-03	4.407E-03	1.249E-02	3.448E-02
3	1.039E-02	3.105E-02	3.274E-03	3.439E-03	3.379E-03	3.190E-03	1.472E-02	3.642E-02	2.319E-03	4.453E-03	1.312E-02	3.441E-02
4	1.123E-02	3.087E-02	4.350E-03	3.263E-03	3.762E-03	3.237E-03	1.922E-02	3.625E-02	3.747E-03	4.778E-03	1.433E-02	3.449E-02
5	1.482E-02	3.117E-02	6.375E-03	3.900E-03	7.172E-03	1.051E-02	1.633E-02	3.591E-02	6.504E-03	6.554E-03	1.665E-02	3.490E-02
6	2.201E-02	3.978E-02	1.017E-02	1.490E-02	1.406E-02	2.604E-02	1.847E-02	3.943E-02	1.272E-02	2.428E-02	2.074E-02	3.667E-02
7	2.739E-02	4.318E-02	1.881E-02	2.565E-02	4.222E-02	3.489E-02	2.848E-02	5.251E-02	1.900E-02	2.970E-02	2.914E-02	4.184E-02
8	4.045E-02	4.730E-02	1.919E-02	3.954E-02	1.177E-02	4.455E-02	4.606E-02	7.677E-02	2.583E-02	2.858E-02	5.395E-02	8.047E-02
9	4.652E-02	8.819E-02	4.770E-02	4.956E-02	4.025E-02	6.134E-02	6.128E-02	9.025E-02	3.144E-02	5.857E-02	7.577E-02	1.067E-01
10	5.744E-02	1.181E-01	7.135E-02	6.399E-02	5.372E-02	9.020E-02	8.955E-02	1.294E-01	4.093E-02	4.566E-02	1.005E-01	1.563E-01
11	7.094E-02	1.530E-01	9.686E-02	1.123E-01	6.379E-02	1.037E-01	1.260E-01	1.728E-01	5.145E-02	5.883E-02	1.381E-01	1.973E-01
12	8.402E-02	1.802E-01	1.037E-01	1.218E-01	7.094E-02	1.006E-01	1.494E-01	2.467E-01	6.068E-02	6.466E-02	1.500E-01	2.332E-01
13	1.017E-01	2.402E-01	1.223E-01	1.362E-01	1.950E-01	1.183E-01	1.841E-01	2.755E-01	7.184E-02	7.941E-02	1.849E-01	2.834E-01
14	1.218E-01	2.981E-01	1.440E-01	1.604E-01	2.008E-02	1.945E-01	2.294E-01	3.931E-01	8.668E-02	1.015E-01	2.217E-01	3.462E-01
15	1.474E-01	3.780E-01	1.739E-01	1.915E-01	1.027E-01	1.951E-01	2.864E-01	4.356E-01	1.032E-01	1.311E-01	2.660E-01	4.353E-01
16	1.728E-01	4.635E-01	1.977E-01	2.213E-01	1.150E-01	1.795E-01	3.595E-01	5.323E-01	1.194E-01	1.465E-01	3.194E-01	5.278E-01
17	2.095E-01	5.825E-01	2.316E-01	2.414E-01	1.333E-01	2.133E-01	4.091E-01	6.949E-01	1.332E-01	1.768E-01	3.797E-01	6.293E-01
18	2.614E-01	7.493E-01	2.718E-01	3.112E-01	1.564E-01	2.971E-01	5.012E-01	8.295E-01	1.547E-01	2.073E-01	4.477E-01	8.452E-01
19	3.094E-01	9.046E-01	3.084E-01	3.560E-01	1.780E-01	2.063E-01	3.802E-01	3.802E-01	1.749E-01	2.663E-01	6.817E-01	1.014E-02
20	3.672E-01	1.103E-02	3.530E-01	4.085E-01	3.031E-01	3.606E-01	4.941E-01	1.458E-01	1.997E-01	2.717E-01	6.484E-01	1.322E-02
21	4.594E-01	1.594E-01	4.110E-01	4.811E-01	3.531E-01	4.843E-01	8.493E-01	1.192E-01	2.314E-01	3.182E-01	7.843E-01	1.548E-01
22	5.584E-01	1.759E-01	4.721E-01	5.267E-01	2.842E-01	4.268E-01	1.034E-02	2.007E-01	3.670E-01	3.710E-01	9.485E-01	1.949E-01
23	6.844E-01	2.212E-01	5.394E-01	5.925E-01	3.955E-01	4.728E-01	1.254E-01	2.525E-01	3.082E-01	4.279E-01	1.140E-01	2.249E-01
24	8.437E-01	2.783E-01	6.204E-01	6.728E-01	3.422E-01	3.993E-01	1.526E-01	3.181E-01	3.527E-01	4.981E-01	1.280E-01	3.049E-01
25	1.042E-01	1.603E-01	7.201E-01	8.147E-01	5.017E-01	6.155E-01	1.809E-01	3.989E-01	4.095E-01	5.600E-01	1.674E-01	3.824E-01
26	1.282E-01	1.981E-01	8.534E-01	8.600E-01	5.429E-01	6.815E-01	2.268E-01	5.016E-01	4.734E-01	6.779E-01	2.071E-01	4.771E-01
27	1.574E-01	2.468E-01	9.824E-01	1.145E-01	5.204E-01	7.884E-01	2.713E-01	6.265E-01	5.508E-01	6.414E-01	2.482E-01	5.997E-01
28	1.925E-01	3.079E-01	1.130E-01	1.212E-01	4.137E-01	9.081E-01	3.373E-01	7.766E-01	8.494E-01	8.493E-01	1.012E-01	7.424E-01
29	2.359E-01	3.825E-01	1.384E-01	1.410E-01	7.114E-01	1.045E-01	4.104E-01	9.466E-01	7.181E-01	1.121E-01	3.694E-01	9.213E-01
30	2.884E-01	4.683E-01	1.597E-01	1.668E-01	8.371E-01	1.294E-01	5.014E-01	1.188E-01	4.051E-01	1.345E-01	4.444E-01	1.141E-01
31	3.522E-01	1.286E-01	1.914E-01	1.987E-01	9.812E-01	1.644E-01	6.130E-01	1.476E-01	1.084E-01	1.841E-01	5.413E-01	1.408E-01
32	4.304E-01	1.578E-01	2.294E-01	2.375E-01	1.184E-01	1.717E-01	7.459E-01	1.810E-01	1.311E-01	1.964E-01	6.565E-01	1.794E-01
33	5.245E-01	1.931E-01	2.802E-01	2.848E-01	1.438E-01	2.077E-01	9.115E-01	2.417E-01	1.349E-01	2.182E-01	8.004E-01	2.112E-01
34	6.434E-01	2.392E-01	3.494E-01	3.510E-01	1.782E-01	2.948E-01	1.117E-01	2.708E-01	1.989E-01	2.978E-01	9.745E-01	2.861E-01
35	7.794E-01	2.871E-01	4.334E-01	4.421E-01	2.184E-01	3.513E-01	1.574E-01	3.298E-01	2.492E-01	3.978E-01	1.193E-01	3.161E-01
36	9.362E-01	3.480E-01	5.201E-01	5.263E-01	3.530E-01	5.950E-01	1.817E-01	4.071E-01	3.766E-01	6.627E-01	1.453E-01	3.800E-01
37	1.145E-01	4.186E-01	1.101E-01	2.712E-01	4.329E-01	8.846E-01	2.637E-01	5.752E-01	6.862E-01	5.938E-01	1.797E-01	4.262E-01
38	1.481E-01	5.026E-01	1.316E-01	1.018E-01	4.627E-01	7.123E-01	2.429E-01	5.759E-01	3.666E-01	9.978E-01	2.120E-01	5.508E-01
39	1.772E-01	6.158E-01	1.593E-01	1.495E-01	5.490E-01	8.417E-01	3.938E-01	6.995E-01	4.880E-01	9.920E-01	2.500E-01	6.869E-01
40	2.082E-01	7.179E-01	1.112E-01	1.261E-01	6.282E-01	8.662E-01	3.495E-01	8.473E-01	7.444E-01	1.061E-01	2.962E-01	7.893E-01
41	2.354E-01	8.165E-01	1.336E-01	1.594E-01	6.472E-01	1.036E-01	8.224E-01	9.010E-01	7.729E-01	1.361E-01	3.614E-01	9.363E-01
42	2.811E-01	1.014E-01	1.577E-01	1.494E-01	7.651E-01	1.224E-01	5.029E-01	1.166E-01	9.900E-01	1.713E-01	4.169E-01	1.112E-01
43	3.282E-01	1.202E-01	1.724E-01	2.087E-01	4.770E-01	1.953E-01	3.940E-01	1.586E-01	4.121E-01	1.688E-01	5.124E-01	1.313E-01
44	4.085E-01	1.418E-01	1.629E-01	2.254E-01	1.067E-01	1.482E-01	6.250E-01	1.638E-01	2.186E-01	2.974E-01	5.641E-01	1.254E-01
45	4.841E-01	1.674E-01	1.912E-01	2.744E-01	1.051E-01	1.951E-01	7.416E-01	1.935E-01	2.052E-01	2.920E-01	6.659E-01	1.455E-01
46	5.811E-01	1.951E-01	2.155E-01	3.246E-01	1.060E-01	2.111E-01	9.075E-01	2.450E-01	2.171E-01	2.960E-01	7.264E-01	1.253E-01
47	6.914E-01	2.313E-01	2.448E-01	3.657E-01	1.661E-01	4.048E-01	1.688E-01	2.642E-01	2.074E-01	4.961E-01	8.782E-01	2.320E-01
48	7.331E-01	2.679E-01	2.629E-01	3.774E-01	1.534E-01	3.591E-01	1.294E-01	3.002E-01	2.150E-01	5.427E-01	1.080E-01	2.935E-01
49	8.041E-01	3.090E-01	3.215E-01	4.044E-01	1.159E-01	3.222E-01	1.438E-01	3.239E-01	2.120E-01	4.726E-01	1.114E-01	3.381E-01
50	9.11E-01	3.643E-01	3.544E-01	4.250E-01	1.012E-01	4.575E-01	2.062E-01	4.910E-01	4.910E-01	1.152E-01	1.494E-01	4.011E-01
51	1.065E-01	4.334E-01	3.294E-01	4.6170E-01	3.296E-01	1.933E-01	3.065E-01	4.891E-01	1.365E-01	1.639E-01	4.492E-01	4.822E-01
52	1.310E-01	4.917E-01	4.494E-01	6.360E-01	1.208E-01	3.764E-01	2.179E-01	5.108E-01	2.360E-01	7.461E-01	1.759E-01	5.424E-01
53	1.599E-01	5.885E-01	4.220E-01	1.207E-01	1.530E-01	4.467E-01	2.884E-01	6.019E-01	3.097E-01	1.054E-01	2.243E-01	4.487E-01
54	1.724E-01	6.363E-01	4.919E-01	3.352E-02	6.424E-01	3.539E-01	3.807E-02	8.160E-02	4.985E-01	3.103E-01	2.272E-01	2.024E-01
55	1.851E-01	6.757E-01	2.179E-01	6.105E-01	1.164E-01	4.159E-01	2.103E-01	7.444E-01	4.586E-01	4.981E-01	1.102E-01	2.706E-01
56	4.870E-01	1.422E-01	3.204E-01	1.521E-01	2.350E-01	8.356E-01	4.613E-01	2.171E-01	3.359E-01	4.930E-01	3.895E-01	1.207E-01
57	2.937E-01	9.399E-01	6.179E-01	4.028E-01	2.294E-01	3.239E-01	2.798E-01	1.022E-01	3.180E-01	5.577E-01	3.287E-01	4.887E-01
58	2.779E-01	1.187E-01	2.767E-01	2.554E-01	2.581E-01	4.842E-01	2.494E-01	1.745E-01	4.601E-01	2.431E-01	6.799E-01	1.655E-01
59	2.408E-01	1.994E-01	1.099E-01	1.168E-01	8.242E-01	2.804E-01	4.279E-01	3.243E-01	8.987E-01	4.215E-01	1.264E-01	4.684E-01
60	3.824E-01	1.530E-01	1.738E-01	6.435E-01	7.102E-01	4.709E-01	4.804E-01	1.851E-01	7.651E-01	4.978E-01	6.824E-01	1.747E-01
61	2.705E-01	1.427E-01	4.674E-01	3.009E-01	4.452E-01	2.466E-01	4.009E-01	1.873E-01	1.129E-01	5.061E-01	4.217E-01	3.613E-01
62	3.167E-01	1.259E-01	2.844E-01	1.784E-01	4.221E-01	1.412E-01	4.316E-01					

Table 3-2-1 ²³⁹Pu fast fission yield weighted F.P (n, r) mean cross sections for odd-even effect of (neutron-proton number) pair. (Analysis from UKNDL-78 nuclides).

Table with 13 columns: GROUP, MEAN, S, MEAN, S, MEAN, S, MEAN, S, MEAN, S, MEAN, S. It lists various isotopes and their corresponding mean cross sections and standard deviations across four different categories (1, 2, 3, 4).

YIELD WEIGHTED VALUE

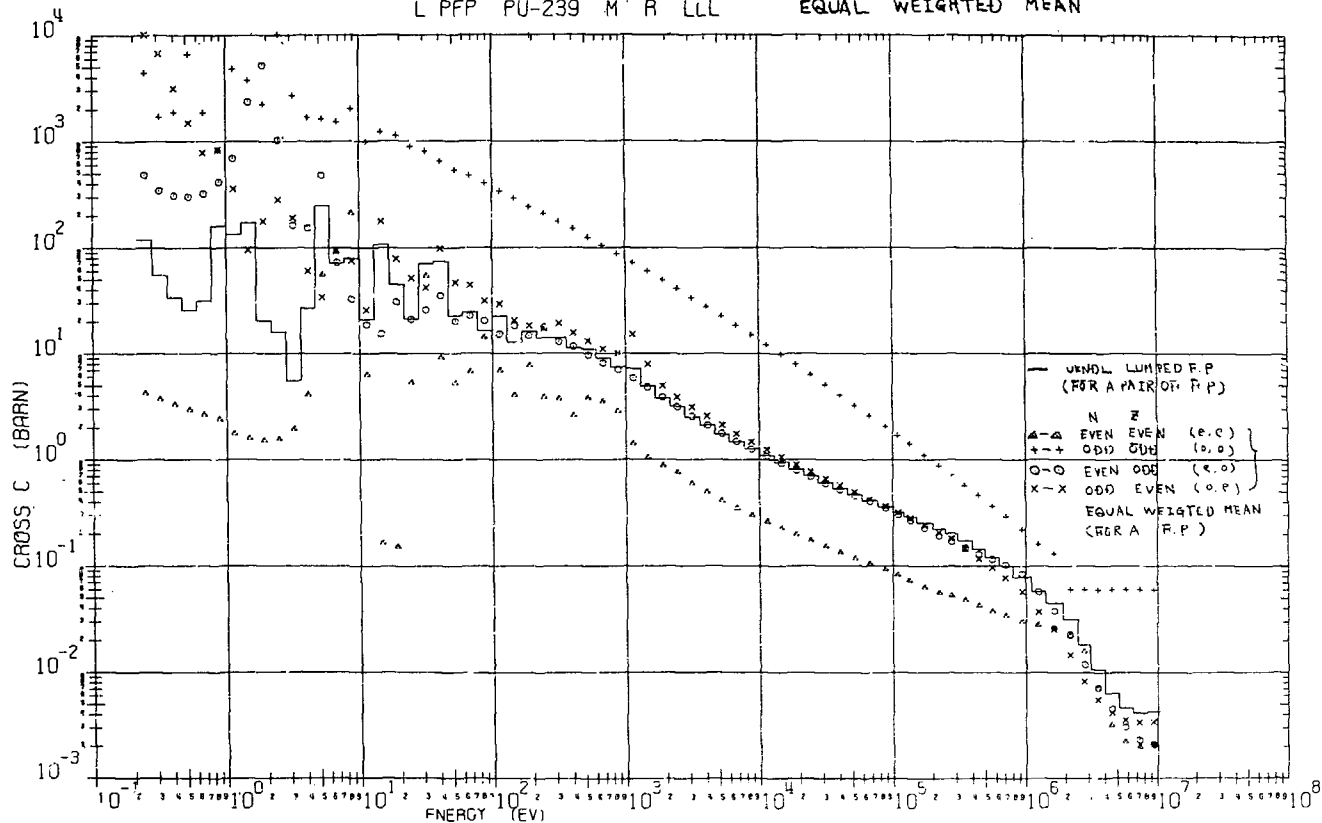


Fig. 3-1-1 Equal weighted F.P. (n, γ) mean cross sections for odd-even effect of (neutron-proton number) pair.
(Analysis from UKNDL-78 nuclides).

L PFP PU-239 M R, LLL EQUAL WEIGHTED MEAN

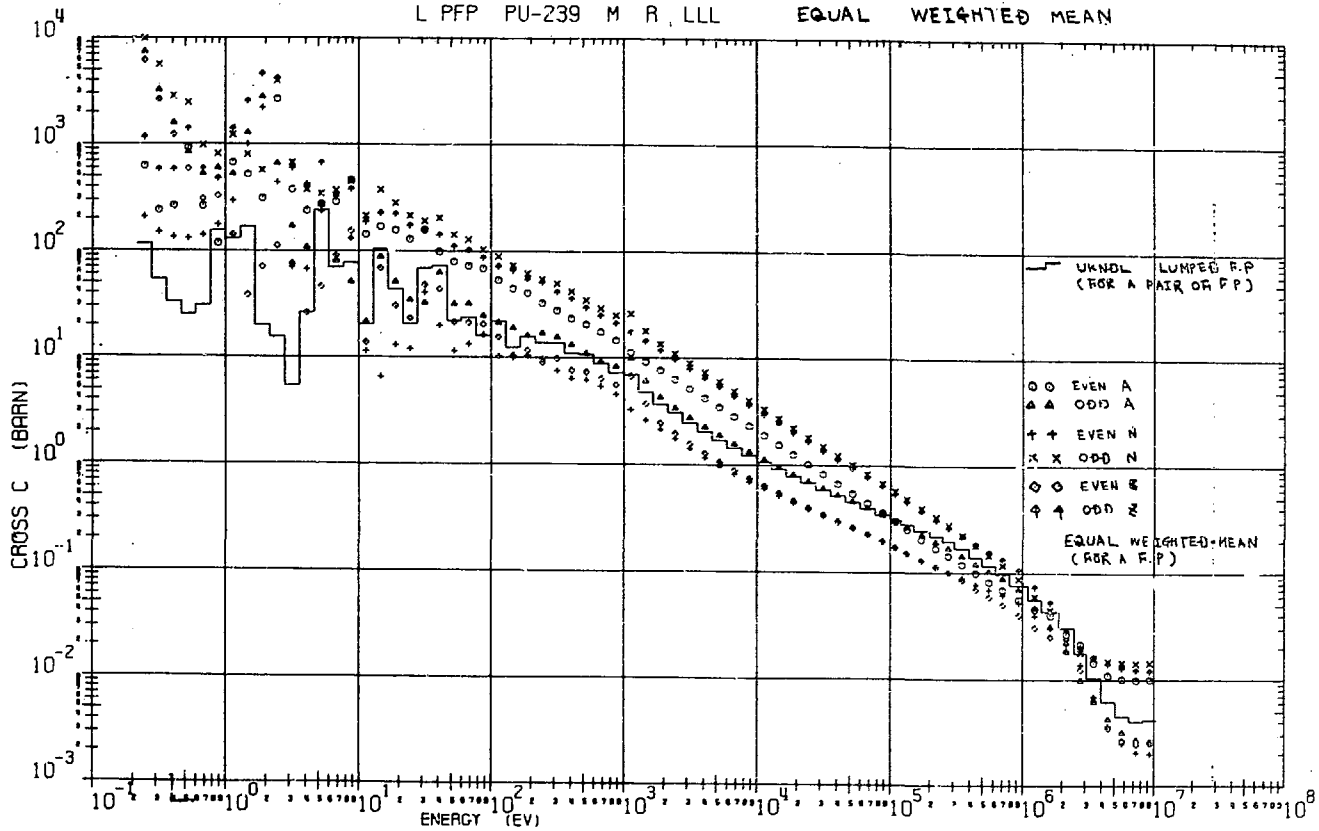


Fig. 3-1-2 Equal weighted F.P (n, γ) mean cross sections for odd-even effect of mass-number, atomic number and neutron number. (Analysis from UKNDL-78)

YIELD WEIGHTED MEAN PU-239

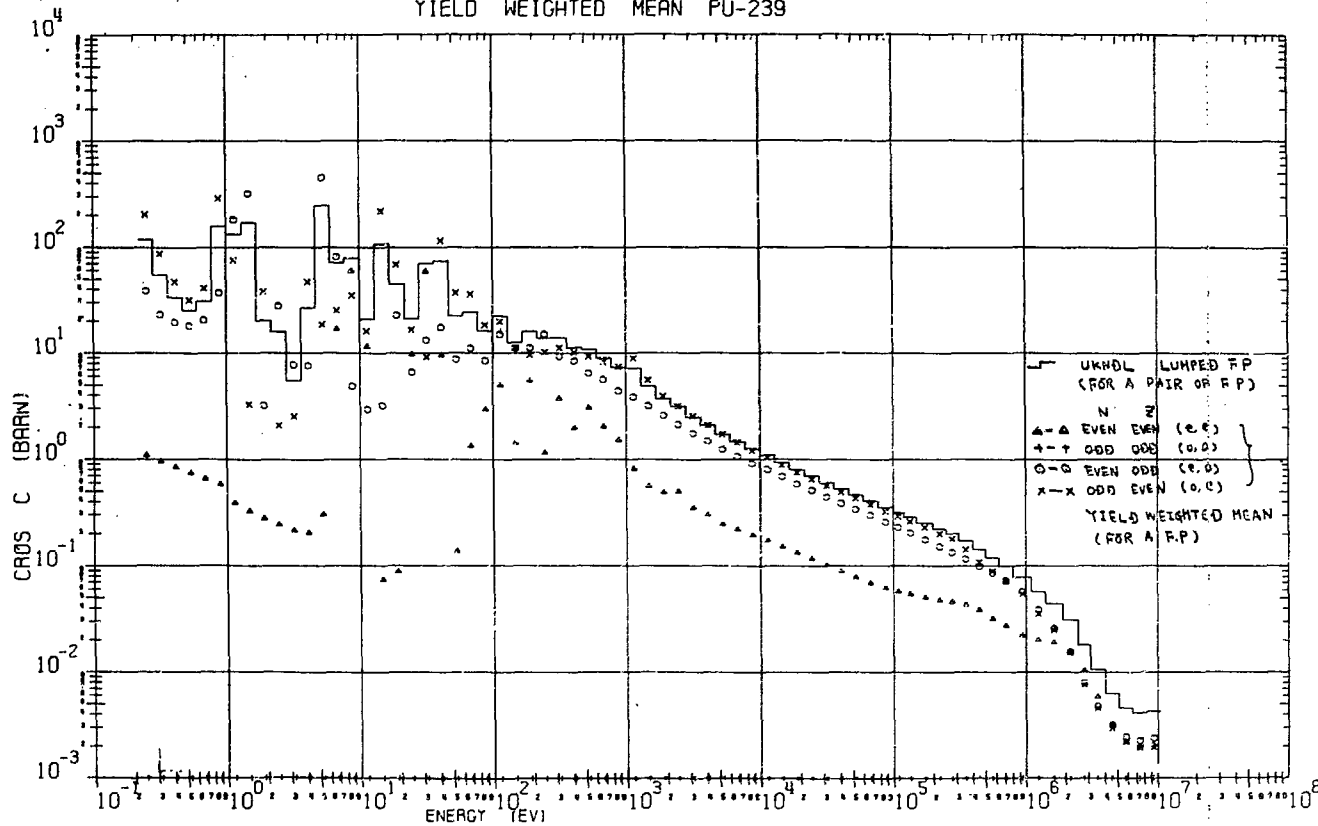


Fig. 3-2-1 ^{239}Pu fast fission yield weighted F.P. (n, r) mean cross sections for odd-even effect of (neutron-proton number) pair. (Analysis from UKNDL-78 nuclides).

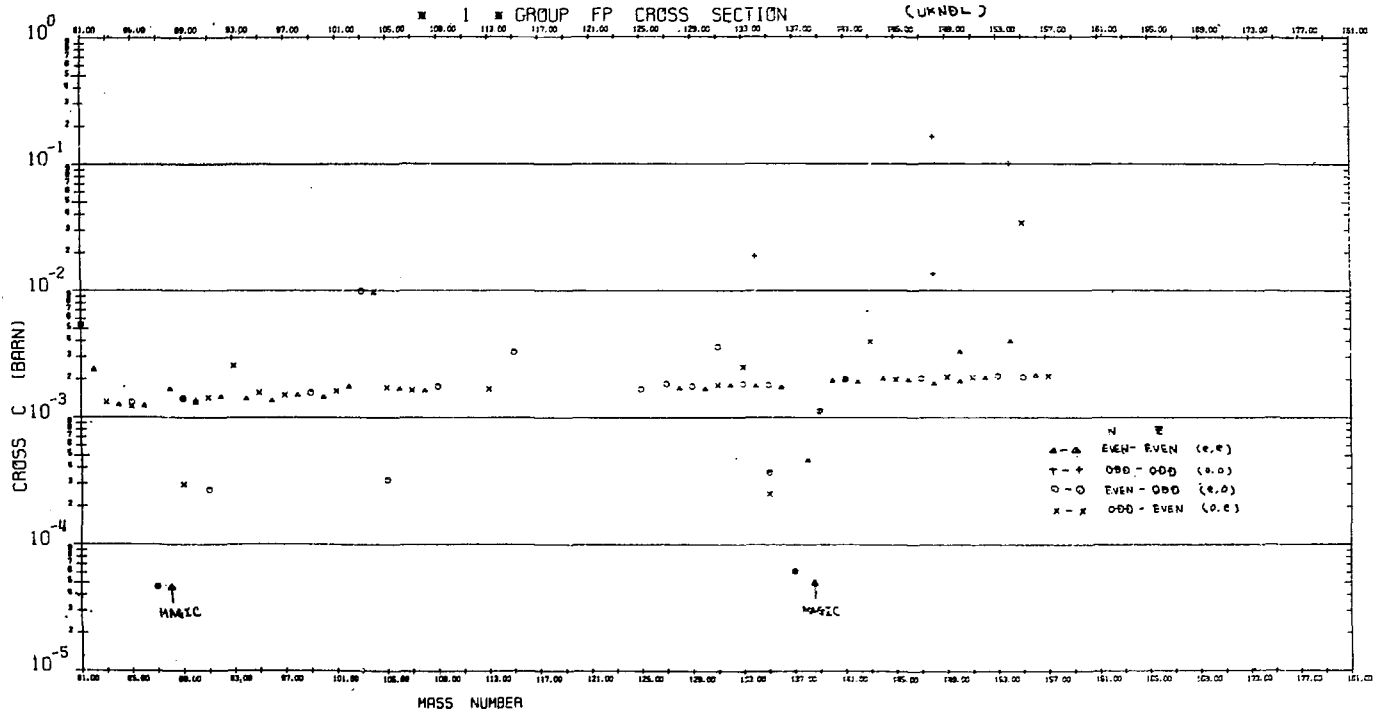


Fig. 3-3-1 1st group (10.0 - 8.3 MeV) F.P (n, γ) cross section as a function of mass number.

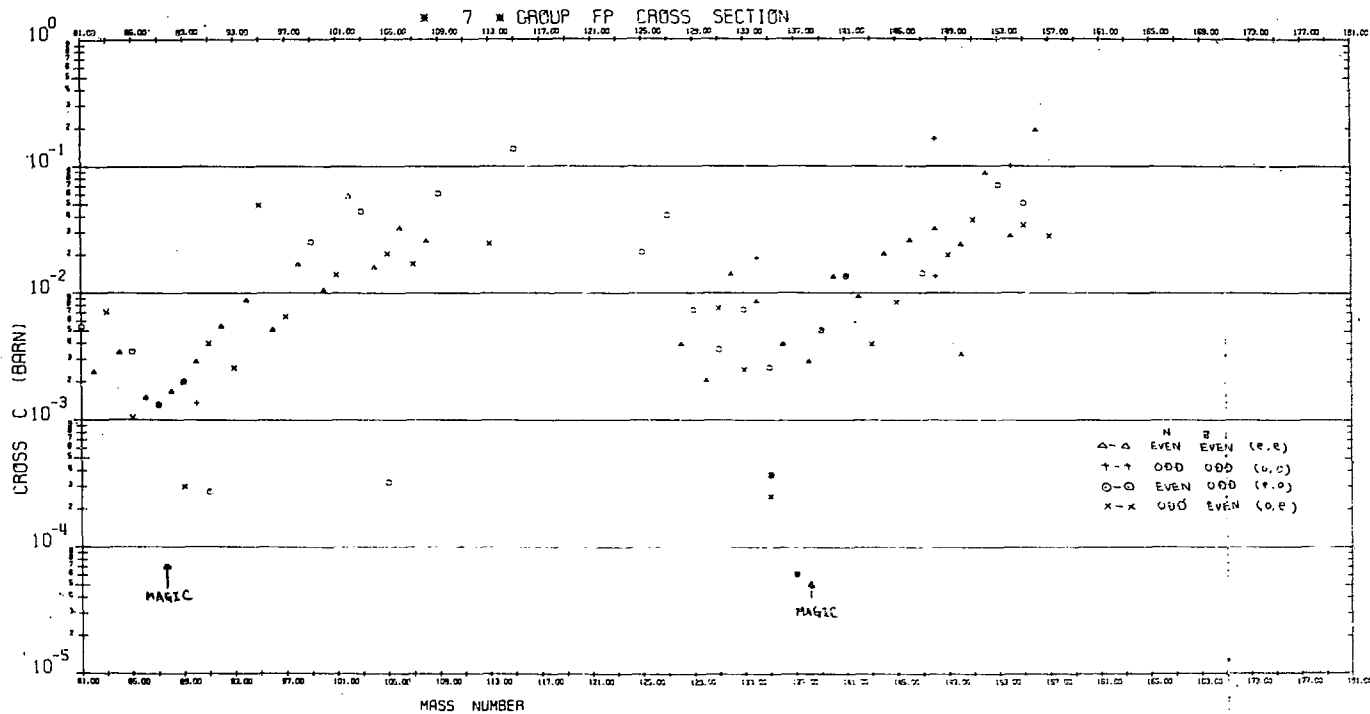


Fig. 3-3-2 7th group (2.5 - 1.9 MeV) F.P. (n, γ) cross section as a function of mass number.

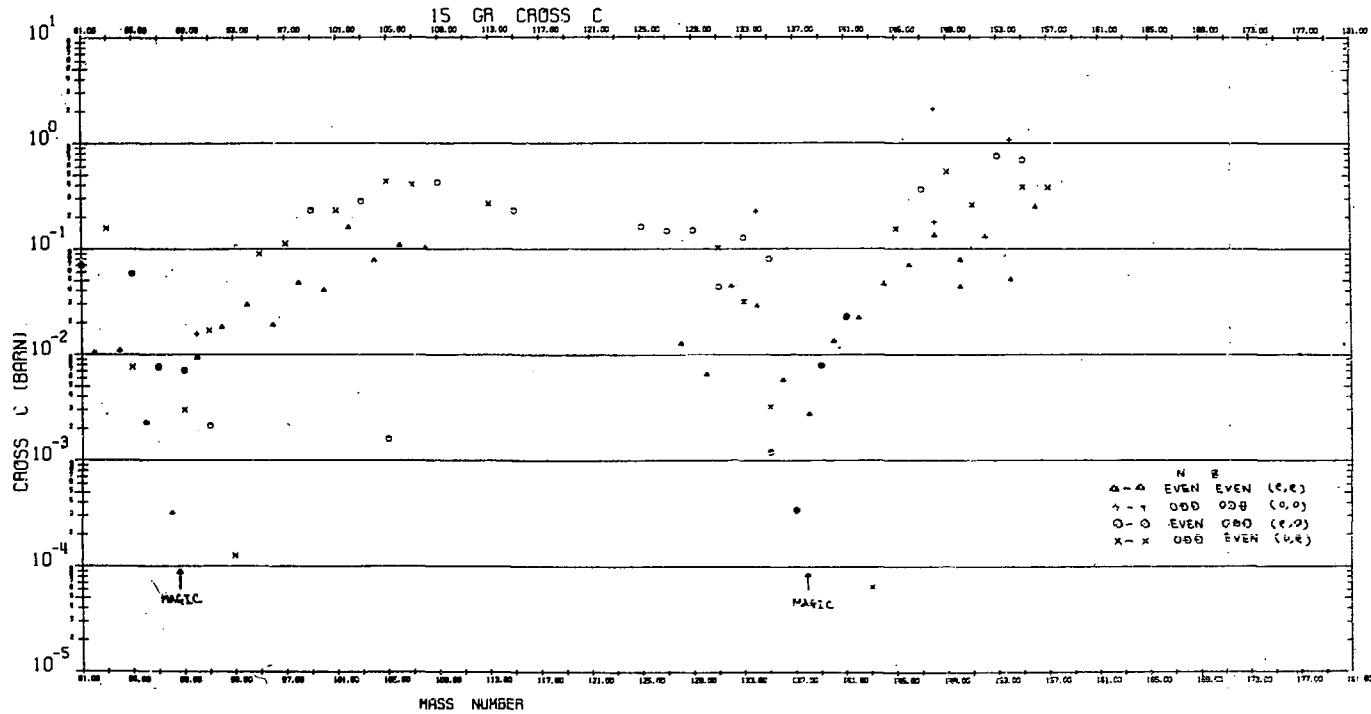


Fig. 3-3-3 15-th group (310 KeV - 250 KeV) F.P. (n, γ) cross section as a function of mass number.

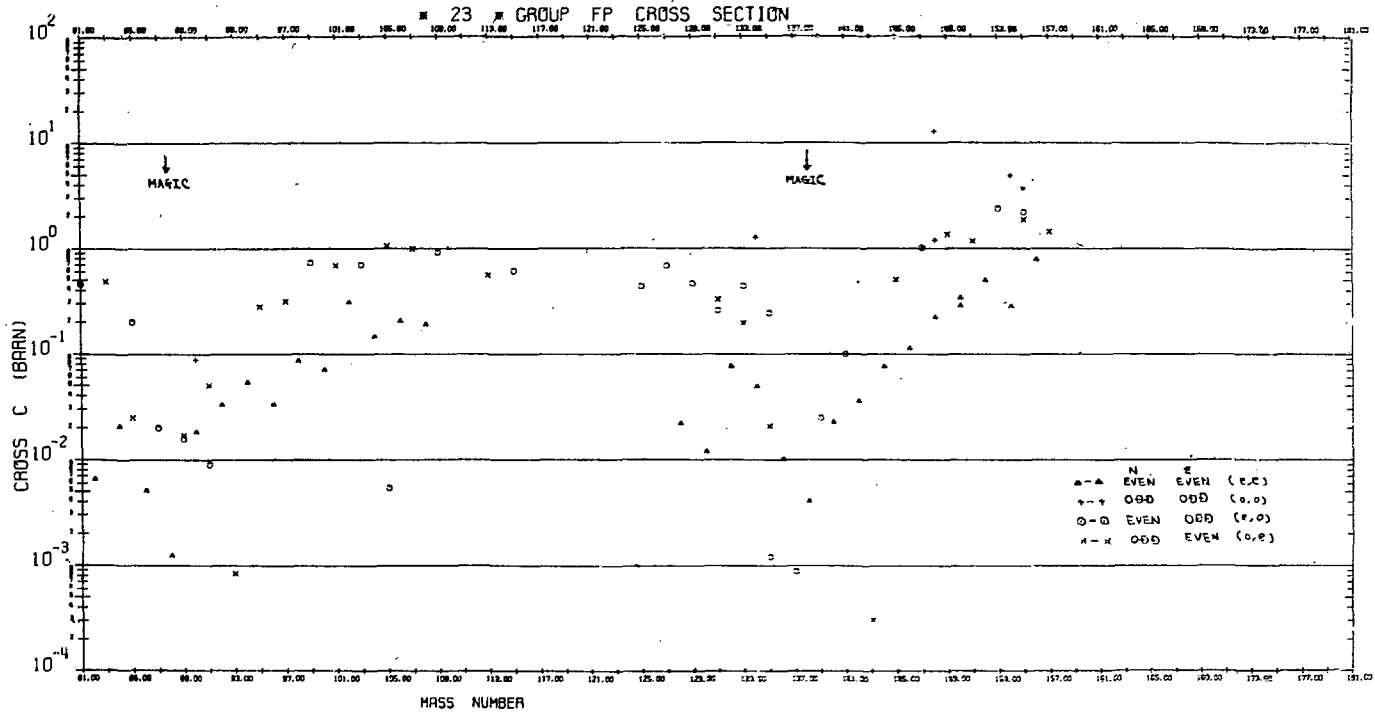


Fig. 3-3-4 23-th group (46.5 ~ 36.0 KeV) F.P (n, γ) cross section as a function of mass number.

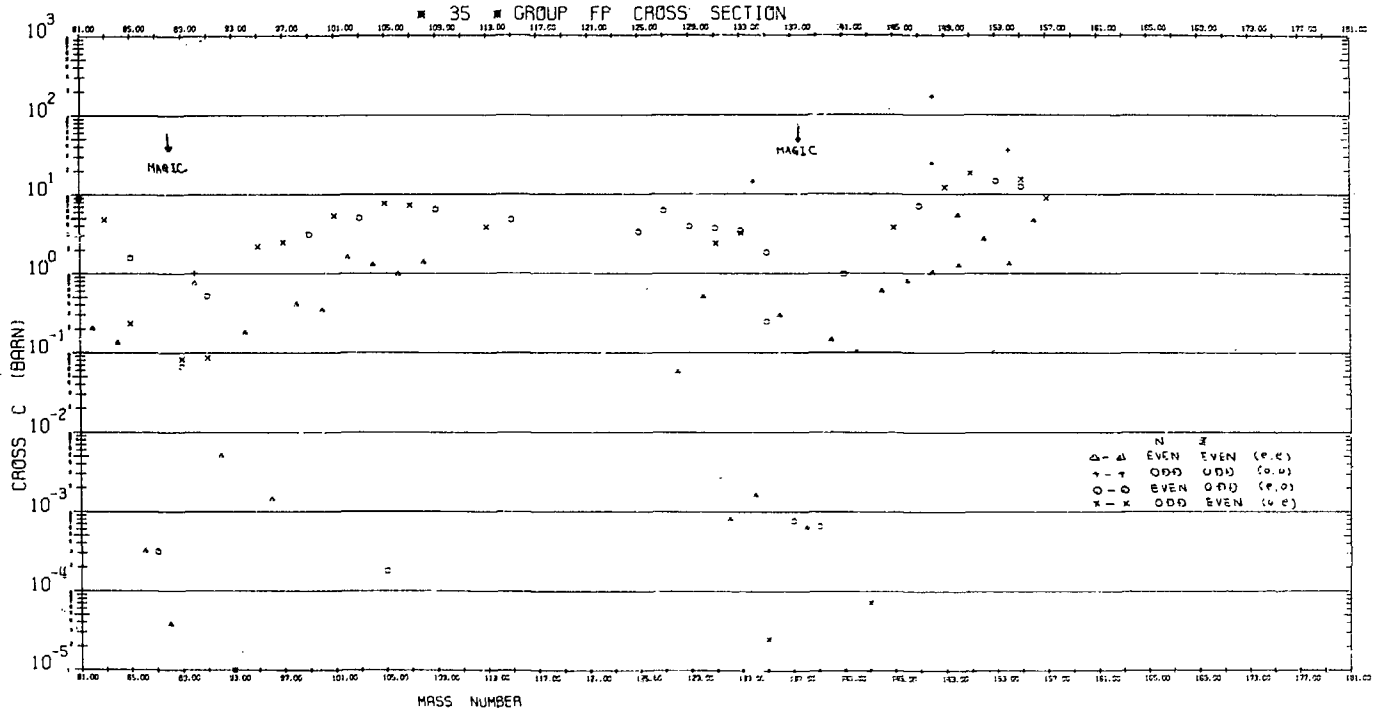


Fig. 3-3-5 35-th group (2.15 KeV ~ 1.66 KeV) F.P (n, r) cross section as a function of Mass number.

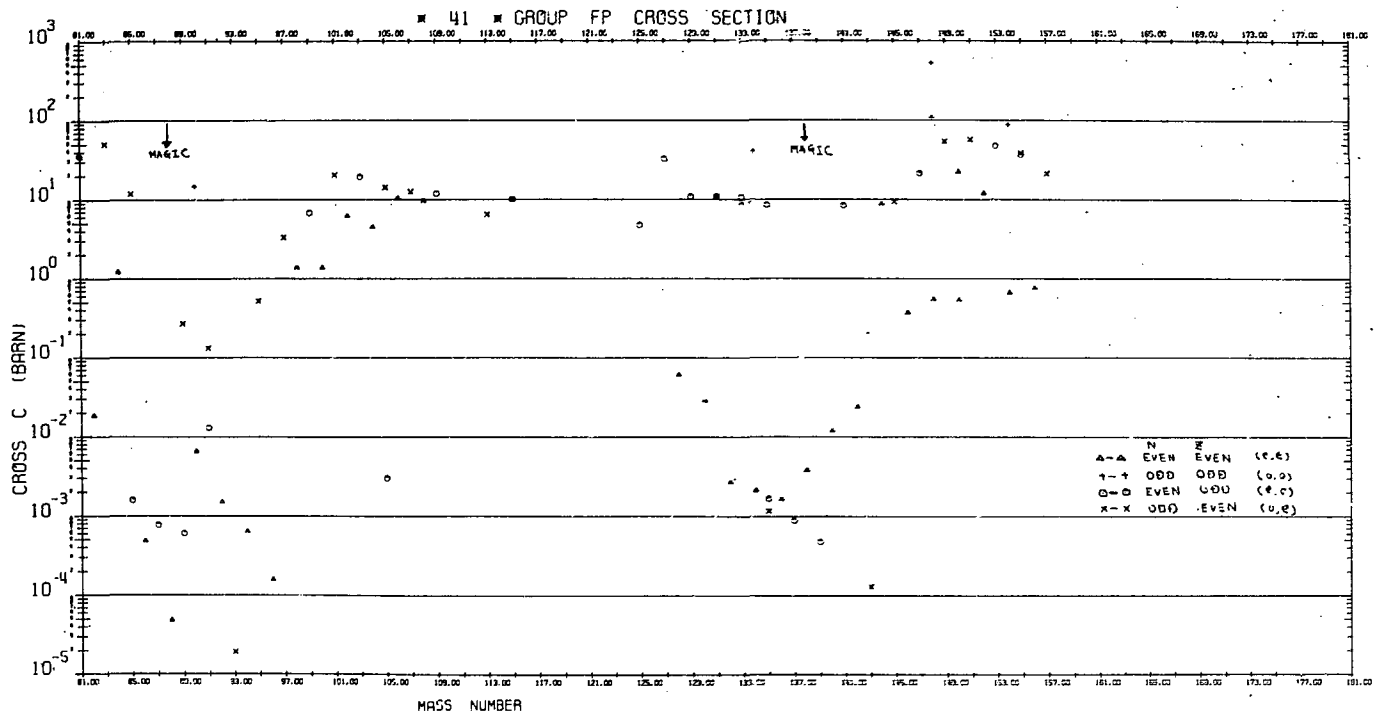


Fig. 3-3-6 41-th group (465 ~ 360 eV) F.P (n, r) cross section as a function of mass number.

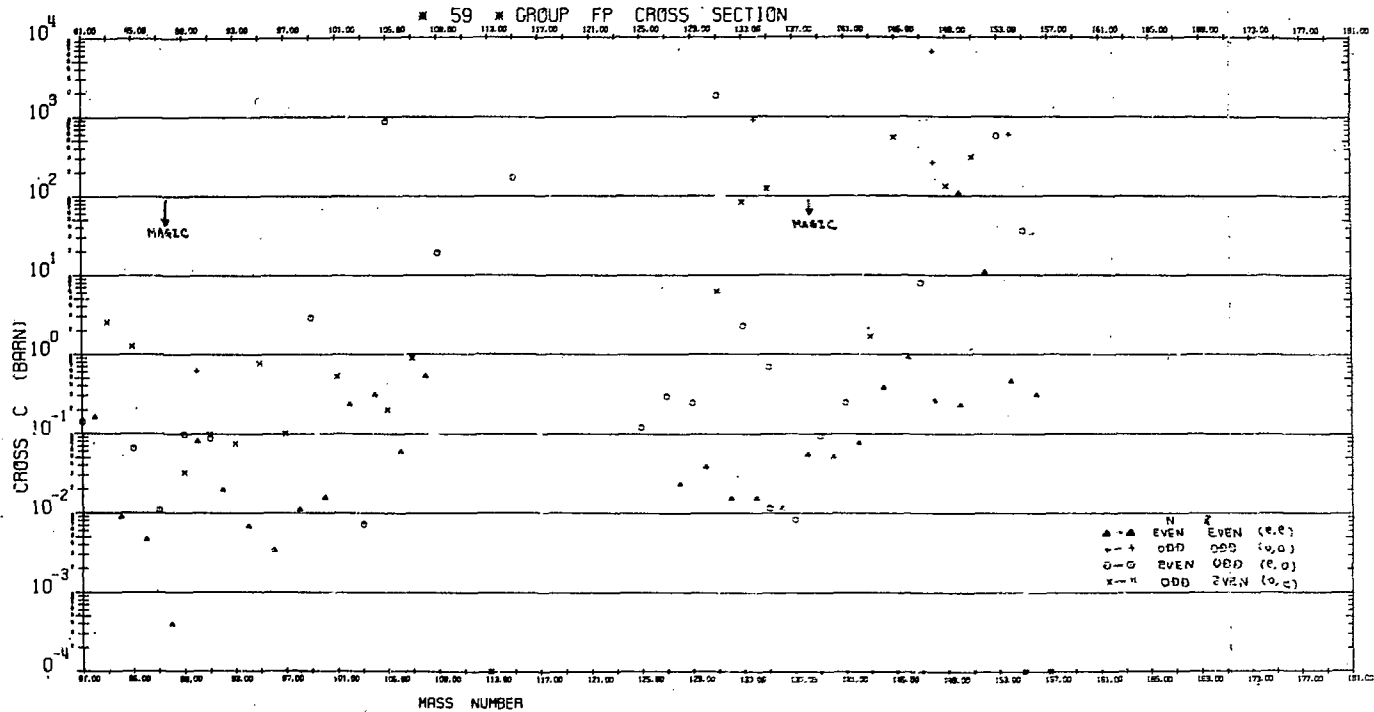


Fig. 3-3-7 59-th group (4.65 - 3.6 eV) F.P (n, γ) cross section as a function of mass number.

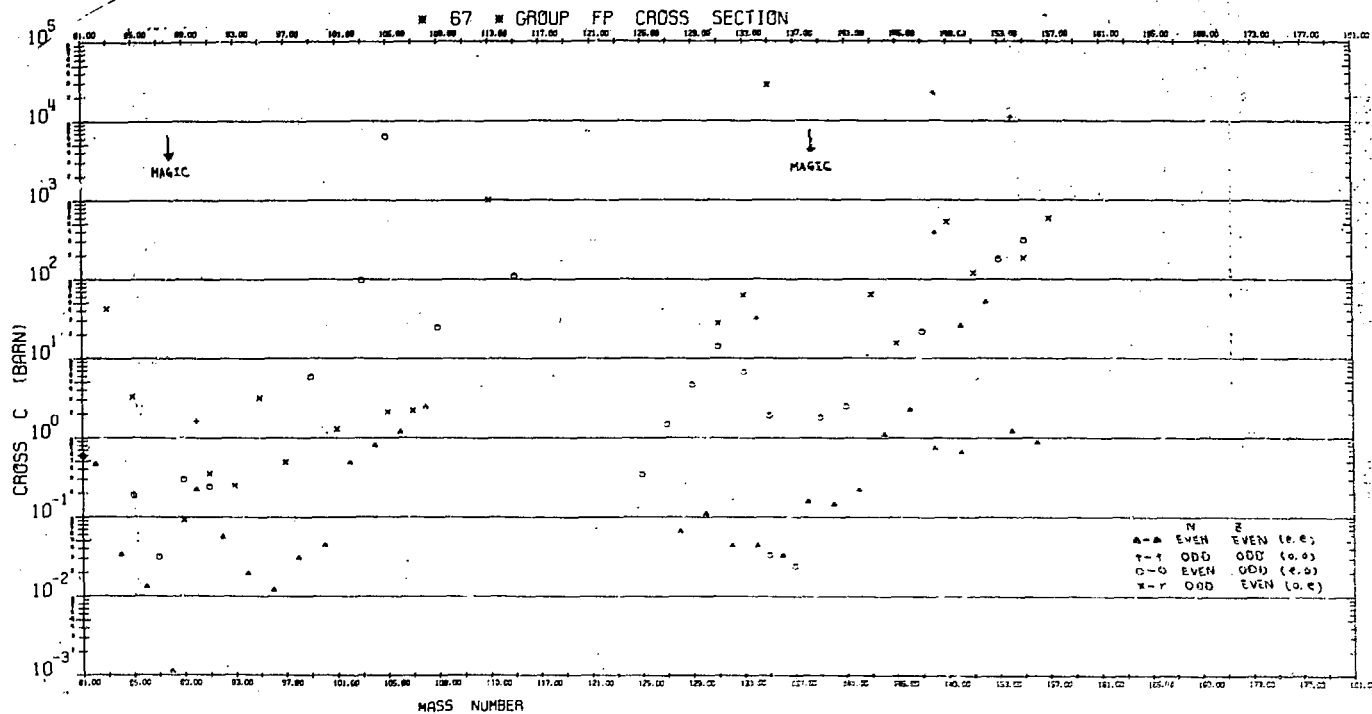


Fig. 3-3-8 67-th group (0.598 - 0.465 eV) F.P (n, γ) cross section as a function of mass number.

4. 全FPの実効断面積(群定数形式)の時間依存性

lumpingされた (n, r) cross sectionの70と25 groupsの両セットは前回の報告書¹⁾で与えられているが、それが今回のchain内の核種の時間的な濃度変化を考慮した場合、前回のlumpingの仮定がどの程度正当性を保ちうるかを調べてみる。そのため次に述べるような3段階でのstepでの解析が行なわれた。

3段階のstepとは、

(i) UKNDL Fileで与えられている78核種のみを用いて時間依存のFP (n, r) 断面積の群定数作成(chainを追える核種はmass numberが89, 91, 105, 131, 133, 135, 155のみであり、したがって濃度変化が考慮される核種はこれらのchainsのみで、他のchainでは全て安定核からの寄与だけを考える。

(ii) 偶奇性にもとづく断面積の統計性を用いて、半解析的にFP全核種の群定数を作成する方法の検討を行った。

(iii) 断面積の偶奇性にもとづく統計性を断面積から与えられていない核種にのみ適用して(i)で取扱われなかったchainに対する核種の濃度変化による効果を調べた。

計算はPu-239についてのみ行った。

4.1 UKNDL Fileに含まれる78核種のみによる解析

UKNDL 78核種の中で、chainが追跡可能な核種の断面積が完備しているものはmass numberが89, 91, 105, 131, 135, 155のchainsであり、各chainの実効的な断面積は2章で示した通りであるが、ここでは、それらがFP全体としての実効的な断面積にどの程度の時間変化をもたらすか調べてみる。

yield dataはMeek and Riderによるrecommended value (APED-5398-A)を採用した。

取りあげられた核分裂核種は、fast fission neutron yieldに対しては ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , thermal fission neutron yieldに対しては ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu である。FP全体の実効的な断面積の時間変化は30, 60, 90, 120, 180, 360, 1000 daysの各時点で求められた。その際の各核種の断面積に対するweightとしては、yieldと各時点の各核種の濃度が用いられている。

A. Pu-239 Fast Fission Yieldによる各time step毎の全FP実効断面積

Fig 4-1-iに見られるように10 eV (56-th group)以上のenergy範囲では、全FPの実効的な断面積の時間的な変化はほとんどみられないといえる。極端な例として、30 daysと1000 daysの間の変化をみてみれば、40-th group (600 eV)以上のenergy領域では、最大で2%の変化しか生じていない。ここで、時間的な濃度変化が考慮された核種のyieldの和は全total chain yieldの和(19.2%)のうち2.8%にすぎず、2章で我々がchain内の濃度変化を追う必要があると指摘した核種のchain yieldの和

(77%)の1/3に相当する。

10eV(56-th group)以下では、ここで時間的な濃度変化を考慮した核種のyieldの和が28%にすぎないのに実効断面積の時間による変化が顕著にあらわれており、特に60-th group, 63-th groupでは実効断面積は30 daysと1000 daysの間でそれぞれ10倍, 23倍といった大きな変化を示している。このような低いenergy regionではFP断面積のlumping化の仮定には無理があることがわかる。したがって、このenergy範囲では、FPを1つにまとめるlumping化の手法でなく、他のpseudo化の方法を採用する必要がある。(たとえば、大きく変動するもののみを別に扱う方法等が考えられる。)

^{241}Pu , ^{238}U , ^{235}U のthermal及びfast fission neutronに対するyield dataを用いて同様の解析を行った結果、全FPの実効断面積の時間変化に対する傾向は同じであった。(各time stepをパラメータにした各核種のFPのグラフは省略するが、その一部についてはあらためて次節で説明される。)

詳しい各time stepについてのlumpingした群定数はTables 4-1-1 ~ 4-1-4に示しておく。

B. Pu-239, U-235, U-238(Fast Fission Yield): Pu-241(Thermal Fission Yield)の各fissionable核種のweighting yieldの差による全FP実効断面積の差

ここでは、各fissionable核種のyield分布の違いが、全FPの実効断面積にどの程度影響をもたらすかを調べるためにそれぞれの時点においてyield dataの異なる各fissionable核種の実効断面積の比較を行う。

Fig. 4-1-2にweightingに用いるyield data(^{239}Pu , ^{235}U , ^{238}U についてはfast fission neutron yield, ^{241}Pu についてはthermal fission neutron yield)を示す。

これから明らかなように、2つのpeakのうちで、mass numberの低い方のpeak付近の核種のyieldに、fissionable核種による違いが特にみられる。

それら、Fig. 4-1-2のyield dataをweightとしたUKNDLの78核種のみによるLFP(lumped fission product: 1つにlump化されたFP)の60 days, 360 daysにおける実効断面積をFig. 4-1-3, Fig. 4-1-4に示す。これから明らかなように、各fissile核種のLFPの実効断面積のenergyによる変化は、1 KeV以上では、ほとんど同じで、各fissionable核種間の違いはあるconstantだけ互いにずれているといえる。

LFPの実効断面積の大きさは、時間に関係なく、 ^{241}Pu が最大で、次いで ^{239}Pu , ^{235}U , ^{238}U という順になっており、その差は一番低い ^{238}U と一番高い ^{241}Pu の間に約50%の差(^{235}U の1.5倍, 360 days 25-th groupの時)が生じている。chain内の核種の時間による濃度変化を考慮しない場合についてはすでに同じ結論¹⁾が得られている。

この結果から明らかなように、FPのpoisonとしての効果はPu系の方がU系よりもより大きいことがわかる。

C. thermal neutron fission 及び fast neutron fission による yield 分布の違いがFPの実効断面積にもたらす差異 (Pu-239及びU-235について)

yield 分布は前々回の報告⁹⁾で詳しく述べたように、中性子の入射エネルギーに sensitive で、その入射エネルギーによって異なる yield 分布がLFP (lumped fission product) の実効断面積にもたらす差異を調べるためにPu-239, U-235 について fast neutron fission yield と thermal neutron fission yield の data をそれぞれ用いて解析を行なった。得られた数値は tables 4-1-1-1, 4-1-1-2, 4-1-2-1, 4-1-2-2 に示されている。それを図示したものが Fig. 4-1-5, 4-1-6 に与えられている。図から明らかのように入射エネルギーによる yield 分布の違いがもたらす実効断面積の最大の差異はPu-239の場合で5%, U-235の場合7~8%それぞれ fast neutron fission による方が高くなっている。

D. 高速炉の energy spectrum で weight した LFP (lumped fission product) effective cross section

今までの結果が示すように、各 fissionable 核種に対するLFPの実効断面積は、1KeV以上のenergy region において時間による変化はほとんどなく一定であると考えてよかったが、1KeV以下のenergy region では、(特に100eV以下で)、大きく時間的に変化しており、lumping の手法で、FPのcross section をまとめることは困難である。したがって、LFPのこの領域における実効断面積の時間変化を無視したlumpingを行った場合は、このenergy領域におけるneutron spectrumの大きさを勘案して、そのもたらす誤差を検討しておく必要がある。

我々としては、burn-up 計算を行うenergy spectrum として、まず大型の fast reactor を模擬した3000ℓ球形炉心のものを選んだ。その他に、特に低いエネルギー域における違いがLFPの全エネルギー域で平均された実効断面積にどの程度の差異をもたらすかを検討するために、ZPR-3-6Fのかなりhardなspectrumとcarbonにより大型炉のspectrumを模擬したZPR-3-48のものを用いた。スペクトル計算は1次元拡散コードEXPANDA-70D¹²⁾とJAERI-FAST 70-GROUP SET¹³⁾を用いて行なわれた。ここでは、weightに用いるenergy spectrumは炉心中心のものを選んだ。

σ_i をLFPの*i*-th groupの実効断面積とし、 ϕ_i を*i*-th groupのfluxとすると、LFPの全エネルギー空間にわたる平均実効断面積 $\bar{\sigma}_c$ は次式で与えられる。

$$\bar{\sigma}_c = \frac{\sum_i \phi_i \sigma_i}{\sum_i \phi_i}$$

Tables 4-1-5, 4-1-6に、上記各weighting fluxesに対する $\bar{\sigma}_c$ と、 $\phi_i \sigma_i / \sum \phi_i \sigma_i$ (*i*-th groupにおける断面積の $\bar{\sigma}_c$ に対する実効的な寄与)を示す。各weighting flu. はFigs 4-1-7 ~ 4-1-9に示されている。

これらの結果から明らかになるように、スペクトルが軟くなるにしたがって1KeV(38

4th group) 以下の cross section の全 capture rate への割合が増加しており, ZPR-3-48 では 29% 強 (3000ℓ core の場合 27%) になっており, この energy region の重要性がうかがわれる。しかしエネルギー域を断面積の変動の大きな 100eV (47th-group) 以下に限ってみると, その energy 域からの capture rate への寄与は 1% 以下になっていて, このエネルギー域の重要性は実際上無視してもさしつかえないであろう。一方, spectrum が hard な ZPR-3-6F では, 1 KeV 以下の capture reaction rate に対する contribution は 0.04% 以下になっており, 低いエネルギー region からの cross section の寄与は全く無視することができる。

Table 4-1-7 に示されるように, spectrum が軟くなるにつれて spectral 平均された LFP の effective capture cross section は大きくなっているが, 時間による変化はわずかである。(30 days と 1000 days の時点での差は 2% 弱)

E. 全 FP 実効断面積に占める各偶奇核の割合

lumping された FP の実効断面積への (odd-even) (それぞれ FP 各核種を neutron number-proton number の偶奇性にしたがって e-e, o-o, e-o, o-e の 4 type に分けた。)核の断面積の寄与の割合が Fig. 4-1-10 に示される。

図においては o-o 核の寄与は全て 0% となっている。これは, UKNDL-File に存在している (o-o) 核種は 78 核種中, 5 核種にすぎず, しかもそれらは, 数日位の半減期を持つ不安定な核種が多く, かつ decay scheme を見るとわかるように primary decay のものはなく, ほとんど sub decay chain の方に位置しており, yield がきわめて小さいことによる。

たとえば, 半減期が長い ¹⁵⁴Pu をみると

	¹⁵⁴ Pm →	¹⁵⁴ Sm	¹⁵⁴ Pu →	¹⁵⁴ Gd
半減期 (T _{1/2})	2.5m	stable	16y	stable
	(o, o)	(e, e)	(o, o)	(e, e) 核
cumulative yield (y _c)	0.30	0.36	0.001	0.001 (Pu-239, fast n)

図 4-1-10 に示されるように, LFP に対する各 (odd-even) type からの寄与は, 1 KeV (38-th group) 以上 300 KeV (15-th group) 前後までは, エネルギーによらずほぼ一定である。(o, e) 核が約 44%, (e, o) 核が 36%, (e, e) 核が 16% 前後という順になっており, mass number が odd のものからの寄与が 80% 以上もしていることがわかる。しかし (e, e) 核からの寄与は, エネルギーがさらに高い 1.4 MeV (9-th group) 以上では, 他のものよりもきわめて大きくなり 50% 以上の寄与をしている。これは, UKNDL-File が採用した Benzi and Bortolani の data の 1 MeV 以上での計算モデルの違いによるものと思われる。さらに, 50 eV (50-th group) 以下の低いエネルギー region での各 type からの寄与の割合は, きわめて大きな変動を示しており, これは lower group での resonance で極めて大きい断面積を持つものが存在するためである。

F. 結 論

UKNDL File 78核種のみによる解析では、全yield に対する chain 内の濃度変化を考慮した yield の和はPu-239の場合、28 (%) / 192 (%), Pu-241の場合27 (%) / 197 (%), U-235の場合34 (%) / 200 (%), U-238の場合29 (%) / 197 (%)であり、これは追跡すべき全chain のほゞ 1/3に相当し、その結果によれば、LFPの実効断面積の時間変化はspectral weightをした場合、実際に問題にする量ではない。LFPの実効断面積の時間による変化についてより正確にいうには、追跡されなかった残りのほゞ 2/3 chain からの寄与を考えねばならないが、それらについては、新しく断面積を作成する方法により4.3で述べられる。

4.2 断面積の偶奇性のみから推定した平均断面積を用いた場合

前節まででは、FPをlumping 化する場合、個々のFP核種に対して断面積とその原子数濃度にもとづいて行なわれた。この考え方にしがうと、必要となる全てのFP核種に対しての断面積と、時間による各核種の濃度変化のデータを必要とする。同時に極めて莫大な労力と時間が必要となる。そこで3章で調べたような、断面積の偶奇性にもとづく特性を利用して、全断面積を用意しなおして簡単な時間依存のLFPの実効断面積の作成を試みた。

各FP核種の濃度はindependent yield で生成し、 β^- decay chain に沿ってdecay し、decay の途中で、(n, γ) capture によって別の同位体への変換が起こる核変換網にしたかって決定されるmodel を考える。

((n, 2n), (n, p), (n, α), (n, d)という reactionを含めた変換網は無視している。これらは数MeV 以下のenergy regionでは寄与は小さいと考えられる。)

各核種の濃度 $\frac{A}{Z}N$ の変化は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{A}{Z}N &= (\Sigma_f \cdot \phi) \cdot \frac{A}{Z}y_i \\ &+ \frac{A}{Z-1} \lambda \cdot \frac{A}{Z-1}N - \frac{A}{Z} \lambda \cdot \frac{A}{Z}N \\ &+ \phi \cdot \frac{A-1}{Z} \sigma \cdot \frac{A-1}{Z}N - \phi \cdot \frac{A}{Z} \sigma \cdot \frac{A}{Z}N \end{aligned} \tag{4-2-1}$$

明らかに

$$\Sigma_A \Sigma_Z \left(\frac{d}{dt} \frac{A}{Z}N \right) = (\Sigma_f \phi) \Sigma_A \Sigma_Z \frac{A}{Z}y_i = 2 \cdot (\Sigma_f \cdot \phi) \tag{4-2-2}$$

$\frac{A}{Z}N$ の初期値をzeroとしたとして、

$$\Sigma_A \Sigma_Z \frac{A}{Z}N = 2 \cdot (\Sigma_f \cdot \phi) t \tag{4-2-3}$$

(notationについては式(2-1)参照のこと)

であって、

(4-2-1) 式から定する $\sum_{A,Z} \lambda_{A,Z} N$ を weight とした場合の LFP の macroscopic な実効断面積 ($\sum_{A,Z} \lambda_{A,Z} N \cdot \sum_{A,Z} \sigma_c$) の時間変化は次のように表わされる。(各 energy group について)

$$\begin{aligned} & \sum_A \sum_Z \frac{d}{dt} \left(\sum_{A,Z} \lambda_{A,Z} N \cdot \sum_{A,Z} \sigma_c \right) \\ &= \left(\sum_f \phi \right) \cdot \sum_A \sum_Z \lambda_{A,Z} \sigma_c \cdot \sum_Z y_i \\ &+ \sum_{A=T}^P \sum_{j=i+1}^{f-1} \lambda_j \cdot \lambda_j N \cdot \left(\sum_{j+1} \sigma_c - \sum_j \sigma_c \right) \\ &+ \phi \sum_{Z=1}^f \sum_{A=T+1}^{P-1} \left(\sum_{Z}^{A+1} \sigma_c - \sum_{Z} \sigma_c \right) \cdot \sum_{A,Z} \lambda_{A,Z} \sigma_c \cdot \sum_{A,Z} \lambda_{A,Z} N \end{aligned} \tag{4-2-4}$$

但し、上式における suffix は次のような意味を持つ。

- T : F.P mass range にある mass number の 1 番低いもの
 - P : F.P mass range にある mass number の 1 番高いもの
 - i : 考えている各 isobar 系列の atomic number の 1 番低いもの (initial)
 - f : 考えている各 isobar 系列の atomic number の 1 番高いもの (final)
- (詳しくは Fig 4-2-1 を参照のこと)

したがって、fissionable 核 1 コに対する LFP の時間依存断面積 $\bar{\sigma}(t)$ は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}(t) &= \frac{\sum_A \sum_Z \lambda_{A,Z} N(t) \cdot \sum_{A,Z} \sigma_c}{\sum_A \sum_Z \lambda_{A,Z} N} * 2 \\ &= \frac{\sum_A \sum_Z \lambda_{A,Z} N(t) \cdot \sum_{A,Z} \sigma_c}{(\sum_f \phi) \cdot t} \end{aligned} \tag{4-2-5}$$

(4-2-4) で断面積の項に、3章での偶奇性にもとづく断面積の特性を用いると、結局 (odd-even) の pair (neutron number ; proton number) についての類別となり、

$$\bar{\sigma}(t) \equiv \frac{\sum_{ee}^* \sigma_{ee}(t) + \sum_{oo}^* \sigma_{oo}(t) + \sum_{eo}^* \sigma_{eo}(t) + \sum_{oe}^* \sigma_{oe}(t)}{(\sum_f \phi) t} \tag{4-2-6}$$

\sum_{ee}^* (e, e)核の macroscopic cross section: F.P 核種の中で (e, e)をとる核について sum up したもの。

\sum_{oo}^* , \sum_{eo}^* , \sum_{oe}^* はそれぞれ (o, o)核, (e, o), (o, e)核についてのもの

$$\begin{aligned} \frac{d \Sigma_{ec}^*}{dt} &= \Sigma_f \phi \sum_{A=e} \sum_{Z=e} \frac{\Lambda(e)}{Z(e)} \sigma_c \cdot \frac{\Lambda(e)}{Z(e)} y_i \\ &+ \sum_{A=T(e)} \frac{\Gamma(e)}{\sum_{j=i+1(e)} \Gamma(e)} \frac{\Lambda(e)}{j(e)} \lambda \frac{\Lambda(e)}{j(e)} N \left(\frac{\Lambda(e)}{j+1(e)} \sigma_c - \frac{\Lambda(e)}{j(e)} \sigma_c \right) \\ &+ \phi \sum_{Z=i(e)} \frac{\Gamma(e)}{\sum_{A=T+1(e)} \Gamma(e)} \left(\frac{\Lambda+1(e)}{Z(e)} \sigma_c - \frac{\Lambda(e)}{Z(e)} \sigma_c \right) \cdot \frac{\Lambda(e)}{Z(e)} \sigma_c \cdot \frac{\Lambda(e)}{Z(e)} N \end{aligned} \quad (4-2-7)$$

notation ()内にその核種の属性 odd, even を示す。

$\frac{\Lambda(e)}{Z(e)} \sigma_c$: F-P(n, r) capture cross section で Λ (even), Z (even) の属性をもったもの

$\sum_{A=T(e)}^{P(e)}$: summation は Λ が T で even のものから P で even のものについてとることを示す。

ここで各 σ をそれぞれ, (odd-even) type の平均値でおきかえると

$$\begin{aligned} \frac{d \Sigma_{ec}^*}{dt} &= (\Sigma_f \phi) (e,e) \bar{\sigma}_c \sum_{A=e} \sum_{Z=e} \frac{\Lambda(e)}{Z(e)} y_i \\ &+ ((e,o) \bar{\sigma}_c - (e,e) \bar{\sigma}_c) \sum_{A=T(e)} \frac{\Gamma(e)}{\sum_{j=i+1(e)} \Gamma(e)} \frac{\Lambda(e)}{j(e)} \lambda \cdot \frac{\Lambda(e)}{j(e)} N \\ &+ \phi ((e,e) \bar{\sigma}_c - (e,o) \bar{\sigma}_c) (e,e) \bar{\sigma}_c \sum_{Z=i(e)} \frac{\Gamma(e)}{\sum_{A=T+1(e)} \Gamma(e)} \frac{\Lambda(e)}{Z(e)} N \end{aligned} \quad (4-2-8)$$

但し,

$(e,o) \bar{\sigma}_c$ etc は ()内の偶奇性に属する核種の平均断面積他の type: (odd-odd), (even-odd), (odd-even) についても同様に

$$\begin{aligned} \frac{d \Sigma_{oo}^*}{dt} &= (\Sigma_f \phi) \cdot (o,o) \bar{\sigma}_c \cdot \sum_{A=e} \sum_{Z=oo} \frac{\Lambda(o)}{Z(e)} y_i \\ &+ ((e,e) \bar{\sigma}_c - (o,o) \bar{\sigma}_c) \sum_{A=T(e)} \frac{\Gamma(e)}{\sum_{j=i+1(o)} \Gamma(o)} \frac{\Lambda(e)}{j(o)} \lambda \cdot \frac{\Lambda(e)}{j(o)} N \\ &+ \phi ((e,o) \bar{\sigma}_c - (o,o) \bar{\sigma}_c) (o,o) \bar{\sigma}_c \sum_{Z=i(o)} \frac{\Gamma(e)}{\sum_{A=T+1(e)} \Gamma(o)} \frac{\Lambda(e)}{Z(o)} N \end{aligned} \quad (4-2-9)$$

$$\begin{aligned} \frac{d \Sigma_{e, o}^*}{dt} &= (\Sigma_f \phi)_{(o, o)} \bar{\sigma}_c \cdot \sum_{\Lambda=0} \sum_{Z=0} \frac{\lambda^{(\Lambda)}}{\lambda^{(o)}} y_i \\ &+ ((o, e) \bar{\sigma}_c - (e, o) \bar{\sigma}_c) \sum_{\Lambda=T(o)}^{P(o)} \sum_{j=i+1(o)}^{f-1(o)} \frac{\lambda^{(\Lambda)}}{\lambda^{(o)}} \lambda \cdot \frac{\lambda^{(\Lambda)}}{\lambda^{(o)}} N \\ &+ \phi ((o, o) \bar{\sigma} - (e, o) \bar{\sigma}_c) \cdot (e, o) \bar{\sigma}_c \cdot \sum_{Z=i(o)}^{f(o)} \sum_{\Lambda=T+1(e)}^{P-1(e)} \frac{\lambda^{(\Lambda)}}{\lambda^{(o)}} N \quad (4-2-10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d \Sigma_{o, e}^*}{dt} &= (\Sigma_f \phi)_{(o, e)} \bar{\sigma}_c \cdot \sum_{\Lambda=0} \sum_{Z=e} \frac{\lambda^{(\Lambda)}}{\lambda^{(o)}} y_i \\ &+ ((e, o) \bar{\sigma}_c - (o, e) \bar{\sigma}_c) \cdot \sum_{\Lambda=T(o)}^{P(o)} \sum_{j=i+1(e)}^{f-1(e)} \frac{\lambda^{(\Lambda)}}{\lambda^{(e)}} \lambda \cdot \frac{\lambda^{(\Lambda)}}{\lambda^{(e)}} N \\ &+ \phi ((e, o) \bar{\sigma} - (o, e) \bar{\sigma}_c) \cdot (o, e) \bar{\sigma}_c \cdot \sum_{Z=i(e)}^{f(e)} \sum_{\Lambda=T+1(o)}^{P-1(o)} \frac{\lambda^{(\Lambda)}}{\lambda^{(o)}} N \quad (4-2-11) \end{aligned}$$

で記述される。

(これに伴う核変換網は Fig. 2-4-1 のようなものである,)

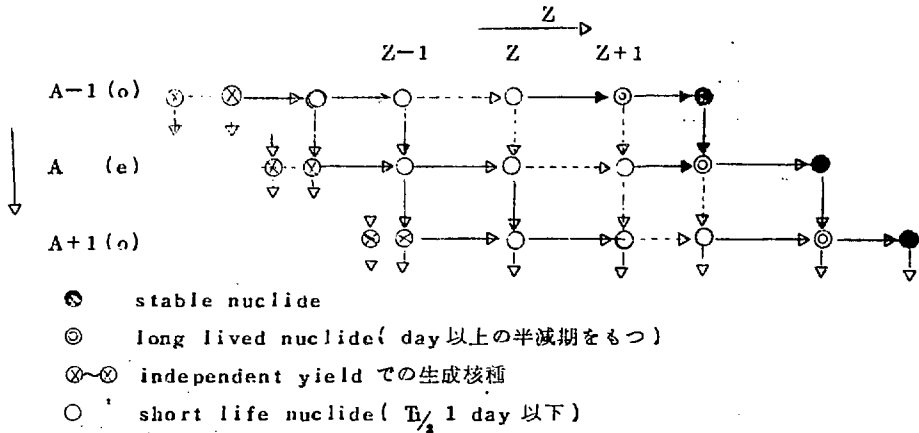


Fig. 4-2-1 Nuclear Transformation scheme

ここで上記各式の右辺第1項から考えていくと、
independent yield y_i の各 (e, e), (o, o), (e, o), (o, e) の item に生成してくる割合は、ほとんど等しい。それは、independent yield の生成仮定で一般にとられ

ている most probable charge のまわりの gauss 分布仮定によるためである。

$$\sum_A \sum_Z {}^e y_i \approx \sum_A \sum_Z {}^o y_i \approx \sum_A \sum_Z {}^e y_i \approx \sum_A \sum_Z {}^o y_i$$

また、第3項は ϕ が 10^{15} 程度のもを考えると、半減期が day order 以上の場合を考えて σ_e が 1 barn 前後であるから、第2項に比べて 10^{-8} 程小さくなり無視することができる。

次に第2項を考える。(4-2-4)式における $\sum_j \lambda_j N$ の summation は、核変換網に含まれる全ての核種の summation を意味している。今 time step としては、初期時間から数日経過した場合を考えると、半減期が one day 以下の核種の濃度はほぼ saturate しており、それら核種の濃度は $(\sum_f \phi \cdot y_{Tc})$ total chain yield y_{Tc} に全体の FP 生成量をかけたもので近似できる。したがって、 $\sum_j \lambda_j N$ の summation は次のようにかきなおすことができる。

$$\sum_j \lambda_j N = \underbrace{\sum_{j=1}^{\ell} \left(\sum_{i=1}^j y_i^* \right)}_{\otimes} + \underbrace{Y_T + \dots + Y_T}_{\circ} + \underbrace{Y_T \cdot (1 - e^{-\lambda_{f-1} t})}_{\ominus} \quad (4-2-12)$$

$$y_i^* = y_i (\sum_f \phi) \quad (i\text{-th 核種の independent yield}) * (\sum_f \phi)$$

ℓ : independent yield の生成項が ℓ -th 核種まで存在する。

$$Y_T \equiv (\sum_f \phi) \sum_{i=1}^{\ell} y_i = \sum_{i=1}^{\ell} y_i^*$$

- ⊗----- independent yield での生成核種
- short life nuclide($T_{1/2} \leq 1 \sim 2$ day)
- ⊖----- long lived nuclide($T_{1/2} \geq 3 \sim 5$ day)

以上のような近似を用いて解析的に解くわけである。計算は現在進行中であり、こうした方向からの結果が現実をよく simulate するものであれば、きわめて有効で簡単な PFP のまとめ方となりうる。この考え方は、全FPを4つの type に分けたが、大雑把に考えても、少し粗い感じがする。極めて詳細な分け方をしたのが(全核種についての number density weight による方法) 4-1, 4-3 で取り上げられる方法である。したがって、その中間的な考え方が、もう少し別な観点からの分け方、として色々考えられよう。たとえば、yield curve で各 fissionable 核種についてそれ程変化の少ない重い方の peak とかなり変化する軽い方の peak とによって分けたりするようなものを組み合わせる方法もあろう。

4.3 UKNDL File に与えられていない核種に対して偶奇性から推定した断面積を代用した場合

4.1 では、chain に含まれる核種の濃度変化を追う必要がありながら、断面積がないために安定核で代用してしまった chain が、たとえば ^{239}Pu の場合で 77% 中 49% も存在した。(これは、UKNDL に data が与えられていないためであった。) ここでは 4.1 で追跡されなかった chain に含まれる核種の濃度変化を考慮してみることにする。そのためには、これら chain に含まれる核種の断面積を何らかの方法で用意する必要がある。あるいは近似であるが 3 章および前章で得えられた断面積の偶奇性にもとづく特性を用いて 4.1 で追跡されなかった chain に含まれる核種の断面積を作成した。我々の目的は、追跡すべき chain に含まれる核種の時間による濃度変化が全 F P の実効断面積の時間変化にどの程度の寄与をもたらすかを検討することにある。このような断面積の作成法は第 1 近似として認められよう。

(1) 計算方法

追跡すべき chain に含まれる核種の断面積が UKNDL File に用意されている場合は、それら各核種の濃度変化は 4.1 で与えられたものと同じである。UKNDL File に用意されていない核種の断面積は、その偶奇性が (even-even), (odd-odd), (even-odd), (odd-even) [かつこ内は neutron number-proton number についての偶奇性] の 4 つの item のうちいずれに属するかによって決定される。したがって、同じ偶奇性を持つ核種は、全て同じ断面積を持つことになる。

それぞれ 4 つの偶奇性で表わされる断面積は、すでに 3 章において示したように、UKNDL-78 核種を用いて得られた yield weight の平均断面積 (c.f. 3-1-1 章) で与えられ、比較のために equal weight (c.f. 3-1-2 章) も用いられた。

今各 chain 相互間の核変換を無視しているため、各 chain 内に生まれてきたものは、生涯この chain から出ることはないという仮定のもとで話しを進めている。

ここでは、我々は UKNDL File に断面積のない核種については、その濃度変化を全て偶奇性にしたがって 4 つの item に振り分けさせる手法をとっているため (明らかに一つの崩壊系列内では 2 つの item しか依存しない)、同一 chain における、その振り分けの割合が時間経過にしたがって全り変化しなければその chain の実効断面積および全 F P の実効断面積の時間変化におよぼす量は大きくないとみなされる。したがって、各 item に属する核種の濃度変化が全 F P の実効断面積の時間依存性を考慮する上での一つの指標となる。

各 item へ振り分けられた UKNDL に存在しない断面積に対する各 burn-up time step 毎の変化は Table 4-3-3 に示されるようにそれ程大きくない。したがって、全 F P の実効断面積の時間依存性に対してそれ程大きな変化は起こらないであろうと考えられる。

(2) 結果と議論

我々はここで ^{239}Pu について考察していく。

Table 4-3-1 では UKNDL で与えられていない核種の断面積は、その偶奇性の各 item 毎に yield weight された平均断面積が用いられている。Table 4-3-2 では、equal weight の平均断面積が用いられている。

又図4-3-1は burn-up time $t=360$ days における全FPの実効断面積, 図4-3-2は burn-up time $t=180$ days のもの, 図4-3-3は burn-up time $t=30$ days のものである。

4.1節でUKNDL-78核種のみ扱ったもの(図中の実線)をAと称し, 4-3節でUKNDLに存在しない核種の断面積に yield weight された断面積を代用した場合(図中の点線)をBと称し, UKNDLに存在しない核種の断面積に equal weight の断面積を代用した場合(図中の破線)をCと称する。

図表の値は全て total yield $\sum Y_i$ で規格化されている。これらの図表からわかるように 360 days 経過したA, B, Cの三者の間にはわずかの差異しか認められない。

1 MeV 以上ではB, CがAより多少小さく(最大で5%程), 1 MeV~10 KeV の三者間の一致は非常によい。

10 KeV 以下での三者間の差異はB, CがAより大きくなっている(最大で5%程)。

180 daysの場合には上の360 daysの場合の差異が少し大きくなる程度で, 100 eV以下を除けば, yield weight した平均断面積を部分的に使った場合(B)と, UKNDL-78核種のみを用いた場合(A)とでは, 実際の使用上一致していると考えてよい。30 daysの時のA, B, Cの傾向は500 keV以上でAが最大, 次いでC, Bとなり yield weight した断面積を使用したものの方が低くなっている。(最大で15%)。

逆に500 KeV以下ではC, B, Aの順で小さくなっており, B, A間の差異はやはりそれ程大きなものではない(3%)。

CとAの差はかなり大きく, 平均して10%前後となる。この場合, 100 eV 以上のenergy域では1 KeVの付近で最大の差異が認められる。(20%)

全く同じことがTable 4-3-4の, 4.1 Fで取扱った高速炉のenergy spectrumで weight した全energyにわたる実効断面積の burn-up time による変化にいえよう。

1000 days と 30 days burn-up の時の3000ℓ Pu(O₂)-UO₂ coreの場合の spectrum weight された実効断面積の変化は yield weight した断面積を代用した場合は2%弱, equal weight の断面積を代用した場合は7%強程 30 days の時の方が大きくなっている。したがって実際の断面積はその中間にあるであろうから, 平均して5%程の差が生じていると考えられる。ただかなり問題になることは, 4.1 Fでの傾向と, ここでの時間依存性が反対なことである。UKNDLのみの取扱いでは burn-up time が進むにつれて全FPの実効断面積が増加する傾向を示しているが odd-even特性にもとづくここでの計算では逆に減少する傾向を示している。(全エネルギーにわたって3000ℓ PuO₂-UO₂ coreで spectral weight された実効断面積の比 $\sigma(30\text{days})/\sigma(1000\text{days})=0.998$, 一方 yield weight した断面積を代用したものの上記の比は1.02, 又 equal weight した断面積を代用したものの比は1.07)。その理由は, 不安定な核種の断面積の方が平均的な断面積(全核種にわたっての)よりも多少低めに定めているためである。

以上の結果からわかるように高速炉において重要になる100 eV以上のenergy域ではAとBはほとんど一致しており(最大5%の差), 又CとAの差もそれ程大きくなく(最大で10%), これらの差異はさらに burn-up time が長くなると小さくなり, 1000 days では一

致してしまふ。したがって半年以上の burn-up time をとる場合、time dependent な cross section set は現在の要求される burn-up 計算の精度から考えて必要ないと思われる。FP 以外の核種の核データの精度およびそれら炉定数化のプロセスで生じる種々の誤差を考えると、全 FP 実効断面積に時間依存性を考慮しないという近似を行っても十分に使用にたえるものと考えられる。すなわち、一般的に高速炉の場合の FP の濃度変化の時間に対する linearity は十分よいといえる。この高速炉で重要になるエネルギー領域では、熱中性子領域でみられるような極端に大きな共鳴断面積（たとえば ^{138}Xe , ^{137}Sm 等）が存在しないことと、追跡しなければならない chain の全 FP の実効断面積の時間変化におよぼす寄与は、ほとんどの burn-up time を考えれば、ほとんど最終核からもたらされるためである。

Table 4-0-1 Group structure.

ENERGY RANGE

70 GROUP STRUCTURE				25 GROUP STRUCTURE			
GROUP	UP-ENERGY	LOW-ENERGY	DEL U	GROUP	UP-ENERGY	LOW-ENERGY	DEL U
1	1.000E 07	8.300E 06	0.1863	36	1.660E 03	1.240E 03	0.2522
2	3.000E 06	6.500E 06	0.2445	37	1.290E 03	1.000E 03	0.2546
3	6.500E 06	5.100E 06	0.2426	38	1.000E 03	7.300E 02	0.2575
4	5.100E 06	4.000E 06	0.2429	39	7.730E 02	5.980E 02	0.2567
5	4.000E 06	3.100E 06	0.2549	40	5.980E 02	4.650E 02	0.2559
6	3.100E 06	2.500E 06	0.2151	41	4.650E 02	3.600E 02	0.2516
7	2.500E 06	1.900E 06	0.2744	42	3.600E 02	2.780E 02	0.2585
8	1.900E 06	1.400E 06	0.3054	43	2.780E 02	2.150E 02	0.2570
9	1.400E 06	1.000E 06	0.2412	44	2.150E 02	1.660E 02	0.2587
10	1.000E 06	8.000E 05	0.3185	45	1.660E 02	1.290E 02	0.2522
11	8.000E 05	6.300E 05	0.2389	46	1.290E 02	1.000E 02	0.2546
12	6.300E 05	5.000E 05	0.2311	47	1.000E 02	7.300E 01	0.2575
13	5.000E 05	4.000E 05	0.2231	48	7.730E 01	5.980E 01	0.2567
14	4.000E 05	3.100E 05	0.2549	49	5.980E 01	4.650E 01	0.2516
15	3.100E 05	2.500E 05	0.2151	50	4.650E 01	3.600E 01	0.2559
16	2.500E 05	2.000E 05	0.2231	51	3.600E 01	2.780E 01	0.2585
17	2.000E 05	1.500E 05	0.2877	52	2.780E 01	2.150E 01	0.2570
18	1.500E 05	1.200E 05	0.2231	53	2.150E 01	1.660E 01	0.2587
19	1.200E 05	1.000E 05	0.1823	54	1.660E 01	1.290E 01	0.2522
20	1.000E 05	7.730E 04	0.2375	55	1.290E 01	1.000E 01	0.2546
21	7.730E 04	5.980E 04	0.2567	56	1.000E 01	7.300E 00	0.2575
22	5.980E 04	4.650E 04	0.2516	57	7.730E 00	5.980E 00	0.2567
23	4.650E 04	3.600E 04	0.2559	58	5.980E 00	4.650E 00	0.2516
24	3.600E 04	2.780E 04	0.2585	59	4.650E 00	3.600E 00	0.2585
25	2.780E 04	2.150E 04	0.2570	60	3.600E 00	2.780E 00	0.2559
26	2.150E 04	1.660E 04	0.2587	61	2.780E 00	2.150E 00	0.2570
27	1.660E 04	1.290E 04	0.2522	62	2.150E 00	1.660E 00	0.2567
28	1.290E 04	1.000E 04	0.2546	63	1.660E 00	1.290E 00	0.2522
29	1.000E 04	7.730E 03	0.2575	64	1.290E 00	1.000E 00	0.2546
30	7.730E 03	5.980E 03	0.2567	65	1.000E 00	7.300E 01	0.2575
31	5.980E 03	4.650E 03	0.2516	66	7.730E 01	5.980E 01	0.2567
32	4.650E 03	3.600E 03	0.2559	67	5.980E 01	4.650E 01	0.2516
33	3.600E 03	2.780E 03	0.2585	68	4.650E 01	3.600E 01	0.2559
34	2.780E 03	2.150E 03	0.2570	69	3.600E 01	2.780E 01	0.2585
35	2.150E 03	1.660E 03	0.2587	70	2.780E 01	2.150E 01	0.2570
1	1.000E 07	6.500E 06	0.4308	1	1.000E 07	6.500E 06	0.4308
2	6.500E 06	4.000E 06	0.4855	2	6.500E 06	4.000E 06	0.4855
3	4.000E 06	2.500E 06	0.4700	3	4.000E 06	2.500E 06	0.4700
4	2.500E 06	1.400E 06	0.5798	4	2.500E 06	1.400E 06	0.5798
5	1.400E 06	8.000E 05	0.3596	5	1.400E 06	8.000E 05	0.3596
6	8.000E 05	4.000E 05	0.6931	6	8.000E 05	4.000E 05	0.6931
7	4.000E 05	2.000E 05	0.6931	7	4.000E 05	2.000E 05	0.6931
8	2.000E 05	1.000E 05	0.6931	8	2.000E 05	1.000E 05	0.6931
9	1.000E 05	4.650E 04	0.7657	9	1.000E 05	4.650E 04	0.7657
10	4.650E 04	2.150E 04	0.7714	10	4.650E 04	2.150E 04	0.7714
11	2.150E 04	1.000E 04	0.7655	11	2.150E 04	1.000E 04	0.7655
12	1.000E 04	4.650E 03	0.7657	12	1.000E 04	4.650E 03	0.7657
13	4.650E 03	2.150E 03	0.7714	13	4.650E 03	2.150E 03	0.7714
14	2.150E 03	1.000E 03	0.7655	14	2.150E 03	1.000E 03	0.7655
15	1.000E 03	4.650E 02	0.7657	15	1.000E 03	4.650E 02	0.7657
16	4.650E 02	2.150E 02	0.7714	16	4.650E 02	2.150E 02	0.7714
17	2.150E 02	1.000E 02	0.7655	17	2.150E 02	1.000E 02	0.7655
18	1.000E 02	4.650E 01	0.7657	18	1.000E 02	4.650E 01	0.7657
19	4.650E 01	2.150E 01	0.7714	19	4.650E 01	2.150E 01	0.7714
20	2.150E 01	1.000E 01	0.7655	20	2.150E 01	1.000E 01	0.7655
21	1.000E 01	4.650E 00	0.7657	21	1.000E 01	4.650E 00	0.7657
22	4.650E 00	2.150E 00	0.7714	22	4.650E 00	2.150E 00	0.7714
23	2.150E 00	1.000E 00	0.7655	23	2.150E 00	1.000E 00	0.7655
24	1.000E 00	4.650E 00	0.7657	24	1.000E 00	4.650E 00	0.7657
25	4.650E 00	2.150E 00	0.7714	25	4.650E 00	2.150E 00	0.7714

Table 4-0-2 Weighting Fluxes (1/E spectrum)

FLUX TABLES(1/F SPEC)

70 GROUP STRUCTURE		25 GROUP STRUCTURE	
GROUP	FLUX	GROUP	FLUX
1	1.10955E-02	36	2.74856E-01
2	3.98508E-02	37	2.57403E-01
3	9.55045E-02	38	2.59212E-01
4	1.70343E-01	39	2.58583E-01
5	4.63039E-01	40	2.53484E-01
6	2.71871E-01	41	2.58019E-01
7	3.75478E-01	42	2.80806E-01
8	4.03709E-01	43	2.59512E-01
9	2.80705E-01	44	2.61255E-01
10	5.02196E-01	45	2.54598E-01
11	2.39185E-01	46	2.56999E-01
12	2.32142E-01	47	2.59702E-01
13	2.25000E-01	48	2.58712E-01
14	4.57661E-01	49	2.53405E-01
15	2.16128E-01	50	2.57749E-01
16	2.24999E-01	51	2.67164E-01
17	2.91666E-01	52	2.58480E-01
18	2.24999E-01	53	2.67015E-01
19	4.83333E-01	54	2.53377E-01
20	4.57948E-01	55	2.55815E-01
21	2.57459E-01	56	2.57806E-01
22	2.52573E-01	57	2.57044E-01
23	2.56697E-01	58	2.51803E-01
24	2.59567E-01	59	2.56273E-01
25	4.59821E-01	60	2.58823E-01
26	4.59792E-01	61	2.57355E-01
27	4.54856E-01	62	2.58994E-01
28	4.57403E-01	63	2.52495E-01
29	2.57948E-01	64	2.54977E-01
30	2.57459E-01	65	2.57804E-01
31	2.52572E-01	66	2.57025E-01
32	2.56096E-01	67	2.51807E-01
33	2.59567E-01	68	2.56273E-01
34	4.59821E-01	69	2.53840E-01
35	4.59793E-01	70	2.57339E-01

-69-

JAEHI-memo 4503

Table 4-1-1-2 Time dependence of 70-group average (n, γ) cross-section of a pair of Pu-239 thermal fission yield.

NORMALIZED LFP

UNIT: (1/EV)

GROUP	TIME	DATA	360.00	180.00	170.00	90.00	60.00	30.00
1	9999.00	1.000.00	360.00	180.00	170.00	90.00	60.00	30.00
2	4.253767E-01	2.282040E-03	4.458108E-03	4.245334E-03	4.273037E-03	4.236476E-03	4.236466E-03	4.238559E-03
1	4.103589E-03	4.130524E-03	4.108964E-03	4.097022E-03	4.091729E-03	4.086914E-03	4.086914E-03	4.094544E-03
3	4.553046E-04	4.579481E-03	4.557780E-03	4.545268E-03	4.539397E-03	4.536428E-03	4.534484E-03	4.537732E-03
4	6.228214E-04	6.250505E-03	6.227894E-03	6.217600E-03	6.204978E-03	6.198672E-03	6.192357E-03	6.183921E-03
5	1.029670E-02	1.031073E-02	1.028809E-02	1.027896E-02	1.027640E-02	1.027411E-02	1.027334E-02	1.027054E-02
6	1.741695E-02	1.742597E-02	1.739934E-02	1.736887E-02	1.734987E-02	1.733451E-02	1.732034E-02	1.725159E-02
7	3.011600E-02	3.008164E-02	3.006085E-02	3.002149E-02	2.998871E-02	2.995987E-02	2.993096E-02	2.979882E-02
8	4.283318E-02	4.274852E-02	4.272734E-02	4.268802E-02	4.264069E-02	4.259827E-02	4.252530E-02	4.239484E-02
9	5.499707E-02	5.480351E-02	5.481264E-02	5.471992E-02	5.466601E-02	5.459882E-02	5.447805E-02	5.431717E-02
10	7.485147E-02	7.448644E-02	7.454934E-02	7.445517E-02	7.434859E-02	7.427461E-02	7.416307E-02	7.358279E-02
11	9.626695E-02	9.592041E-02	9.577617E-02	9.572212E-02	9.562121E-02	9.547337E-02	9.544964E-02	9.444964E-02
12	1.135338E-01	1.149790E-01	1.149547E-01	1.147379E-01	1.145504E-01	1.143508E-01	1.139767E-01	1.129209E-01
13	1.373314E-01	1.369621E-01	1.368891E-01	1.366748E-01	1.365537E-01	1.360905E-01	1.355316E-01	1.341695E-01
14	1.642617E-01	1.658435E-01	1.657331E-01	1.653997E-01	1.650359E-01	1.647174E-01	1.640627E-01	1.627330E-01
15	1.949875E-01	1.945227E-01	1.943848E-01	1.940975E-01	1.935949E-01	1.932016E-01	1.924920E-01	1.902761E-01
16	2.142348E-01	2.137522E-01	2.135927E-01	2.131771E-01	2.127414E-01	2.123145E-01	2.111878E-01	2.091348E-01
17	2.429589E-01	2.419949E-01	2.418501E-01	2.413849E-01	2.408947E-01	2.404189E-01	2.394381E-01	2.368487E-01
18	2.748458E-01	2.741675E-01	2.740178E-01	2.735044E-01	2.729731E-01	2.724443E-01	2.714145E-01	2.685050E-01
19	3.043474E-01	3.036029E-01	3.034470E-01	3.028979E-01	3.023140E-01	3.017497E-01	3.006306E-01	2.974729E-01
20	3.509370E-01	3.401493E-01	3.399518E-01	3.383022E-01	3.376795E-01	3.360403E-01	3.332354E-01	3.283354E-01
21	3.906314E-01	3.898319E-01	3.895619E-01	3.888367E-01	3.880892E-01	3.873500E-01	3.859212E-01	3.818724E-01
22	4.635353E-01	4.449933E-01	4.447808E-01	4.433712E-01	4.425327E-01	4.417189E-01	4.401304E-01	4.356516E-01
23	5.074538E-01	5.048114E-01	5.046294E-01	5.033376E-01	5.024061E-01	5.015117E-01	5.011771E-01	4.948481E-01
24	5.617188E-01	5.612192E-01	5.605349E-01	5.594316E-01	5.583889E-01	5.574031E-01	5.555048E-01	5.502012E-01
25	6.303294E-01	6.725578E-01	6.716932E-01	6.703424E-01	6.692776E-01	6.681960E-01	6.661339E-01	6.603935E-01
26	7.025485E-01	7.722222E-01	7.711619E-01	7.697617E-01	7.685109E-01	7.673605E-01	7.651820E-01	7.591819E-01
27	9.32084E-01	8.029837E-01	8.017114E-01	8.001021E-01	8.001444E-01	8.001444E-01	8.001291E-01	8.001291E-01
28	1.048240E-01	1.045363E-01	1.047047E-01	1.045272E-01	1.043379E-01	1.042474E-01	1.040014E-01	1.033396E-01
29	1.212240E-01	1.212396E-01	1.210375E-01	1.210375E-01	1.210689E-01	1.209256E-01	1.202704E-01	1.195904E-01
30	1.415223E-01	1.414612E-01	1.413135E-01	1.413885E-01	1.412463E-01	1.411342E-01	1.409172E-01	1.402491E-01
31	1.645491E-01	1.644918E-01	1.643919E-01	1.643002E-01	1.642191E-01	1.641384E-01	1.641384E-01	1.635301E-01
32	2.002224E-01	2.003352E-01	2.003352E-01	2.001574E-01	2.000656E-01	1.999774E-01	1.998774E-01	1.990875E-01
33	2.405277E-01	2.407091E-01	2.405222E-01	2.403494E-01	2.402442E-01	2.401245E-01	2.398893E-01	2.391131E-01
34	3.012537E-01	3.014325E-01	3.012075E-01	3.007966E-01	3.005312E-01	3.003312E-01	2.999740E-01	2.984131E-01
35	3.593544E-01	3.596305E-01	3.595901E-01	3.595925E-01	3.595528E-01	3.594779E-01	3.592591E-01	3.582938E-01
36	4.659899E-01	4.461772E-01	4.458202E-01	4.454957E-01	4.452648E-01	4.450245E-01	4.446443E-01	4.433177E-01
37	6.676859E-01	6.677202E-01	6.674048E-01	6.671046E-01	6.666472E-01	6.663003E-01	6.656104E-01	6.634471E-01
38	7.019407E-01	7.021813E-01	7.021078E-01	7.012584E-01	7.008875E-01	7.005572E-01	6.999249E-01	6.970211E-01
39	8.619372E-01	8.604490E-01	8.598000E-01	8.586473E-01	8.584975E-01	8.584758E-01	8.516317E-01	8.470051E-01
40	1.058515E-01	1.058432E-01	1.058040E-01	1.057571E-01	1.057155E-01	1.056789E-01	1.056098E-01	1.054040E-01
41	1.083372E-01	1.084150E-01	1.082981E-01	1.081972E-01	1.081073E-01	1.080219E-01	1.078517E-01	1.073548E-01
42	1.326444E-01	1.320437E-01	1.321287E-01	1.303452E-01	1.297048E-01	1.292591E-01	1.286673E-01	1.277272E-01
43	1.396343E-01	1.395947E-01	1.395316E-01	1.394242E-01	1.393309E-01	1.391968E-01	1.389666E-01	1.382745E-01
44	1.549772E-01	1.541640E-01	1.546688E-01	1.548229E-01	1.549110E-01	1.549949E-01	1.551736E-01	1.557146E-01
45	1.196664E-01	1.194932E-01	1.195114E-01	1.195428E-01	1.195749E-01	1.196063E-01	1.196656E-01	1.197878E-01
46	2.176393E-01	2.174912E-01	2.173745E-01	2.171335E-01	2.168722E-01	2.166159E-01	2.160985E-01	2.144248E-01
47	1.503587E-01	1.504903E-01	1.511111E-01	1.517971E-01	1.524874E-01	1.531984E-01	1.539870E-01	1.582712E-01
48	2.243779E-01	2.244617E-01	2.243918E-01	2.243567E-01	2.243327E-01	2.243109E-01	2.242705E-01	2.241809E-01
49	2.071684E-01	2.078701E-01	2.086330E-01	2.099453E-01	2.112907E-01	2.126406E-01	2.153324E-01	2.227891E-01
50	7.041482E-01	7.052483E-01	7.047597E-01	7.046359E-01	7.046211E-01	7.046816E-01	7.048816E-01	7.051727E-01
51	6.875277E-01	6.892431E-01	6.907676E-01	6.935466E-01	6.964207E-01	6.993123E-01	7.051266E-01	7.216139E-01
52	1.952640E-01	1.960449E-01	1.972151E-01	1.980129E-01	1.988459E-01	1.992816E-01	1.992094E-01	1.992359E-01
53	4.951187E-01	4.978393E-01	4.911700E-01	4.931272E-01	4.923022E-01	4.914348E-01	4.904997E-01	4.909046E-01
54	1.083416E-02	1.074034E-02	1.086595E-02	1.050675E-02	1.004478E-02	9.783278E-02	9.487246E-02	7.822112E-02
55	1.996818E-01	1.931193E-01	1.938095E-01	1.938926E-01	1.937809E-01	1.936149E-01	1.932297E-01	1.920531E-01
56	6.996069E-01	6.459835E-01	6.459866E-01	6.400319E-01	6.402181E-01	6.404098E-01	6.408043E-01	6.420194E-01
57	6.714522E-01	6.724797E-01	6.683225E-01	6.635537E-01	6.591030E-01	6.547610E-01	6.461882E-01	6.217023E-01
58	2.184840E-02	2.174523E-02	2.171992E-02	2.163490E-02	2.154054E-02	2.144433E-02	2.124945E-02	2.048120E-02
59	2.427982E-01	2.508985E-01	2.688095E-01	2.840129E-01	3.210697E-01	3.071816E-01	3.987211E-01	3.597202E-01
60	4.358779E-01	4.383985E-01	4.977428E-01	4.756109E-01	4.726902E-01	4.690591E-01	3.819148E-01	4.087023E-01
61	1.285211E-01	1.277490E-01	2.316728E-01	3.293774E-01	4.245068E-01	5.275212E-01	7.276395E-01	1.316901E-02
62	1.686311E-01	1.621979E-01	1.718008E-01	1.709892E-01	1.370713E-02	1.770688E-02	2.571777E-02	4.877112E-02
63	1.917185E-01	1.567058E-02	1.465014E-02	1.782700E-02	1.413474E-02	2.048232E-02	2.316022E-02	1.312391E-02
64	1.195373E-02	1.217024E-02	1.247450E-02	1.298898E-02	1.350592E-02	1.402264E-02	1.506448E-02	1.616838E-02
65	1.452836E-02	1.452450E-02	1.471327E-02	1.507421E-02	1.544497E-02	1.581558E-02	1.656471E-02	1.879940E-02
66	2.837978E-01	3.098423E-01	3.249790E-01	3.614667E-01	3.998872E-01	4.382030E-01	5.164680E-01	7.487160E-01
67	3.205218E-01	2.730341E-01	2.869935E-01	3.341872E-01	3.832707E-01	4.362265E-01	4.403275E-01	3.302855E-01
68	3.006624E-01	3.805112E-01	3.960972E-01	4.706688E-01	5.541157E-01	6.375079E-01	8.087146E-01	1.354442E-02
69	4.812319E-01	6.391355E-01	6.713368E-01	7.946408E-01	8.481408E-01	1.102296E-02	1.181815E-02	2.356112E-02
70	1.029295E-01	1.371889E-02	1.402516E-02	1.694178E-02	2.022287E-02	2.349331E-02	3.022944E-02	3.020047E-02

Table 4-1-2-1 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of U-235 fast fission yield.

GROUP	TIME	NORMALIZED $\lambda \cdot P$										UNIT (FAK/N)
		9999.00	1000.00	360.00	180.00	120.00	90.00	60.00	30.00			
1	3.750621E-03	4.750855E-03	3.730997E-03	3.710769E-03	3.690541E-03	3.670313E-03	3.650085E-03	3.629857E-03	3.609629E-03	3.589401E-03	3.569173E-03	3.548945E-03
2	3.622168E-03	4.622402E-03	3.602244E-03	3.582016E-03	3.561788E-03	3.541560E-03	3.521332E-03	3.501104E-03	3.480876E-03	3.460648E-03	3.440420E-03	3.420192E-03
3	3.966921E-03	4.967155E-03	3.947297E-03	3.927069E-03	3.906841E-03	3.886613E-03	3.866385E-03	3.846157E-03	3.825929E-03	3.805701E-03	3.785473E-03	3.765245E-03
4	5.243269E-03	6.243503E-03	5.223385E-03	5.203157E-03	5.182929E-03	5.162701E-03	5.142473E-03	5.122245E-03	5.102017E-03	5.081789E-03	5.061561E-03	5.041333E-03
5	8.408717E-03	9.408951E-03	8.388593E-03	8.368365E-03	8.348137E-03	8.327909E-03	8.307681E-03	8.287453E-03	8.267225E-03	8.246997E-03	8.226769E-03	8.206541E-03
6	1.406714E-02	1.405035E-02	1.403356E-02	1.401677E-02	1.399998E-02	1.398319E-02	1.396640E-02	1.394961E-02	1.393282E-02	1.391603E-02	1.389924E-02	1.388245E-02
7	2.463061E-02	2.459358E-02	2.455655E-02	2.451952E-02	2.448249E-02	2.444546E-02	2.440843E-02	2.437140E-02	2.433437E-02	2.429734E-02	2.426031E-02	2.422328E-02
8	5.519037E-02	5.513624E-02	5.508211E-02	5.502798E-02	5.497385E-02	5.491972E-02	5.486559E-02	5.481146E-02	5.475733E-02	5.470320E-02	5.464907E-02	5.459494E-02
9	4.512157E-02	4.507136E-02	4.502115E-02	4.497094E-02	4.492073E-02	4.487052E-02	4.482031E-02	4.477010E-02	4.471989E-02	4.466968E-02	4.461947E-02	4.456926E-02
10	4.299144E-02	4.294123E-02	4.289102E-02	4.284081E-02	4.279060E-02	4.274039E-02	4.269018E-02	4.263997E-02	4.258976E-02	4.253955E-02	4.248934E-02	4.243913E-02
11	8.153087E-02	8.148066E-02	8.143045E-02	8.138024E-02	8.133003E-02	8.127982E-02	8.122961E-02	8.117940E-02	8.112919E-02	8.107898E-02	8.102877E-02	8.101922E-02
12	9.469594E-02	9.464573E-02	9.459552E-02	9.454531E-02	9.449510E-02	9.444489E-02	9.439468E-02	9.434447E-02	9.429426E-02	9.424405E-02	9.419384E-02	9.414363E-02
13	1.066894E-01	1.064757E-01	1.062620E-01	1.060483E-01	1.058346E-01	1.056209E-01	1.054072E-01	1.051935E-01	1.049798E-01	1.047661E-01	1.045524E-01	1.043387E-01
14	1.234984E-01	1.232847E-01	1.230710E-01	1.228573E-01	1.226436E-01	1.224299E-01	1.222162E-01	1.220025E-01	1.217888E-01	1.215751E-01	1.213614E-01	1.211477E-01
15	1.407887E-01	1.405750E-01	1.403613E-01	1.401476E-01	1.399339E-01	1.397202E-01	1.395065E-01	1.392928E-01	1.390791E-01	1.388654E-01	1.386517E-01	1.384380E-01
16	1.546899E-01	1.544762E-01	1.542625E-01	1.540488E-01	1.538351E-01	1.536214E-01	1.534077E-01	1.531940E-01	1.529803E-01	1.527666E-01	1.525529E-01	1.523392E-01
17	1.788289E-01	1.786152E-01	1.784015E-01	1.781878E-01	1.779741E-01	1.777604E-01	1.775467E-01	1.773330E-01	1.771193E-01	1.769056E-01	1.766919E-01	1.764782E-01
18	2.001877E-01	1.999740E-01	1.997603E-01	1.995466E-01	1.993329E-01	1.991192E-01	1.989055E-01	1.986918E-01	1.984781E-01	1.982644E-01	1.980507E-01	1.978370E-01
19	2.226278E-01	2.222737E-01	2.219196E-01	2.215655E-01	2.212114E-01	2.208573E-01	2.205032E-01	2.201491E-01	2.197950E-01	2.194409E-01	2.190868E-01	2.187327E-01
20	2.507281E-01	2.503531E-01	2.499781E-01	2.496031E-01	2.492281E-01	2.488531E-01	2.484781E-01	2.481031E-01	2.477281E-01	2.473531E-01	2.469781E-01	2.466031E-01
21	2.889761E-01	2.885311E-01	2.880861E-01	2.876411E-01	2.871961E-01	2.867511E-01	2.863061E-01	2.858611E-01	2.854161E-01	2.849711E-01	2.845261E-01	2.840811E-01
22	3.311118E-01	3.307168E-01	3.303218E-01	3.299268E-01	3.295318E-01	3.291368E-01	3.287418E-01	3.283468E-01	3.279518E-01	3.275568E-01	3.271618E-01	3.267668E-01
23	3.762214E-01	3.758764E-01	3.755314E-01	3.751864E-01	3.748414E-01	3.744964E-01	3.741514E-01	3.738064E-01	3.734614E-01	3.731164E-01	3.727714E-01	3.724264E-01
24	4.369944E-01	4.366494E-01	4.363044E-01	4.359594E-01	4.356144E-01	4.352694E-01	4.349244E-01	4.345794E-01	4.342344E-01	4.338894E-01	4.335444E-01	4.331994E-01
25	5.075517E-01	5.071767E-01	5.068017E-01	5.064267E-01	5.060517E-01	5.056767E-01	5.053017E-01	5.049267E-01	5.045517E-01	5.041767E-01	5.038017E-01	5.034267E-01
26	5.895200E-01	5.891450E-01	5.887700E-01	5.883950E-01	5.880200E-01	5.876450E-01	5.872700E-01	5.868950E-01	5.865200E-01	5.861450E-01	5.857700E-01	5.853950E-01
27	6.855372E-01	6.851622E-01	6.847872E-01	6.844122E-01	6.840372E-01	6.836622E-01	6.832872E-01	6.829122E-01	6.825372E-01	6.821622E-01	6.817872E-01	6.814122E-01
28	7.984455E-01	7.979705E-01	7.974955E-01	7.970205E-01	7.965455E-01	7.960705E-01	7.955955E-01	7.951205E-01	7.946455E-01	7.941705E-01	7.936955E-01	7.932205E-01
29	9.252094E-01	9.247344E-01	9.242594E-01	9.237844E-01	9.233094E-01	9.228344E-01	9.223594E-01	9.218844E-01	9.214094E-01	9.209344E-01	9.204594E-01	9.199844E-01
30	1.070574E 00	1.070922E 00	1.071270E 00	1.071618E 00	1.071966E 00	1.072314E 00	1.072662E 00	1.073010E 00	1.073358E 00	1.073706E 00	1.074054E 00	1.074402E 00
31	1.251161E 00	1.252410E 00	1.253659E 00	1.254908E 00	1.256157E 00	1.257406E 00	1.258655E 00	1.259904E 00	1.261153E 00	1.262402E 00	1.263651E 00	1.264900E 00
32	1.507835E 00	1.509184E 00	1.510533E 00	1.511882E 00	1.513231E 00	1.514580E 00	1.515929E 00	1.517278E 00	1.518627E 00	1.519976E 00	1.521325E 00	1.522674E 00
33	1.819850E 00	1.820999E 00	1.822148E 00	1.823297E 00	1.824446E 00	1.825595E 00	1.826744E 00	1.827893E 00	1.829042E 00	1.830191E 00	1.831340E 00	1.832489E 00
34	2.276177E 00	2.277326E 00	2.278475E 00	2.279624E 00	2.280773E 00	2.281922E 00	2.283071E 00	2.284220E 00	2.285369E 00	2.286518E 00	2.287667E 00	2.288816E 00
35	2.865294E 00	2.866443E 00	2.867592E 00	2.868741E 00	2.869890E 00	2.871039E 00	2.872188E 00	2.873337E 00	2.874486E 00	2.875635E 00	2.876784E 00	2.877933E 00
36	3.584944E 00	3.586093E 00	3.587242E 00	3.588391E 00	3.589540E 00	3.590689E 00	3.591838E 00	3.592987E 00	3.594136E 00	3.595285E 00	3.596434E 00	3.597583E 00
37	4.767311E 00	4.768460E 00	4.769609E 00	4.770758E 00	4.771907E 00	4.773056E 00	4.774205E 00	4.775354E 00	4.776503E 00	4.777652E 00	4.778801E 00	4.779950E 00
38	5.407773E 00	5.408922E 00	5.410071E 00	5.411220E 00	5.412369E 00	5.413518E 00	5.414667E 00	5.415816E 00	5.416965E 00	5.418114E 00	5.419263E 00	5.420412E 00
39	6.707148E 00	6.708297E 00	6.709446E 00	6.710595E 00	6.711744E 00	6.712893E 00	6.714042E 00	6.715191E 00	6.716340E 00	6.717489E 00	6.718638E 00	6.719787E 00
40	8.245050E 00	8.246200E 00	8.247349E 00	8.248498E 00	8.249647E 00	8.250796E 00	8.251945E 00	8.253094E 00	8.254243E 00	8.255392E 00	8.256541E 00	8.257690E 00
41	8.250730E 00	8.251880E 00	8.253029E 00	8.254178E 00	8.255327E 00	8.256476E 00	8.257625E 00	8.258774E 00	8.259923E 00	8.261072E 00	8.262221E 00	8.263370E 00
42	1.080144E 01	1.081293E 01	1.082442E 01	1.083591E 01	1.084740E 01	1.085889E 01	1.087038E 01	1.088187E 01	1.089336E 01	1.090485E 01	1.091634E 01	1.092783E 01
43	1.127964E 01	1.129113E 01	1.130262E 01	1.131411E 01	1.132560E 01	1.133709E 01	1.134858E 01	1.136007E 01	1.137156E 01	1.138305E 01	1.139454E 01	1.140603E 01
44	1.343422E 01	1.344571E 01	1.345720E 01	1.346869E 01	1.348018E 01	1.349167E 01	1.350316E 01	1.351465E 01	1.352614E 01	1.353763E 01	1.354912E 01	1.356061E 01
45	8.834344E 00	8.834977E 00	8.835610E 00	8.836243E 00	8.836876E 00	8.837509E 00	8.838142E 00	8.838775E 00	8.839408E 00	8.840041E 00	8.840674E 00	8.841307E 00
46	1.879541E 01	1.879214E 01	1.878887E 01	1.878560E 01	1.878233E 01	1.877906E 01	1.877579E 01	1.877252E 01	1.876925E 01	1.876598E 01	1.876271E 01	1.875944E 01
47	1.042845E 01	1.043478E 01	1.044111E 01	1.044744E 01	1.045377E 01	1.046010E 01	1.046643E 01	1.047276E 01	1.047909E 01	1.048542E 01	1.049175E 01	1.049808E 01
48	1.872677E 01	1.873310E 01	1.873943E 01	1.874576E 01	1.875209E 01	1.875842E 01	1.876475E 01	1.877108E 01	1.877741E 01	1.878374E 01	1.879007E 01	1.879640E 01
49	1.781645E 01	1.782278E 01	1.782911E 01	1.783544E 01	1.784177E 01	1.784810E 01	1.785443E 01	1.786076E 01	1.786709E 01	1.787342E 01	1.787975E 01	1.788608E 01
50	7.045618E 01	7.046251E 01	7.046884E 01	7.047517E 01	7.048150E 01	7.048783E 01	7.049416E 01	7.050049E 01	7.050682E 01	7.051315E 01	7.051948E 01	7.052581E 01
51	2.797149E 01	2.798398E 01	2.799647E 01	2.800896E 01	2.802145E 01	2.803394E 01	2.804643E 01	2.805892E 01	2.807141E 01	2.808390E 01	2.809639E 01	2.810888E 01
52	1.588539E 01	1.589788E 01	1.591037E 01	1.592286E 01	1.593535E 01	1.594784E 01	1.596033E 01	1.597282E 01	1.598531E 01	1.599780E 01	1.601029E 01	1.602278E 01
53	3.786201E 01	3.787450E 01	3.788699E 01	3.789948E 01	3.791197E 01	3.792446E 01	3.793695E 01	3.794944E 01	3.796193E 01	3.797442E 01	3.798691E 01	3.799940E 01
54	8.872781E 01	8.873930E 01	8.875079E 01	8.876228E 01	8.877377E 01	8.878526E 01	8.879675E 01	8.880824E 01	8.881973E 01	8.883122E 01	8.884271E 01	8.885420E 01
55	1.222301E 01	1.223550E 01	1.224799E 01	1.226048E 01	1.227297E 01	1.228546E 01	1.229795E 01	1.231044E 01	1.232293E 01	1.233542E 01	1.234791E 01	1.236040E 01
56	4.152922E 01	4.153555E 01	4.154188E 01	4.154821E 01	4.155454E 01	4.156087E 01	4.156720E 01	4.157353E 01	4.157986E 01</			

Table 4-1-2-2 Time dependence of 70-group average (n, γ) cross-section of a pair of U-235 thermal fission yield.

NORMALIZED LFP

UNIT (BARN)

GROUP	TIME (DAY)	1000.00	360.00	180.00	+20.00	90.00	60.00	30.00
1	3.466581E-03	3.661777E-03	3.648181E-03	3.623767E-03	3.611348E-03	3.603248E-03	3.599034E-03	3.590471E-03
2	3.437294E-03	3.532849E-03	3.516383E-03	3.496117E-03	3.486761E-03	3.479766E-03	3.475000E-03	3.471316E-03
3	3.454851E-03	3.489843E-03	3.483165E-03	3.481040E-03	3.482045E-03	3.484988E-03	3.488802E-03	3.493898E-03
4	3.025253E-03	3.044455E-03	3.025055E-03	3.001491E-03	2.976119E-03	2.951297E-03	2.927967E-03	2.905211E-03
5	8.064401E-03	8.051666E-03	8.058870E-03	8.079951E-03	8.109790E-03	8.148913E-03	8.196480E-03	8.251974E-03
6	1.143733E-02	1.347800E-02	1.340800E-02	1.336817E-02	1.333980E-02	1.331716E-02	1.330015E-02	1.329073E-02
7	2.151186E-02	2.347194E-02	2.343031E-02	2.338499E-02	2.333699E-02	2.328613E-02	2.323261E-02	2.317711E-02
8	3.158389E-02	3.351594E-02	3.346301E-02	3.340272E-02	3.333597E-02	3.326272E-02	3.318307E-02	3.309807E-02
9	4.139214E-02	4.304076E-02	4.298314E-02	4.291897E-02	4.284780E-02	4.276990E-02	4.268549E-02	4.259495E-02
10	4.040784E-02	4.024622E-02	4.011581E-02	4.004004E-02	4.001765E-02	4.000000E-02	4.000000E-02	4.000000E-02
11	7.282084E-02	7.804417E-02	7.787227E-02	7.761207E-02	7.740612E-02	7.723884E-02	7.709649E-02	7.697576E-02
12	9.202379E-02	9.007046E-02	8.987629E-02	8.958867E-02	8.924647E-02	8.891446E-02	8.859897E-02	8.797112E-02
13	1.007622E-01	1.009846E-01	1.009388E-01	1.009239E-01	1.009397E-01	1.009749E-01	1.010292E-01	1.010898E-01
14	1.156719E-01	1.154348E-01	1.151774E-01	1.147972E-01	1.144130E-01	1.141287E-01	1.138760E-01	1.136534E-01
15	1.310084E-01	1.308098E-01	1.305251E-01	1.301193E-01	1.297394E-01	1.293870E-01	1.290637E-01	1.287712E-01
16	1.478119E-01	1.483633E-01	1.483359E-01	1.482906E-01	1.482240E-01	1.481676E-01	1.481257E-01	1.480816E-01
17	1.657405E-01	1.637005E-01	1.624811E-01	1.624842E-01	1.620433E-01	1.616680E-01	1.613494E-01	1.610789E-01
18	1.862084E-01	1.859513E-01	1.859781E-01	1.859474E-01	1.859718E-01	1.861029E-01	1.862403E-01	1.863830E-01
19	2.071101E-01	2.068299E-01	2.064250E-01	2.058818E-01	2.053399E-01	2.048048E-01	2.042808E-01	2.037697E-01
20	2.282281E-01	2.279492E-01	2.275432E-01	2.271999E-01	2.269313E-01	2.267300E-01	2.265929E-01	2.265086E-01
21	2.498137E-01	2.486128E-01	2.480808E-01	2.476192E-01	2.472442E-01	2.469484E-01	2.467265E-01	2.465767E-01
22	2.718124E-01	2.707115E-01	2.701190E-01	2.696348E-01	2.692459E-01	2.689496E-01	2.687287E-01	2.685761E-01
23	2.939334E-01	2.927786E-01	2.920384E-01	2.915116E-01	2.910627E-01	2.906911E-01	2.903904E-01	2.901590E-01
24	3.071867E-01	3.058429E-01	3.049739E-01	3.044012E-01	3.039263E-01	3.035491E-01	3.032614E-01	3.030462E-01
25	3.231390E-01	3.217935E-01	3.211439E-01	3.206537E-01	3.202969E-01	3.200000E-01	3.197631E-01	3.195816E-01
26	3.405931E-01	3.393310E-01	3.387339E-01	3.382930E-01	3.379172E-01	3.376000E-01	3.373431E-01	3.371416E-01
27	3.607447E-01	3.602475E-01	3.600000E-01	3.600000E-01	3.600000E-01	3.600000E-01	3.600000E-01	3.600000E-01
28	3.836617E-01	3.839927E-01	3.841835E-01	3.845912E-01	3.850369E-01	3.856217E-01	3.863433E-01	3.872025E-01
29	4.096904E-01	4.070887E-01	4.048152E-01	4.029015E-01	4.013444E-01	4.001499E-01	3.993355E-01	3.988034E-01
30	4.384490E-01	4.362435E-01	4.344364E-01	4.330364E-01	4.319571E-01	4.311000E-01	4.303666E-01	4.297499E-01
31	4.698555E-01	4.685866E-01	4.680213E-01	4.681287E-01	4.682000E-01	4.682400E-01	4.682700E-01	4.682866E-01
32	5.038322E-01	5.038666E-01	5.038666E-01	5.038666E-01	5.038666E-01	5.038666E-01	5.038666E-01	5.038666E-01
33	5.403298E-01	5.403298E-01	5.403298E-01	5.403298E-01	5.403298E-01	5.403298E-01	5.403298E-01	5.403298E-01
34	5.793505E-01	5.793505E-01	5.793505E-01	5.793505E-01	5.793505E-01	5.793505E-01	5.793505E-01	5.793505E-01
35	6.209251E-01	6.209251E-01	6.209251E-01	6.209251E-01	6.209251E-01	6.209251E-01	6.209251E-01	6.209251E-01
36	6.651246E-01	6.651246E-01	6.651246E-01	6.651246E-01	6.651246E-01	6.651246E-01	6.651246E-01	6.651246E-01
37	7.120487E-01	7.120487E-01	7.120487E-01	7.120487E-01	7.120487E-01	7.120487E-01	7.120487E-01	7.120487E-01
38	7.623584E-01	7.623584E-01	7.623584E-01	7.623584E-01	7.623584E-01	7.623584E-01	7.623584E-01	7.623584E-01
39	8.161344E-01	8.161344E-01	8.161344E-01	8.161344E-01	8.161344E-01	8.161344E-01	8.161344E-01	8.161344E-01
40	8.733987E-01	8.733987E-01	8.733987E-01	8.733987E-01	8.733987E-01	8.733987E-01	8.733987E-01	8.733987E-01
41	9.340505E-01	9.340505E-01	9.340505E-01	9.340505E-01	9.340505E-01	9.340505E-01	9.340505E-01	9.340505E-01
42	1.000251E-01	9.931075E-01	9.970844E-01	9.970115E-01	9.977704E-01	9.984702E-01	9.990499E-01	9.995177E-01
43	1.049515E-01	1.049155E-01	1.048828E-01	1.048582E-01	1.048435E-01	1.048395E-01	1.048461E-01	1.048528E-01
44	1.105246E-01	1.105117E-01	1.105039E-01	1.105071E-01	1.105200E-01	1.105317E-01	1.105419E-01	1.105502E-01
45	1.167344E-01	1.165858E-01	1.164110E-01	1.162193E-01	1.160197E-01	1.158131E-01	1.156000E-01	1.153816E-01
46	1.235276E-01	1.231135E-01	1.227075E-01	1.223000E-01	1.219010E-01	1.215106E-01	1.211288E-01	1.207554E-01
47	1.308589E-01	1.302824E-01	1.297330E-01	1.292128E-01	1.287209E-01	1.282573E-01	1.278220E-01	1.274054E-01
48	1.387534E-01	1.379404E-01	1.371673E-01	1.364333E-01	1.357290E-01	1.350543E-01	1.344093E-01	1.337940E-01
49	1.472620E-01	1.461946E-01	1.451695E-01	1.441866E-01	1.432450E-01	1.423457E-01	1.414884E-01	1.406731E-01
50	1.564944E-01	1.551835E-01	1.539151E-01	1.526902E-01	1.515087E-01	1.503706E-01	1.492759E-01	1.482244E-01
51	1.664691E-01	1.648005E-01	1.632104E-01	1.617000E-01	1.602694E-01	1.589186E-01	1.576477E-01	1.564568E-01
52	1.781860E-01	1.759522E-01	1.740031E-01	1.722481E-01	1.706780E-01	1.692832E-01	1.679647E-01	1.667324E-01
53	1.917634E-01	1.890630E-01	1.865346E-01	1.841826E-01	1.819070E-01	1.797090E-01	1.775895E-01	1.755486E-01
54	2.073805E-01	2.041535E-01	2.010810E-01	1.981635E-01	1.953910E-01	1.927635E-01	1.902810E-01	1.879435E-01
55	2.250840E-01	2.213110E-01	2.176935E-01	2.142315E-01	2.109250E-01	2.077740E-01	2.047785E-01	2.019385E-01
56	2.450840E-01	2.407410E-01	2.365435E-01	2.324915E-01	2.285850E-01	2.248240E-01	2.212085E-01	2.177385E-01
57	2.674840E-01	2.625410E-01	2.578035E-01	2.532715E-01	2.489450E-01	2.448240E-01	2.409085E-01	2.371985E-01
58	2.924840E-01	2.870410E-01	2.818035E-01	2.767715E-01	2.719450E-01	2.673240E-01	2.629085E-01	2.586985E-01
59	3.199840E-01	3.140410E-01	3.083035E-01	3.027715E-01	2.974450E-01	2.923240E-01	2.874085E-01	2.826985E-01
60	3.500840E-01	3.435410E-01	3.372035E-01	3.310715E-01	3.251450E-01	3.194240E-01	3.139085E-01	3.085985E-01
61	3.829840E-01	3.758410E-01	3.689035E-01	3.621715E-01	3.556450E-01	3.493240E-01	3.432085E-01	3.372985E-01
62	4.186840E-01	4.109410E-01	4.034035E-01	3.960715E-01	3.889450E-01	3.820240E-01	3.753085E-01	3.687985E-01
63	4.572840E-01	4.489410E-01	4.408035E-01	4.328715E-01	4.251450E-01	4.176240E-01	4.103085E-01	4.031985E-01
64	5.000840E-01	4.911410E-01	4.815035E-01	4.721715E-01	4.630450E-01	4.541240E-01	4.454085E-01	4.368985E-01
65	5.480840E-01	5.385410E-01	5.283035E-01	5.183715E-01	5.086450E-01	5.001240E-01	4.918085E-01	4.836985E-01
66	6.024840E-01	5.921410E-01	5.811035E-01	5.693715E-01	5.579450E-01	5.467240E-01	5.357085E-01	5.248985E-01
67	6.640840E-01	6.528410E-01	6.409035E-01	6.282715E-01	6.159450E-01	6.039240E-01	5.922085E-01	5.807985E-01
68	7.340840E-01	7.219410E-01	7.091035E-01	6.955715E-01	6.813450E-01	6.674240E-01	6.538085E-01	6.404985E-01
69	8.130840E-01	7.999410E-01	7.861035E-01	7.715715E-01	7.573450E-01	7.434240E-01	7.298085E-01	7.164985E-01
70	9.010840E-01	8.871410E-01	8.725035E-01	8.571715E-01	8.421450E-01	8.274240E-01	8.129085E-01	7.985985E-01

Table 4-1-3 Time dependence of 70-group average (n, $\bar{\nu}$) cross-section of a pair of U-238 fast fission yield.

GROUP	TIME (DAYS)	NORMALIZED LFD								UNIT (BARN)
		1000.00	360.00	180.00	120.00	90.00	60.00	30.00		
1	5.244305E-03	4.256156E-03	4.234437E-03	4.216474E-03	4.206204E-03	4.200078E-03	4.194064E-03	4.192712E-03		
2	4.089688E-03	4.107196E-03	4.081396E-03	4.064703E-03	4.055379E-03	4.049977E-03	4.044063E-03	4.043322E-03		
3	4.508321E-03	4.520106E-03	4.499072E-03	4.481689E-03	4.471791E-03	4.465880E-03	4.460064E-03	4.458145E-03		
4	6.098411E-03	6.099154E-03	6.076198E-03	6.052571E-03	6.042341E-03	6.033888E-03	6.027811E-03	6.021070E-03		
5	1.002289E-02	1.009454E-02	9.999831E-03	9.974014E-03	9.956737E-03	9.944444E-03	9.937723E-03	9.934972E-03		
6	1.694229E-02	1.694354E-02	1.690515E-02	1.687336E-02	1.684774E-02	1.682926E-02	1.681611E-02	1.680487E-02		
7	2.118027E-02	2.208244E-02	2.240474E-02	2.289515E-02	2.285181E-02	2.281449E-02	2.284727E-02	2.287640E-02		
8	4.137392E-02	4.131073E-02	4.126180E-02	4.126120E-02	4.122244E-02	4.107246E-02	4.098912E-02	4.093900E-02		
9	5.320241E-02	5.304984E-02	5.299951E-02	5.288300E-02	5.278744E-02	5.270495E-02	5.263737E-02	5.258142E-02		
10	7.294220E-02	7.264547E-02	7.265008E-02	7.249088E-02	7.235360E-02	7.222961E-02	7.205242E-02	7.181117E-02		
11	9.386643E-02	9.344454E-02	9.341473E-02	9.341474E-02	9.323786E-02	9.308221E-02	9.292720E-02	9.291931E-02		
12	1.106052E-01	1.104980E-01	1.102282E-01	1.099918E-01	1.097774E-01	1.095971E-01	1.092411E-01	1.089827E-01		
13	1.288524E-01	1.284835E-01	1.284309E-01	1.281456E-01	1.278804E-01	1.276423E-01	1.272073E-01	1.267866E-01		
14	1.534431E-01	1.531259E-01	1.529567E-01	1.526140E-01	1.522956E-01	1.520007E-01	1.516507E-01	1.502024E-01		
15	1.785843E-01	1.782983E-01	1.780558E-01	1.776044E-01	1.772993E-01	1.769555E-01	1.765817E-01	1.761811E-01		
16	1.964233E-01	1.960334E-01	1.958310E-01	1.954782E-01	1.950254E-01	1.946618E-01	1.943988E-01	1.921873E-01		
17	2.229398E-01	2.224896E-01	2.222775E-01	2.218167E-01	2.213817E-01	2.209782E-01	2.202223E-01	2.187202E-01		
18	2.513044E-01	2.508119E-01	2.505700E-01	2.502022E-01	2.501938E-01	2.511530E-01	2.502244E-01	2.480961E-01		
19	2.812021E-01	2.808304E-01	2.804330E-01	2.799139E-01	2.793811E-01	2.788400E-01	2.779624E-01	2.755895E-01		
20	3.157121E-01	3.153442E-01	3.148892E-01	3.142437E-01	3.136674E-01	3.131344E-01	3.121277E-01	3.094144E-01		
21	3.619884E-01	3.614972E-01	3.610257E-01	3.603252E-01	3.596643E-01	3.590247E-01	3.579287E-01	3.448074E-01		
22	4.162575E-01	4.120747E-01	4.115887E-01	4.107191E-01	4.100417E-01	4.093487E-01	4.080882E-01	4.064730E-01		
23	4.701880E-01	4.674657E-01	4.670794E-01	4.671621E-01	4.673590E-01	4.665882E-01	4.651988E-01	4.616335E-01		
24	5.390611E-01	5.387740E-01	5.378269E-01	5.367466E-01	5.356101E-01	5.344720E-01	5.334427E-01	5.294097E-01		
25	6.235609E-01	6.231384E-01	6.227339E-01	6.219392E-01	6.210803E-01	6.201916E-01	6.177963E-01	6.139333E-01		
26	7.180809E-01	7.157157E-01	7.145597E-01	7.131774E-01	7.120147E-01	7.110143E-01	7.072612E-01	7.021722E-01		
27	8.376736E-01	8.372970E-01	8.359440E-01	8.342761E-01	8.329544E-01	8.318473E-01	8.299433E-01	8.251599E-01		
28	9.721101E-01	9.721120E-01	9.711236E-01	9.692291E-01	9.677752E-01	9.662971E-01	9.645934E-01	9.497150E-01		
29	1.124505E+00	1.124505E+00	1.122895E+00	1.120643E+00	1.118722E+00	1.117345E+00	1.115206E+00	1.110211E+00		
30	1.307086E+00	1.307589E+00	1.306879E+00	1.305611E+00	1.304577E+00	1.303480E+00	1.302494E+00	1.298844E+00		
31	1.533630E+00	1.534893E+00	1.534794E+00	1.533000E+00	1.532029E+00	1.531400E+00	1.530317E+00	1.493320E+00		
32	1.845851E+00	1.847324E+00	1.846951E+00	1.847008E+00	1.846983E+00	1.846795E+00	1.846168E+00	1.834040E+00		
33	2.227134E+00	2.227828E+00	2.227809E+00	2.227216E+00	2.226772E+00	2.226346E+00	2.225408E+00	2.221747E+00		
34	2.749333E+00	2.749041E+00	2.746969E+00	2.743804E+00	2.741639E+00	2.740071E+00	2.737624E+00	2.717547E+00		
35	3.332024E+00	3.332125E+00	3.332002E+00	3.331784E+00	3.331409E+00	3.331409E+00	3.329888E+00	3.304226E+00		
36	4.071224E+00	4.042273E+00	4.041379E+00	4.041746E+00	4.041802E+00	4.042423E+00	4.041799E+00	4.040686E+00		
37	4.809244E+00	4.809170E+00	4.807293E+00	4.804837E+00	4.802472E+00	4.800669E+00	4.795737E+00	4.777742E+00		
38	4.803318E+00	4.804432E+00	4.801317E+00	4.797284E+00	4.794442E+00	4.792500E+00	4.788352E+00	4.774000E+00		
39	4.824672E+00	4.817405E+00	4.816401E+00	4.812754E+00	4.809446E+00	4.805298E+00	4.802953E+00	4.766848E+00		
40	1.024678E+01	1.024435E+01	1.024182E+01	1.023207E+01	1.023374E+01	1.023230E+01	1.022666E+01	1.022167E+01		
41	1.039980E+01	1.040173E+01	1.040007E+01	1.039166E+01	1.038542E+01	1.037938E+01	1.036741E+01	1.033257E+01		
42	1.237021E+01	1.237026E+01	1.236078E+01	1.230758E+01	1.229058E+01	1.227890E+01	1.226763E+01	1.2250879E+01		
43	1.364524E+01	1.364224E+01	1.363857E+01	1.363522E+01	1.362380E+01	1.361933E+01	1.359963E+01	1.354984E+01		
44	1.470244E+01	1.469192E+01	1.468487E+01	1.468202E+01	1.466749E+01	1.467592E+01	1.464844E+01	1.467300E+01		
45	1.177950E+01	1.178180E+01	1.178508E+01	1.178973E+01	1.179421E+01	1.179822E+01	1.178664E+01	1.182541E+01		
46	2.271532E+01	2.272008E+01	2.269205E+01	2.267406E+01	2.265223E+01	2.263574E+01	2.259021E+01	2.247427E+01		
47	1.405364E+01	1.408109E+01	1.411916E+01	1.417976E+01	1.424130E+01	1.430284E+01	1.442482E+01	1.474877E+01		
48	2.524730E+01	2.516405E+01	2.515391E+01	2.514444E+01	2.514444E+01	2.514822E+01	2.514699E+01	2.514726E+01		
49	2.221371E+01	2.221827E+01	2.224351E+01	2.224501E+01	2.227334E+01	2.226887E+01	2.229187E+01	2.255592E+01		
50	7.494368E+01	7.701640E+01	7.498929E+01	7.498146E+01	7.498874E+01	7.498874E+01	7.701140E+01	7.704404E+01		
51	4.018744E+01	4.031495E+01	4.045134E+01	4.068711E+01	4.092846E+01	4.117706E+01	4.163611E+01	4.603631E+01		
52	2.164423E+01	2.177776E+01	2.193367E+01	2.199308E+01	2.215491E+01	2.231477E+01	2.247544E+01	2.263105E+01		
53	4.273384E+01	4.256352E+01	4.200444E+01	4.123212E+01	4.046663E+01	3.970088E+01	3.820640E+01	3.625420E+01		
54	1.003381E+02	9.959585E+01	9.903599E+01	9.879047E+01	9.852603E+01	9.826984E+01	9.813398E+01	9.750182E+01		
55	1.966645E+01	1.956477E+01	1.940774E+01	1.941265E+01	1.940340E+01	1.939083E+01	1.926238E+01	1.947825E+01		
56	7.910707E+01	7.922441E+01	7.912461E+01	7.913496E+01	7.914492E+01	7.913292E+01	7.912200E+01	7.925397E+01		
57	7.399594E+01	7.402014E+01	7.369914E+01	7.350388E+01	7.342792E+01	7.325987E+01	7.289984E+01	4.873920E+01		
58	2.019221E+02	2.011846E+02	2.008946E+02	2.001472E+02	1.993212E+02	1.984944E+02	1.968240E+02	1.919679E+02		
59	2.877004E+01	2.946773E+01	3.095814E+01	3.109768E+01	3.286722E+01	3.745673E+01	4.176719E+01	5.311308E+01		
60	4.321236E+01	5.940026E+01	4.783884E+01	1.324198E+01	1.771954E+01	2.217791E+01	3.110777E+01	5.492110E+01		
61	1.742052E+01	1.438174E+01	1.838466E+01	2.503140E+01	3.175801E+01	3.849044E+01	5.203900E+01	9.188068E+01		
62	2.026052E+01	2.965098E+01	4.452754E+01	6.828832E+01	9.269799E+01	1.184161E+02	1.654452E+02	3.101778E+02		
63	1.567585E+02	1.594883E+02	1.644810E+02	1.724630E+02	1.808183E+02	1.889704E+02	1.972472E+02	2.051296E+02		
64	1.299445E+02	1.313494E+02	1.332042E+02	1.363782E+02	1.395904E+02	1.428016E+02	1.469791E+02	1.682578E+02		
65	2.250497E+02	2.264347E+02	2.275782E+02	2.299063E+02	2.323142E+02	2.347259E+02	2.396147E+02	2.561494E+02		
66	3.628044E+01	3.859740E+01	3.997440E+01	4.197243E+01	4.463193E+01	4.721054E+01	5.271274E+01	6.892377E+01		
67	2.710798E+01	3.047860E+01	3.132422E+01	3.476493E+01	3.852267E+01	4.227769E+01	4.997779E+01	7.283895E+01		
68	3.379215E+01	4.231240E+01	4.319786E+01	4.899216E+01	5.569394E+01	6.191486E+01	7.136270E+01	1.146036E+02		
69	1.888178E+01	1.919433E+01	1.905450E+01	1.930520E+01	1.948613E+01	1.048310E+02	1.357814E+02	2.080774E+02		
70	1.273551E+02	1.562035E+02	1.580907E+02	1.816446E+02	2.083190E+02	2.349222E+02	2.697636E+02	4.152942E+02		

Table 4-1-5 Percent contribution to several flux weighted effective cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield from each energy group.

EFR-3-1R				EFR-3-1S				2KL Pu-239 CORE			
GROUP	FLUX	PERCENT CONT	PERCENT CONT	GROUP	FLUX	PERCENT CONT	PERCENT CONT	GROUP	FLUX	PERCENT CONT	PERCENT CONT
LINE NO.		λ (Days)		LINE NO.		λ (Days)		LINE NO.		λ (Days)	
		(%)				(%)				(%)	
1	1.27531E-03	0.00297	0.00298	1	8.64539E-04	0.00049	0.00049	1	4.645287E-04	0.00029	0.00029
2	3.91768E-03	0.00927	0.00923	2	2.92046E-03	0.00158	0.00158	2	1.47533E-03	0.00089	0.00089
3	8.75038E-03	0.02308	0.02302	3	4.89908E-03	0.00392	0.00392	3	3.33623E-03	0.01723	0.00223
4	1.31512E-02	0.03149	0.03148	4	7.45132E-03	0.00975	0.00975	4	6.04722E-03	0.03065	0.00745
5	2.47963E-02	0.12130	0.12130	5	1.45351E-02	0.02647	0.02646	5	9.84577E-03	0.01328	0.01328
6	2.72984E-02	0.29877	0.29876	6	1.78990E-02	0.03676	0.03669	6	1.41103E-02	0.02747	0.02743
7	4.32747E-02	0.81810	0.81810	7	2.34518E-02	0.12500	0.12500	7	2.05027E-02	0.09299	0.09299
8	5.04535E-02	1.28212	1.28200	8	3.99613E-02	0.30943	0.30917	8	2.70317E-02	0.17482	0.17482
9	5.47843E-02	1.75133	1.72686	9	3.98207E-02	0.34782	0.34782	9	3.48763E-02	0.21700	0.21700
10	8.21201E-02	3.68722	3.68722	10	3.98497E-02	0.87853	0.87853	10	4.27260E-02	0.48714	0.48731
11	7.40895E-02	4.51793	4.51793	11	4.15535E-02	0.82455	0.82455	11	4.87363E-02	0.63789	0.64074
12	7.74846E-02	5.28870	5.28868	12	3.82823E-02	1.11425	1.11425	12	3.27047E-02	0.92031	0.92040
13	7.12089E-02	5.75860	5.75865	13	3.50763E-02	1.24909	1.24905	13	2.88887E-02	0.61079	0.61128
14	6.31495E-02	6.21170	6.21193	14	4.41306E-02	1.73259	1.73266	14	3.29337E-02	1.14905	1.14922
15	5.73280E-02	6.66083	6.64250	15	3.98497E-02	1.77191	1.77224	15	3.45088E-02	1.48837	1.48977
16	4.87793E-02	6.18711	6.20349	16	4.21172E-02	1.66117	1.66989	16	4.45331E-02	1.37046	1.37594
17	4.31966E-02	6.13026	6.14486	17	3.65137E-02	2.33032	2.33776	17	3.82892E-02	2.44433	2.44781
18	3.84183E-02	6.02957	6.02924	18	3.47048E-02	3.49374	3.49374	18	3.17827E-02	2.14846	2.15010
19	2.80052E-02	5.05001	5.05183	19	3.08878E-02	1.67415	1.67488	19	3.40830E-02	1.52334	1.52428
20	3.05957E-02	6.20441	6.20409	20	4.49621E-02	2.76103	2.76888	20	3.84093E-02	2.80567	2.81327
21	3.37957E-02	6.36910	6.36910	21	4.22009E-02	3.03764	3.04681	21	3.64631E-02	3.03519	3.04259
22	1.87529E-02	4.93841	4.93854	22	3.61747E-02	3.04689	3.07334	22	4.00428E-02	3.04430	3.04685
23	4.67594E-02	1.19349	1.19349	23	3.41628E-02	3.12828	3.12828	23	3.11806E-02	3.18287	3.17376
24	8.96297E-02	2.40798	2.40798	24	2.81821E-02	1.94880	1.93758	24	1.83937E-02	1.82370	1.82564
25	1.22808E-02	4.89464	4.89222	25	3.02009E-02	3.18435	3.18435	25	3.42844E-02	3.44786	3.44786
26	4.36193E-02	1.94794	1.94811	26	1.85380E-02	3.49827	3.49829	26	3.48370E-02	3.45772	3.45734
27	1.94289E-02	1.03989	1.03988	27	3.44848E-02	3.46876	3.46731	27	2.64889E-02	3.39351	3.39303
28	9.42522E-02	4.58466	4.58466	28	1.84127E-02	3.49374	3.49374	28	1.04309E-02	2.74727	2.74727
29	4.13025E-02	0.25481	0.25482	29	1.36148E-02	2.97183	2.97356	29	1.49874E-02	2.75054	2.75228
30	3.87971E-02	0.20045	0.19982	30	1.72827E-02	7.14378	3.13883	30	1.25436E-02	2.81820	2.81820
31	1.33218E-02	0.13500	0.13224	31	1.82268E-02	3.08740	3.07764	31	1.04309E-02	2.74727	2.74727
32	3.90108E-02	0.01059	0.07013	32	1.39820E-02	2.34177	2.34003	32	1.61535E-02	1.16786	1.16790
33	2.46273E-02	0.02825	0.03207	33	1.36148E-02	0.64623	0.64614	33	1.39323E-02	0.44477	0.44482
34	1.97418E-02	0.02896	0.02286	34	3.78008E-02	3.18627	3.17991	34	3.86132E-02	2.88207	2.87780
35	4.02172E-02	0.04929	0.03922	35	7.12287E-02	4.48328	4.48137	35	3.76276E-02	4.16556	4.16817
36	1.77235E-02	0.00499	0.00496	36	6.31943E-02	5.37443	5.37133	36	4.88948E-02	6.11930	6.09229
37	3.48761E-02	0.00159	0.00158	37	3.02840E-02	6.25788	6.25832	37	4.14817E-02	6.89606	6.87456
38	1.85267E-02	0.00682	0.00681	38	4.08261E-02	4.90055	4.97491	38	5.25130E-02	5.64350	5.64304
39	2.92784E-02	0.01190	0.01190	39	2.95979E-02	4.32228	4.32604	39	3.85349E-02	3.17780	3.17800
40	1.44468E-02	0.00802	0.00806	40	2.86460E-02	3.95314	3.95823	40	2.84132E-02	4.33113	4.31430
41	2.39651E-02	0.00134	0.00133	41	1.47748E-02	2.47888	2.47783	41	2.32902E-02	3.49682	3.49682
42	4.21702E-02	0.00036	0.00036	42	1.09837E-02	3.39033	2.48957	42	1.30104E-02	2.78213	2.81333
43	1.08821E-02	0.00037	0.00033	43	6.40343E-02	1.59553	1.59249	43	6.86858E-02	1.10799	1.09640
44	1.46179E-02	0.00133	0.00133	44	4.82878E-02	1.41082	1.41074	44	5.69733E-02	1.34812	1.32948
45	1.84948E-02	0.00013	0.00013	45	2.84872E-02	0.58282	0.57888	45	3.53322E-02	0.80250	0.81424
46	2.88763E-02	0.00003	0.00003	46	1.98822E-02	0.63447	0.61440	46	2.01327E-02	0.91459	0.93821
47	2.51622E-10	0.00000	0.00000	47	9.08787E-02	0.26313	0.25839	47	1.19064E-02	0.17272	0.26601
48	3.46279E-11	0.00000	0.00000	48	4.49872E-02	0.13710	0.17285	48	4.91380E-02	0.17376	0.17310
49	2.89317E-12	0.00000	0.00000	49	1.48932E-02	0.06848	0.06835	49	2.01824E-02	0.07404	0.06901
50	1.98732E-13	0.00000	0.00000	50	7.63251E-02	0.09832	0.09873	50	0.09181E-02	0.07476	0.06626
51	1.77378E-14	0.00000	0.00000	51	6.453797E-02	0.07852	0.07473	51	6.91812E-02	0.86664	0.86589
52	1.20097E-15	0.00000	0.00000	52	4.64017E-02	0.01053	0.00995	52	2.15648E-02	0.80627	0.80627
53	8.47027E-17	0.00000	0.00000	53	1.08533E-02	0.00793	0.00827	53	9.03337E-02	0.84238	0.84238
54	6.42835E-18	0.00000	0.00000	54	4.14888E-02	0.00656	0.00740	54	5.28847E-02	0.80456	0.80316
55	4.42693E-19	0.00000	0.00000	55	1.47332E-02	0.00403	0.00403	55	1.19439E-02	0.80635	0.80635
56	4.46674E-20	0.00000	0.00000	56	8.86678E-02	0.00128	0.00128	56	4.63917E-02	0.80070	0.80077
57	3.14531E-21	0.00000	0.00000	57	1.73602E-02	0.00021	0.00021	57	1.09385E-02	0.80011	0.80011
58	4.46370E-21	0.00000	0.00000	58	1.27039E-02	0.00033	0.00034	58	6.64347E-02	0.80026	0.80026
59	3.16748E-20	0.00000	0.00000	59	7.27930E-02	0.00007	0.00005	59	3.88239E-02	0.80063	0.80063
60	3.47739E-21	0.00000	0.00000	60	2.72427E-02	0.00003	0.00001	60	3.83806E-02	0.80002	0.80002
61	1.42529E-21	0.00000	0.00000	61	3.38223E-02	0.00007	0.00007	61	2.93131E-02	0.80063	0.80063
62	3.20783E-22	0.00000	0.00000	62	3.59782E-02	0.00016	0.00016	62	2.00343E-02	0.80006	0.80006
63	1.49893E-22	0.00000	0.00000	63	1.90579E-02	0.00008	0.00008	63	1.63935E-02	0.80003	0.80003
64	4.08499E-23	0.00000	0.00000	64	2.78513E-02	0.00001	0.00001	64	2.09319E-02	0.80000	0.80000
65	3.48236E-23	0.00000	0.00000	65	8.67708E-11	0.00000	0.00000	65	3.77978E-11	0.80000	0.80000
66	1.99540E-24	0.00000	0.00000	66	2.29346E-11	0.00000	0.00000	66	1.23572E-11	0.80000	0.80000
67	8.87718E-25	0.00000	0.00000	67	4.19937E-12	0.00000	0.00000	67	2.48498E-13	0.80000	0.80000
68	2.47782E-25	0.00000	0.00000	68	3.12536E-13	0.00000	0.00000	68	2.44255E-13	0.80000	0.80000
69	3.74580E-25	0.00000	0.00000	69	8.88725E-13	0.00000	0.00000	69	3.28797E-13	0.80000	0.80000
70	2.17192E-25	0.00000	0.00000	70	1.30252E-13	0.00000	0.00000	70	1.32155E-17	0.80000	0.80000

Table 4-1-6 Percent contribution to several flux weighted effective cross sections of a pair of U-235 fast fission yield from each energy group.

WFR-3-6P				ZPR-3-48				SKL R.O.-U.O. CORE			
TIME		60 (days)	360 (days)	TIME		60 (days)	360 (days)	TIME		60 (days)	360 (days)
GROUP	FLUX	PERCENT CONT	PERCENT CONT	GROUP	FLUX	PERCENT CONT	PERCENT CONT	GROUP	FLUX	PERCENT CONT	PERCENT CONT
1	1.81318E-03	0.00556	0.00597	1	8.44139E-04	0.00059	0.00059	1	4.44547E-04	0.00055	0.00055
2	2.39176E-03	0.01111	0.01112	2	2.20048E-03	0.00186	0.00186	2	1.47532E-03	0.00106	0.00107
3	6.75028E-03	0.02719	0.02721	3	4.49088E-03	0.00459	0.00461	3	3.23647E-03	0.00284	0.00285
4	1.51822E-02	0.06234	0.06234	4	8.44532E-03	0.01090	0.01103	4	6.49722E-03	0.00636	0.00639
5	2.49956E-02	0.16509	0.16491	5	1.43371E-02	0.02165	0.02175	5	1.03777E-02	0.01655	0.01658
6	2.79044E-02	0.20898	0.20817	6	1.78904E-02	0.04014	0.04024	6	1.41105E-02	0.02572	0.02578
7	4.26784E-02	0.88570	0.88551	7	2.44932E-02	0.24883	0.24670	7	2.03027E-02	0.10009	0.10009
8	5.99139E-02	1.45501	1.45514	8	3.49113E-02	0.35374	0.35374	8	2.70316E-02	0.14032	0.14044
9	8.27415E-02	1.87074	1.87009	9	3.64670E-02	0.39500	0.39450	9	2.97763E-02	0.22774	0.22762
10	8.31032E-02	0.83555	0.83633	10	3.81447E-02	0.86674	0.86674	10	4.48740E-02	0.53628	0.53680
11	7.40978E-02	0.99987	0.99959	11	4.75535E-02	0.91855	0.92124	11	4.68032E-02	0.71284	0.71387
12	7.16849E-02	3.76907	3.77172	12	5.22322E-02	1.20913	1.21272	12	3.49047E-02	0.92689	1.00280
13	7.10539E-02	5.94943	5.94870	13	5.07693E-02	1.82151	1.82353	13	3.74876E-02	0.42675	0.43017
14	6.95939E-02	0.80932	0.80914	14	6.01038E-02	1.75677	1.76474	14	5.12932E-02	1.28170	1.28885
15	7.32048E-02	0.80394	0.80277	15	5.94469E-02	1.68190	1.68175	15	5.43821E-02	1.41391	1.42121
16	6.47793E-02	5.91231	5.92233	16	4.29172E-02	1.40429	1.42199	16	4.33182E-02	1.49070	1.49813
17	6.32888E-02	3.96740	3.97131	17	3.48197E-02	2.18986	2.21007	17	3.28972E-02	2.28993	2.30085
18	5.46183E-02	0.82531	0.82546	18	3.97044E-02	1.82580	1.82580	18	3.17941E-02	1.84849	2.01844
19	1.60435E-01	0.90626	0.90653	19	3.04618E-02	1.60739	1.61374	19	2.81206E-02	1.85877	1.86148
20	0.03937E-01	0.87424	0.87202	20	4.49213E-02	2.44487	2.47349	20	3.40532E-02	2.70820	2.71897
21	3.99571E-01	0.16147	0.16137	21	4.20379E-02	2.89136	2.96311	21	3.68618E-02	2.92939	2.93001
22	1.47528E-01	0.87873	0.87821	22	3.17672E-02	3.09981	3.01801	22	3.09241E-02	3.76279	3.86228
23	4.37590E-03	1.90098	1.89122	23	3.41634E-01	0.57367	0.62544	23	4.11180E-02	3.11713	3.12499
24	6.19397E-03	2.40012	2.39728	24	1.48711E-01	1.94882	1.95486	24	1.63938E-02	1.60719	1.61190
25	1.32808E-02	0.90462	0.89844	25	3.21005E-02	3.87080	3.88060	25	3.90686E-02	0.53703	0.54251
26	1.01313E-03	1.91328	1.91328	26	2.13616E-02	3.94876	3.94876	26	2.95707E-02	0.48118	0.48772
27	1.46384E-03	1.03038	1.04758	27	2.13448E-02	3.48276	3.48276	27	2.48782E-02	3.37288	3.37281
28	4.43232E-04	0.37801	0.37640	28	1.84189E-02	3.49931	3.50214	28	2.48647E-02	3.49948	3.50249
29	4.10033E-04	0.30113	0.30016	29	1.56144E-02	3.99912	3.99912	29	1.99912E-02	3.77675	3.77703
30	2.31971E-04	0.02337	0.02040	30	1.12873E-02	3.15307	3.14039	30	1.34336E-02	2.86517	2.87168
31	1.33912E-04	0.13373	0.13203	31	1.02248E-02	3.08394	3.09379	31	1.08109E-02	2.76707	2.72374
32	9.90104E-05	0.07103	0.07021	32	8.75820E-03	2.58417	2.58417	32	5.15663E-03	2.82125	1.85635
33	2.84073E-05	0.02324	0.02321	33	1.39911E-03	0.89963	0.89323	33	1.12213E-03	0.85127	0.84790
34	1.57481E-05	0.02301	0.02282	34	3.18008E-03	3.15122	3.13907	34	3.42153E-03	2.82256	2.84220
35	4.30217E-06	0.00919	0.00919	35	2.84194E-03	4.60874	4.58001	35	3.87349E-03	4.39307	4.39677
36	1.77234E-06	0.00779	0.00775	36	4.51343E-03	5.21466	5.17490	36	5.98949E-03	5.53419	5.72235
37	3.6776E-07	0.00147	0.00144	37	3.02601E-03	5.75227	5.72870	37	4.67417E-03	6.42330	6.43676
38	1.43612E-07	0.00063	0.00063	38	2.81761E-03	5.03996	5.01937	38	3.29410E-03	5.74312	5.71334
39	1.33746E-08	0.01385	0.01372	39	2.93999E-03	4.74820	4.63077	39	3.49296E-03	5.44880	5.44616
40	1.44648E-08	0.00984	0.00939	40	2.08002E-03	4.12734	4.12015	40	2.88123E-03	4.73449	4.70849
41	2.49353E-07	0.00137	0.00134	41	1.77444E-03	2.91718	2.90738	41	2.79795E-03	3.54659	3.52459
42	4.462170E-08	0.00037	0.00038	42	1.59437E-03	2.48683	2.47209	42	1.50194E-03	3.06181	3.04002
43	1.04811E-08	0.00039	0.00032	43	6.82354E-04	1.78740	1.77597	43	4.84833E-04	2.02009	2.01275
44	1.46137E-07	0.00117	0.00117	44	4.25748E-04	1.57946	1.56138	44	3.98235E-04	1.77816	1.75779
45	1.84548E-08	0.00013	0.00013	45	2.63675E-04	0.56255	0.56276	45	2.62732E-04	0.62923	0.62928
46	2.49782E-09	0.00004	0.00004	46	1.38825E-04	0.71236	0.71236	46	2.11337E-04	0.76174	0.76004
47	2.73142E-10	0.00000	0.00000	47	6.80784E-05	0.23651	0.23774	47	1.11948E-04	0.24205	0.24219
48	3.44878E-11	0.00000	0.00000	48	4.04878E-05	0.18478	0.18342	48	4.91806E-05	0.18723	0.18384
49	2.39317E-12	0.00000	0.00000	49	1.89322E-05	0.07223	0.07223	49	2.08848E-05	0.07982	0.07588
50	1.93732E-13	0.00000	0.00000	50	7.48198E-06	0.12966	0.12876	50	3.61912E-06	0.11644	0.11344
51	1.17757E-14	0.00000	0.00000	51	4.13497E-06	0.04378	0.04144	51	3.53131E-06	0.03814	0.03610
52	1.20097E-15	0.00000	0.00000	52	1.97077E-06	0.01087	0.01031	52	2.96448E-06	0.00901	0.00855
53	8.49782E-17	0.00000	0.00000	53	1.48235E-06	0.00672	0.00652	53	4.03328E-07	0.00611	0.00675
54	4.81823E-18	0.00000	0.00000	54	1.08188E-07	0.00049	0.00049	54	3.18477E-07	0.00050	0.00050
55	6.24849E-19	0.00000	0.00000	55	1.47352E-07	0.00043	0.00043	55	1.15439E-07	0.00028	0.00028
56	4.496240E-20	0.00000	0.00000	56	8.99675E-08	0.00090	0.00089	56	4.76337E-08	0.00057	0.00056
57	3.78231E-21	0.00000	0.00000	57	1.75402E-08	0.00023	0.00023	57	1.46393E-08	0.00012	0.00012
58	4.44270E-21	0.00000	0.00000	58	1.47039E-08	0.00050	0.00051	58	4.43417E-08	0.00022	0.00023
59	2.14784E-20	0.00000	0.00000	59	9.77930E-09	0.00007	0.00006	59	3.08313E-09	0.00003	0.00003
60	3.47729E-21	0.00000	0.00000	60	3.32671E-09	0.00005	0.00001	60	9.88360E-09	0.00003	0.00001
61	1.02327E-21	0.00000	0.00000	61	3.04913E-09	0.00003	0.00001	61	1.93131E-09	0.00002	0.00001
62	3.30782E-22	0.00000	0.00000	62	3.52742E-09	0.00004	0.00002	62	1.00034E-09	0.00003	0.00001
63	1.03932E-22	0.00000	0.00000	63	1.90730E-09	0.00003	0.00003	63	1.20343E-09	0.00003	0.00000
64	6.00498E-24	0.00000	0.00000	64	7.45142E-10	0.00001	0.00001	64	1.41319E-09	0.00000	0.00000
65	3.24334E-23	0.00000	0.00000	65	4.77044E-11	0.00000	0.00000	65	3.77976E-11	0.00000	0.00000
66	1.73448E-24	0.00000	0.00000	66	2.73434E-11	0.00000	0.00000	66	1.25372E-11	0.00000	0.00000
67	4.67912E-25	0.00000	0.00000	67	1.84639E-12	0.00000	0.00000	67	3.49848E-12	0.00000	0.00000
68	2.48232E-26	0.00000	0.00000	68	3.12533E-13	0.00000	0.00000	68	2.24435E-13	0.00000	0.00000
69	3.44640E-27	0.00000	0.00000	69	4.87102E-13	0.00000	0.00000	69	3.87123E-13	0.00000	0.00000
70	5.37193E-28	0.00000	0.00000	70	3.90311E-14	0.00000	0.00000	70	4.97632E-17	0.00000	0.00000
Σ 1.0		0.12339E 00	0.12694E 00	Σ 1.0		0.12339E 00	0.12694E 00	Σ 1.0		0.12339E 00	0.12694E 00

Table 4-1-7 Time dependence of flux weighted effective cross section for several weighting fluxes.

	Weighting flux	time step (days)							
		30	60	90	120	180	360	1000	9999
Pu-239 F	3000L PuO ₂ -UO ₂ core	0.67503	0.67870	0.68004	0.68076	0.68157	0.68248	0.68308	0.68353
	ZPR-3-48	0.56822	0.57139	0.57254	0.57315	0.57383	0.57460	0.57509	0.57549
	ZPR-3-6F	0.17202	0.17356	0.17411	0.17440	0.17470	0.17498	0.17506	0.17547
U-235 F	3000L PuO ₂ -UO ₂ core	0.49165	0.49493	0.49492	0.49552	0.49628	0.49728	0.49805	0.49846
	ZPR-3-48	0.41395	0.41592	0.41676	0.41727	0.41791	0.41873	0.41936	0.41971
	ZPR-3-6F	0.12442	0.12558	0.12605	0.12631	0.12661	0.12696	0.12719	0.12740

UNIT (BARN)

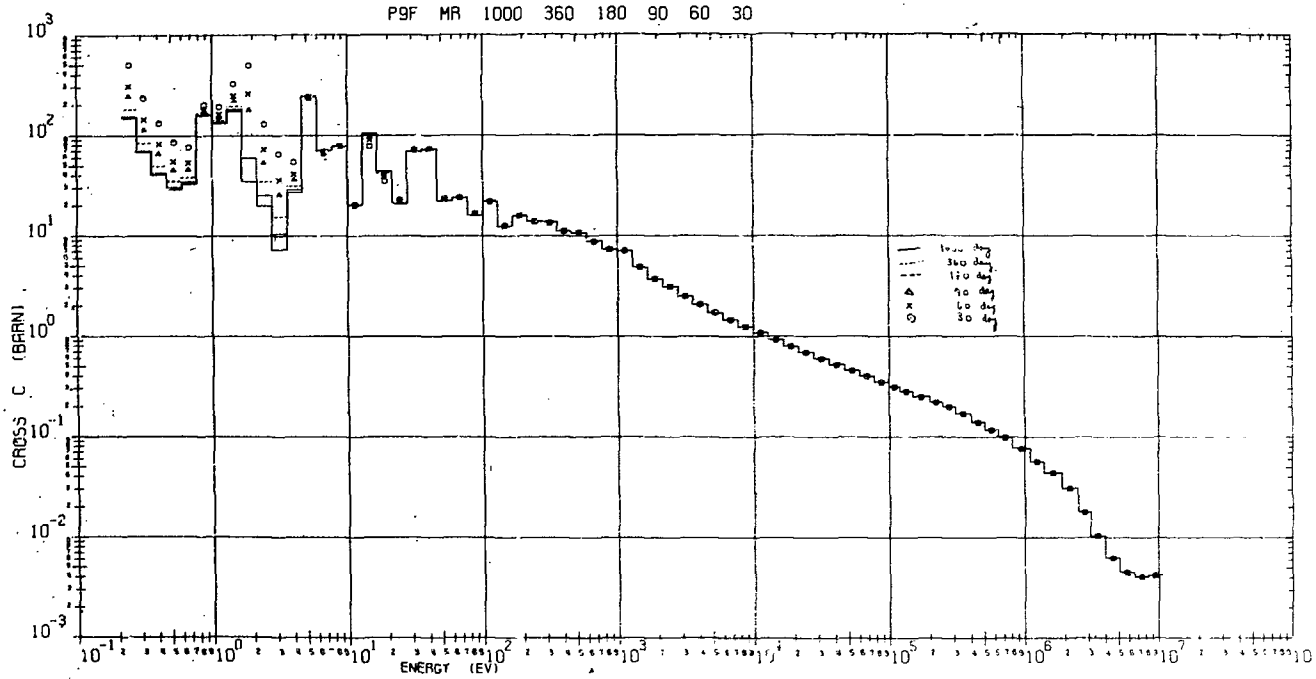


Fig. 4-1-1 Time dependence of 70-group average (n, γ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield.

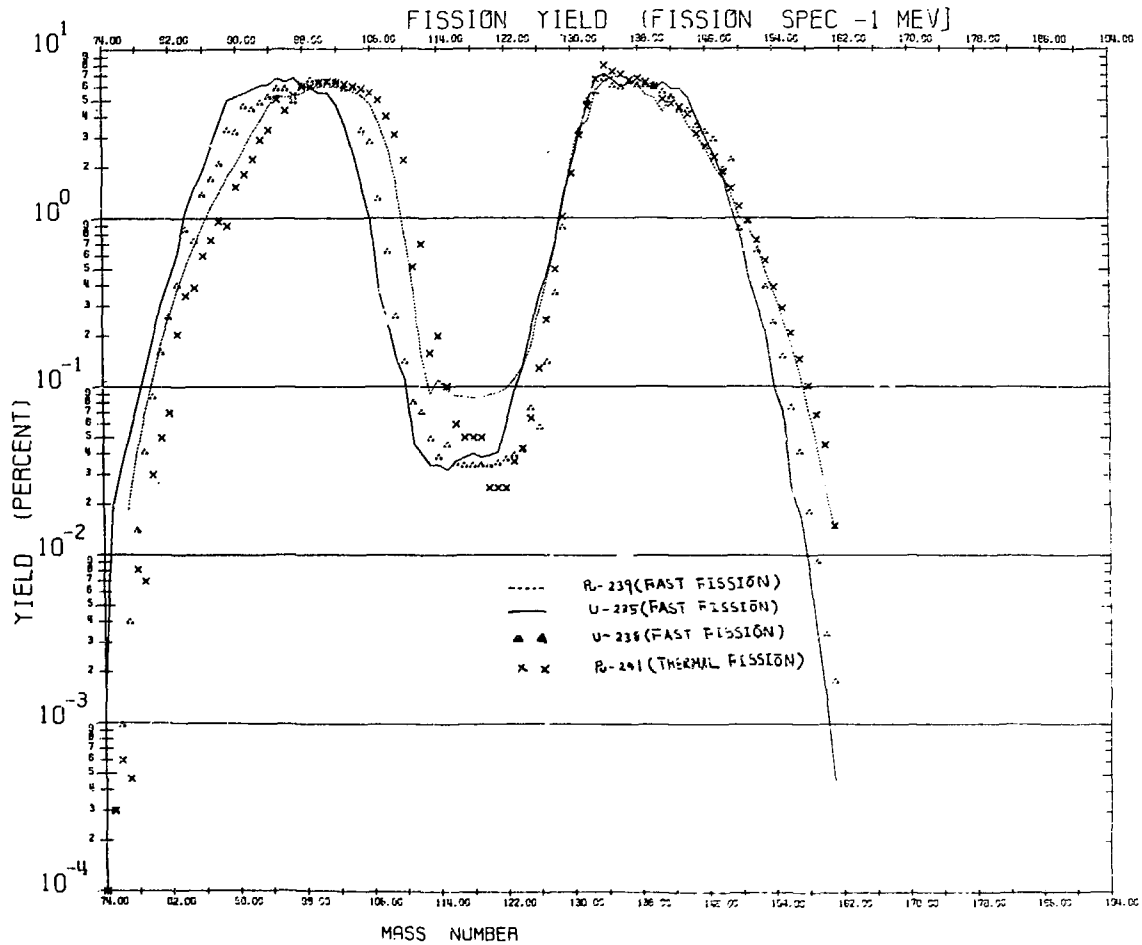


Fig. 4-1-2 Comparison of fast fission yield as a function of mass number for several fissionable nuclei.

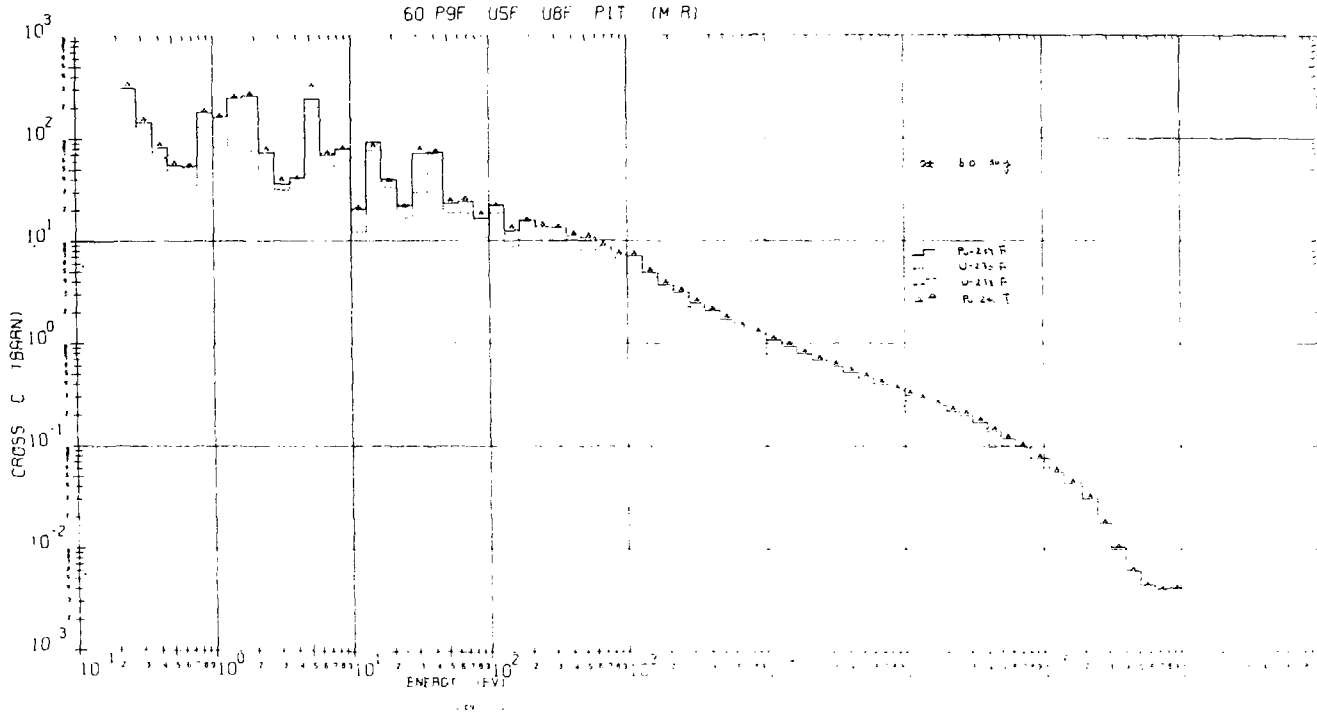


Fig. 4-1-3 Comparison of 70-group average (n, γ) cross section for several fissionable nuclei at 60 days burn-up.

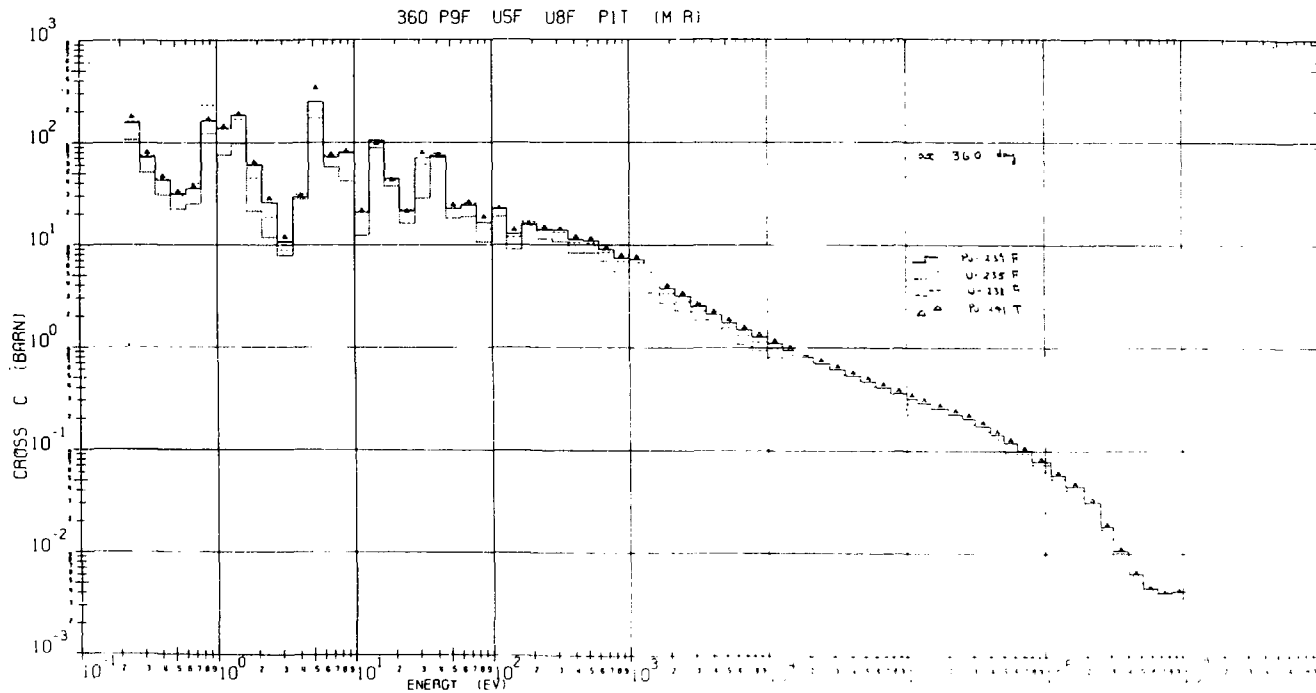


Fig. 4-1-4 Comparison of 70-group average (n, γ) cross section for several fissionable nuclei at 360 days burn-up.

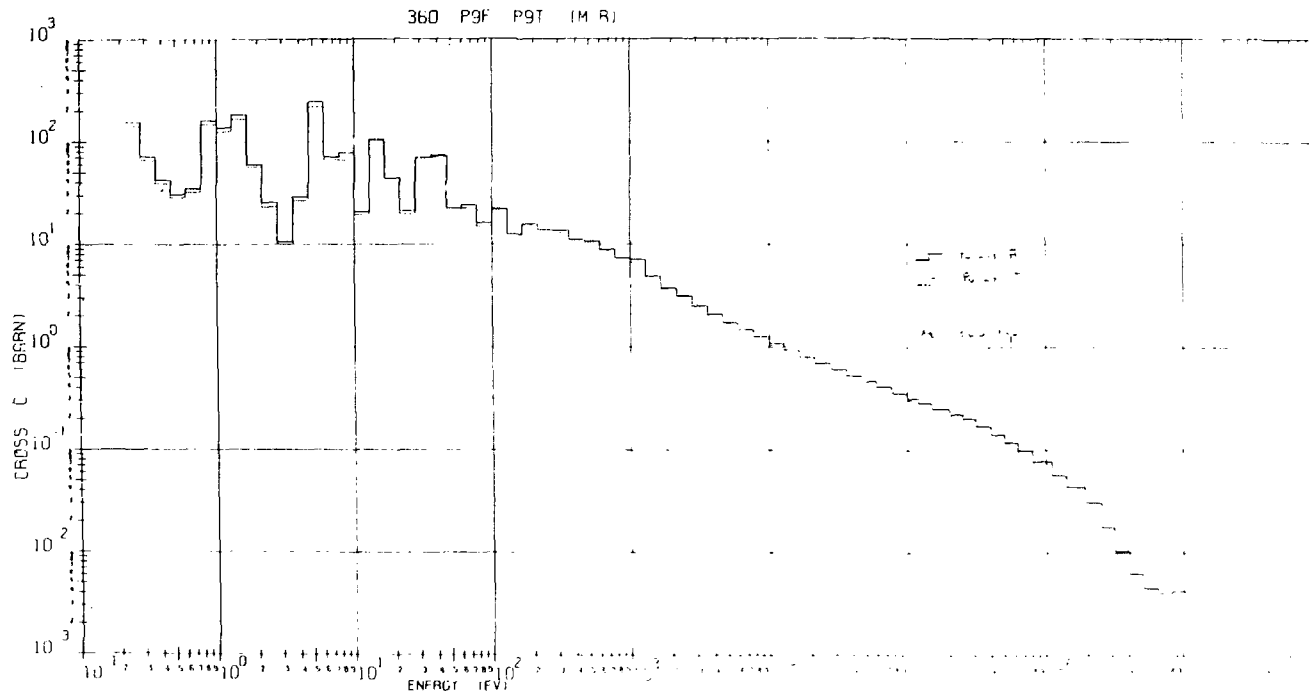


Fig. 4-1-5 Comparison of 70-group average (n, γ) cross section of a pair of Pu-229 fast and thermal fission yield at 360 days burn-up.

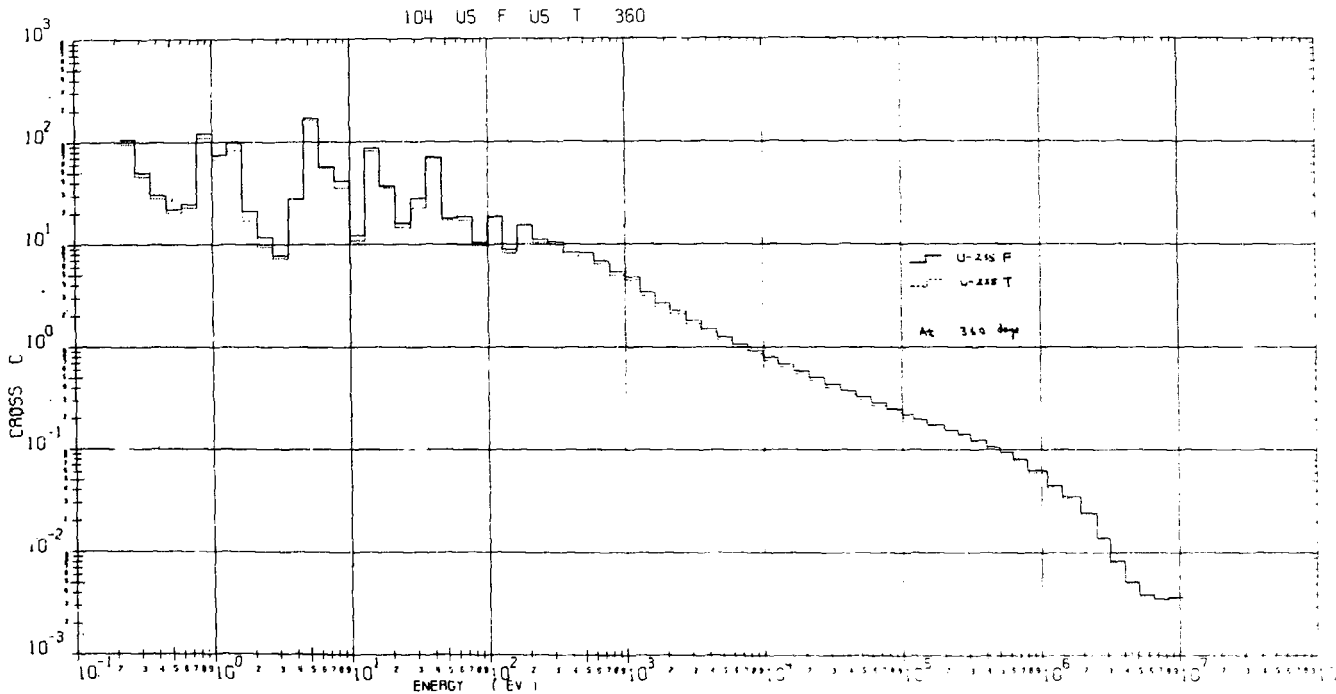


Fig. 4-1-6 Comparison of 70-group average (n, τ) cross section of a pair of U-235 fast and thermal fission yield at 360 days burn-up.

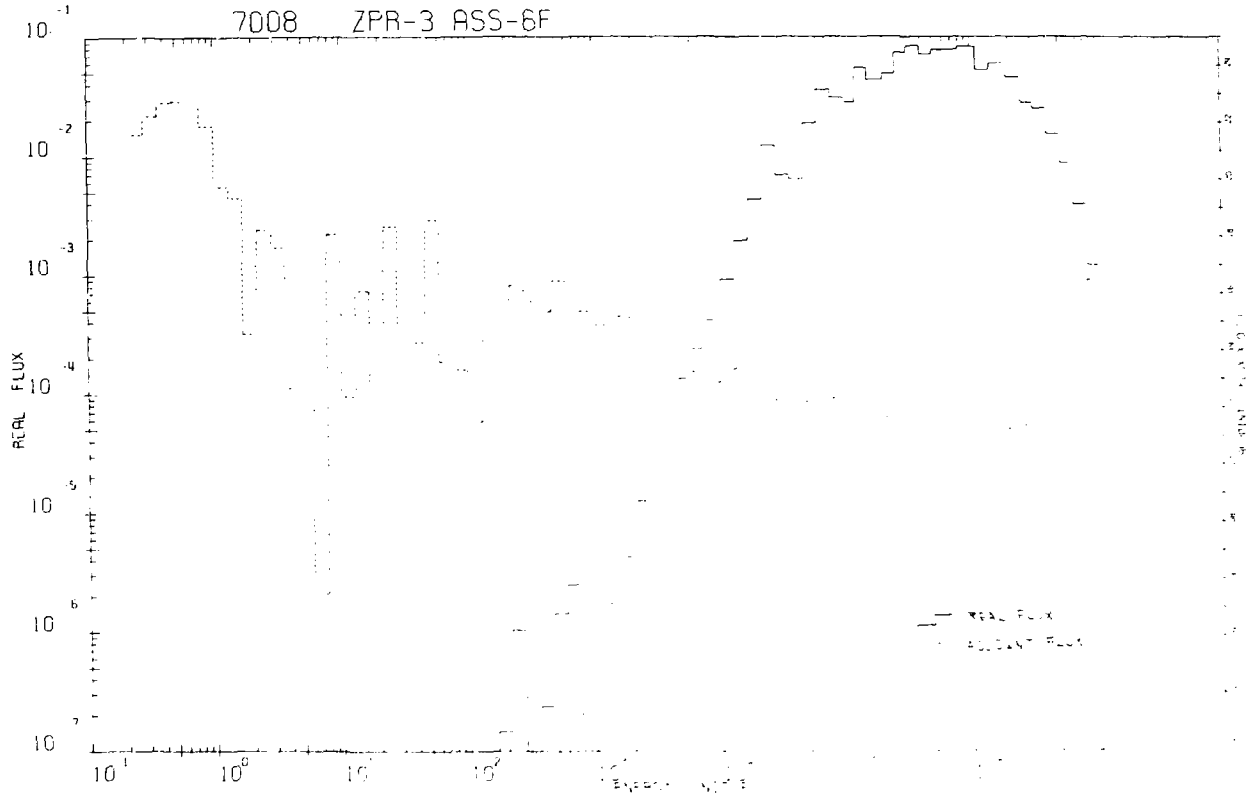


Fig. 4-1-7 Weighting fluxes of ZPR-3-6F at core center
(An example of hard spectrum.)

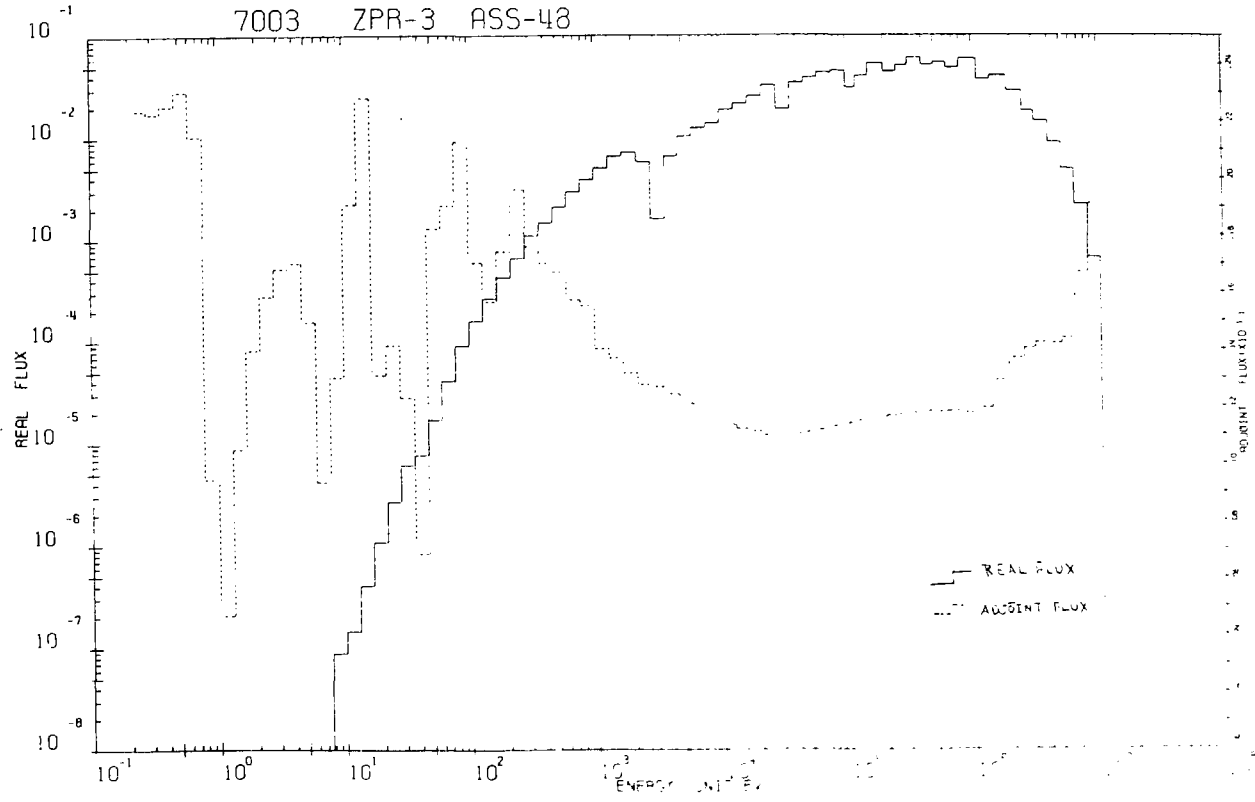


Fig. 4-1-8 Weighting fluxes of ZPR-3-48 at core center
(An example of soft spectrum.)

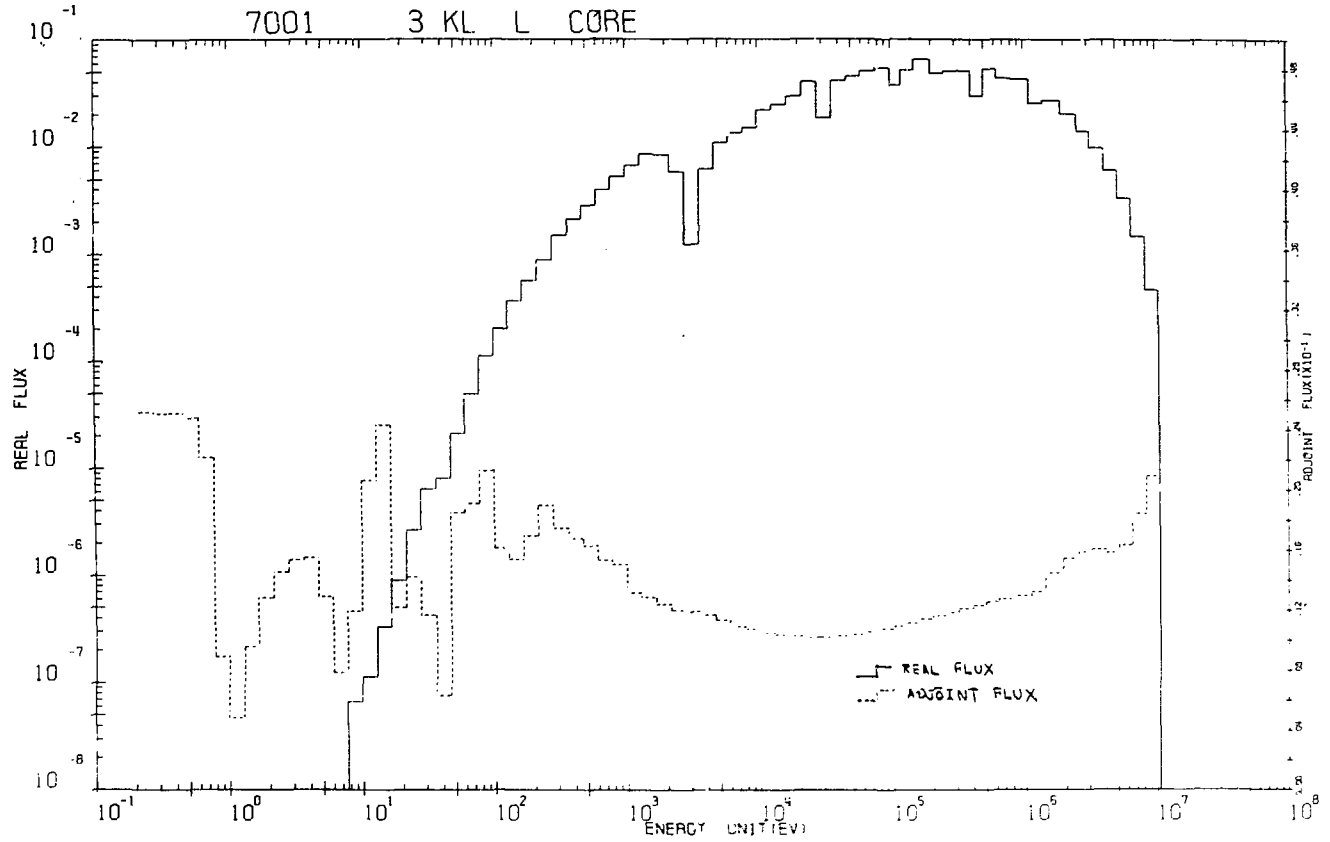


Fig. 4-1-9 Weighting fluxes of 3000 L $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ core at core center.
(An example of large fast power reactor (1000MWe))

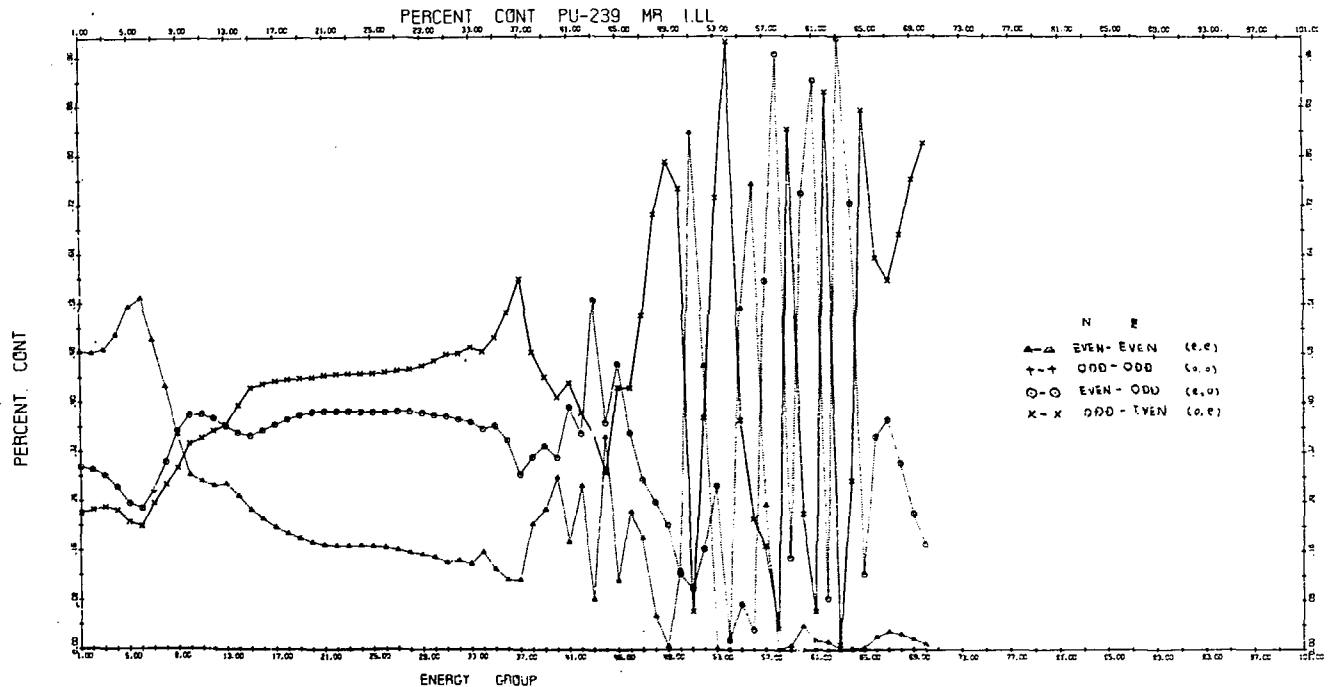


Fig. 4-1-10 Percent contribution to (odd-even) items of average (n, γ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield. (At 1000 days burn-up.)

Table 4-3-2 Time dependence of 70-group average (n, τ) cross-section of a pair of Pu-239 fast fission yield corrected by the use of equal weighted (n, τ) mean cross section obtained by odd-even characteristics.

PPP NORMALIZED CROSS SECTION

GROUP TIME (DAYS) UNIT (BARN)

GROUP	TIME (DAYS)										UNIT (BARN)
	30.00	60.00	90.00	-20.00	180.00	360.00	1000.00	9999.00	8888.00	8888.00	
1	0.41442E-02	0.41627E-02	0.41858E-02	0.42051E-02	0.42327E-02	0.42698E-02	0.43071E-02	0.42975E-02	0.42665E-02	0.42665E-02	
2	0.40383E-02	0.40478E-02	0.40583E-02	0.40709E-02	0.40847E-02	0.41002E-02	0.41166E-02	0.41336E-02	0.41512E-02	0.41694E-02	
3	0.44991E-02	0.45066E-02	0.45131E-02	0.45236E-02	0.45361E-02	0.45506E-02	0.45671E-02	0.45846E-02	0.46031E-02	0.46226E-02	
4	0.61991E-02	0.61999E-02	0.61819E-02	0.62039E-02	0.62362E-02	0.62823E-02	0.63356E-02	0.63961E-02	0.64638E-02	0.65388E-02	
5	0.10051E-01	0.10114E-01	0.10173E-01	0.10227E-01	0.10283E-01	0.10341E-01	0.10401E-01	0.10462E-01	0.10524E-01	0.10587E-01	
6	0.16944E-01	0.17037E-01	0.17140E-01	0.17248E-01	0.17362E-01	0.17481E-01	0.17605E-01	0.17734E-01	0.17868E-01	0.18007E-01	
7	0.27634E-01	0.27818E-01	0.28092E-01	0.28469E-01	0.28951E-01	0.29541E-01	0.30241E-01	0.30961E-01	0.31791E-01	0.32881E-01	
8	0.40625E-01	0.40974E-01	0.41392E-01	0.41893E-01	0.42478E-01	0.43148E-01	0.43903E-01	0.44743E-01	0.45668E-01	0.46680E-01	
9	0.59312E-01	0.59720E-01	0.59978E-01	0.59978E-01	0.59538E-01	0.58617E-01	0.57356E-01	0.55833E-01	0.54235E-01	0.52738E-01	
10	0.76879E-01	0.78098E-01	0.77286E-01	0.77218E-01	0.77317E-01	0.77399E-01	0.77461E-01	0.77503E-01	0.77631E-01	0.77849E-01	
11	0.99021E-01	0.99996E-01	0.99643E-01	0.99101E-01	0.99197E-01	0.98504E-01	0.97549E-01	0.96349E-01	0.94949E-01	0.93411E-01	
12	0.11790E 00	0.11862E 00	0.11864E 00	0.11853E 00	0.11834E 00	0.11789E 00	0.11722E 00	0.11632E 00	0.11522E 00	0.11399E 00	
13	0.14074E 00	0.14133E 00	0.14178E 00	0.14203E 00	0.14216E 00	0.14216E 00	0.14201E 00	0.14172E 00	0.14139E 00	0.14092E 00	
14	0.17236E 00	0.17296E 00	0.17478E 00	0.17593E 00	0.17729E 00	0.17884E 00	0.18049E 00	0.18224E 00	0.18409E 00	0.18604E 00	
15	0.20412E 00	0.20460E 00	0.20628E 00	0.20811E 00	0.21001E 00	0.21197E 00	0.21399E 00	0.21607E 00	0.21821E 00	0.22041E 00	
16	0.22537E 00	0.22592E 00	0.22849E 00	0.22998E 00	0.22822E 00	0.22286E 00	0.22136E 00	0.21917E 00	0.21731E 00	0.21581E 00	
17	0.25705E 00	0.25724E 00	0.25957E 00	0.25957E 00	0.25497E 00	0.25348E 00	0.25114E 00	0.24895E 00	0.24690E 00	0.24490E 00	
18	0.29300E 00	0.29345E 00	0.29488E 00	0.29610E 00	0.29622E 00	0.29446E 00	0.29146E 00	0.28746E 00	0.28246E 00	0.27646E 00	
19	0.32718E 00	0.32781E 00	0.32844E 00	0.32842E 00	0.32260E 00	0.31945E 00	0.31629E 00	0.31313E 00	0.31011E 00	0.30711E 00	
20	0.36833E 00	0.36872E 00	0.36908E 00	0.36844E 00	0.36236E 00	0.35827E 00	0.35460E 00	0.35098E 00	0.34741E 00	0.34389E 00	
21	0.42397E 00	0.42424E 00	0.42420E 00	0.42340E 00	0.41676E 00	0.41118E 00	0.40630E 00	0.40198E 00	0.39828E 00	0.40750E 00	
22	0.48494E 00	0.48500E 00	0.47960E 00	0.47727E 00	0.47389E 00	0.46853E 00	0.46328E 00	0.45808E 00	0.45388E 00	0.44968E 00	
23	0.55374E 00	0.55302E 00	0.54661E 00	0.54177E 00	0.53688E 00	0.53199E 00	0.52710E 00	0.52221E 00	0.51732E 00	0.51243E 00	
24	0.62604E 00	0.63125E 00	0.62661E 00	0.62178E 00	0.61688E 00	0.61198E 00	0.60708E 00	0.60218E 00	0.59728E 00	0.59238E 00	
25	0.70738E 00	0.71318E 00	0.70839E 00	0.70300E 00	0.69700E 00	0.69050E 00	0.68350E 00	0.67600E 00	0.66850E 00	0.66100E 00	
26	0.80000E 00	0.81135E 00	0.81381E 00	0.81688E 00	0.82162E 00	0.82804E 00	0.83546E 00	0.84388E 00	0.85330E 00	0.86372E 00	
27	0.93971E 00	0.96831E 00	0.97739E 00	0.97068E 00	0.96198E 00	0.94917E 00	0.93238E 00	0.91218E 00	0.88938E 00	0.86378E 00	
28	0.11291E 01	0.11485E 01	0.11374E 01	0.11294E 01	0.11184E 01	0.11031E 01	0.10890E 01	0.10704E 01	0.10474E 01	0.10204E 01	
29	0.13911E 01	0.13932E 01	0.13885E 01	0.13807E 01	0.13656E 01	0.13476E 01	0.13260E 01	0.13018E 01	0.12758E 01	0.12478E 01	
30	0.16910E 01	0.16958E 01	0.16982E 01	0.16955E 01	0.16808E 01	0.16590E 01	0.16297E 01	0.15947E 01	0.15547E 01	0.15097E 01	
31	0.19841E 01	0.19851E 01	0.19806E 01	0.19739E 01	0.19548E 01	0.19232E 01	0.18794E 01	0.18244E 01	0.17584E 01	0.16824E 01	
32	0.22700E 01	0.22749E 01	0.22828E 01	0.22930E 01	0.23042E 01	0.23164E 01	0.23296E 01	0.23438E 01	0.23580E 01	0.23722E 01	
33	0.27418E 01	0.28497E 01	0.28747E 01	0.28978E 01	0.29198E 01	0.29408E 01	0.29618E 01	0.29828E 01	0.30038E 01	0.30248E 01	
34	0.34277E 01	0.36148E 01	0.36319E 01	0.36400E 01	0.36259E 01	0.35919E 01	0.35440E 01	0.34861E 01	0.34182E 01	0.33403E 01	
35	0.43800E 01	0.46665E 01	0.46707E 01	0.46628E 01	0.46262E 01	0.45783E 01	0.45204E 01	0.44525E 01	0.43746E 01	0.42867E 01	
36	0.56512E 01	0.58423E 01	0.58740E 01	0.58985E 01	0.59160E 01	0.59265E 01	0.59300E 01	0.59265E 01	0.59160E 01	0.58985E 01	
37	0.88529E 01	0.88733E 01	0.88428E 01	0.88055E 01	0.87278E 01	0.86095E 01	0.84500E 01	0.82500E 01	0.80100E 01	0.77300E 01	
38	0.83799E 01	0.83548E 01	0.83088E 01	0.82438E 01	0.81588E 01	0.80438E 01	0.78948E 01	0.77048E 01	0.74748E 01	0.72048E 01	
39	0.97409E 01	0.97449E 01	0.96728E 01	0.95808E 01	0.94608E 01	0.93168E 01	0.91468E 01	0.89468E 01	0.87068E 01	0.84268E 01	
40	0.11476E 02	0.11431E 02	0.11481E 02	0.11580E 02	0.11747E 02	0.11984E 02	0.12290E 02	0.12666E 02	0.13112E 02	0.13628E 02	
41	0.14900E 02	0.14687E 02	0.14547E 02	0.14384E 02	0.14197E 02	0.13984E 02	0.13746E 02	0.13484E 02	0.13198E 02	0.12888E 02	
42	0.18469E 02	0.18366E 02	0.18382E 02	0.18405E 02	0.18430E 02	0.18371E 02	0.18270E 02	0.18120E 02	0.17920E 02	0.17670E 02	
43	0.23533E 02	0.23572E 02	0.23692E 02	0.23748E 02	0.23788E 02	0.23710E 02	0.23510E 02	0.23280E 02	0.23020E 02	0.22730E 02	
44	0.30086E 02	0.30183E 02	0.30197E 02	0.30193E 02	0.30140E 02	0.30053E 02	0.29933E 02	0.29773E 02	0.29573E 02	0.29333E 02	
45	0.37171E 02	0.37204E 02	0.37288E 02	0.37348E 02	0.37388E 02	0.37300E 02	0.37100E 02	0.36800E 02	0.36400E 02	0.35900E 02	
46	0.45000E 02	0.46204E 02	0.46438E 02	0.46600E 02	0.46680E 02	0.46600E 02	0.46380E 02	0.46060E 02	0.45660E 02	0.45160E 02	
47	0.54207E 02	0.55341E 02	0.55537E 02	0.55698E 02	0.55720E 02	0.55600E 02	0.55340E 02	0.54980E 02	0.54530E 02	0.53980E 02	
48	0.65203E 02	0.66296E 02	0.66500E 02	0.66620E 02	0.66650E 02	0.66500E 02	0.66200E 02	0.65760E 02	0.65180E 02	0.64460E 02	
49	0.77939E 02	0.78614E 02	0.78730E 02	0.78700E 02	0.78500E 02	0.78100E 02	0.77520E 02	0.76760E 02	0.75820E 02	0.74700E 02	
50	0.92726E 02	0.93482E 02	0.93747E 02	0.93928E 02	0.94028E 02	0.94040E 02	0.94000E 02	0.93900E 02	0.93740E 02	0.93520E 02	
51	0.86107E 02	0.86260E 02	0.86171E 02	0.85987E 02	0.85720E 02	0.85370E 02	0.84840E 02	0.84140E 02	0.83280E 02	0.82280E 02	
52	0.35208E 03	0.35299E 03	0.35270E 03	0.35209E 03	0.35110E 03	0.34970E 03	0.34790E 03	0.34570E 03	0.34310E 03	0.34010E 03	
53	0.44819E 03	0.44944E 03	0.44844E 03	0.44688E 03	0.44448E 03	0.44128E 03	0.43728E 03	0.43248E 03	0.42688E 03	0.42048E 03	
54	0.10532E 03	0.10523E 03	0.10512E 03	0.10500E 03	0.10488E 03	0.10476E 03	0.10464E 03	0.10452E 03	0.10440E 03	0.10428E 03	
55	0.26392E 03	0.26310E 03	0.26336E 03	0.26379E 03	0.26439E 03	0.26509E 03	0.26589E 03	0.26679E 03	0.26779E 03	0.26889E 03	
56	0.11561E 03	0.10929E 03	0.10568E 03	0.10315E 03	0.10180E 03	0.10060E 03	0.99540E 02	0.98820E 02	0.97920E 02	0.96820E 02	
57	0.88954E 02	0.88101E 02	0.86800E 02	0.85227E 02	0.83452E 02	0.81452E 02	0.79229E 02	0.76789E 02	0.74149E 02	0.71329E 02	
58	0.28931E 03	0.28239E 03	0.27663E 03	0.27200E 03	0.26859E 03	0.26539E 03	0.26239E 03	0.25959E 03	0.25699E 03	0.25459E 03	
59	0.70471E 03	0.70730E 03	0.71139E 03	0.71688E 03	0.72367E 03	0.73167E 03	0.74087E 03	0.75127E 03	0.76287E 03	0.77567E 03	
60	0.10204E 03	0.10402E 03	0.10638E 03	0.10913E 03	0.11226E 03	0.11676E 03	0.12176E 03	0.12726E 03	0.13326E 03	0.13976E 03	
61	0.22715E 03	0.14574E 03	0.11306E 03	0.94889E 02	0.73728E 02	0.58159E 02	0.43939E 02	0.31419E 02	0.21419E 02	0.13764E 02	
62	0.71297E 03	0.42166E 03	0.31862E 03	0.24627E 03	0.19922E 03	0.12057E 03	0.75689E 02	0.43019E 02	0.20107E 02	0.10107E 02	
63	0.30799E 03	0.22962E 03	0.20904E 03	0.20135E 03	0.19488E 03	0.18966E 03	0.18536E 03	0.18196E 03	0.17936E 03	0.17756E 03	
64	0.20189E 03	0.16707E 03	0.13637E 03	0.11392E 03	0.10447E 03	0.10173E 03	0.10174E 03	0.10174E 03	0.10174E 03	0.10174E 03	
65	0.31149E 03	0.28808E 03	0.26884E 03	0.25239E 03	0.23809E 03	0.22409E 03	0.21029E 03	0.19669E 03	0.18329E 03		

Table 4-3-3 Percent yield of the nuclide not available in UKNDL file for each odd-even item.

	ITEM	TIME STEP UNIT (DAYS)								
		N - Z	30	60	90	120	180	360	1000	9999
1	EVEN-EVEN	11.081	9.529	8.726	8.197	7.462	6.070	3.539	0.	0.
2	ODD - ODD	0.1006	0.0631	0.0442	0.0336	0.0224	0.0112	0.0041	0.	0.
3	EVEN- ODD	3.476	2.650	2.263	2.014	1.655	1.006	0.375	0.	0.
4	ODD -EVEN	14.202	11.072	9.063	7.626	5.736	3.285	1.728	2.17	0.

Note;

N : neut. on number

Z : proton number

9999: at infinite time step

8888: PURE UKNDL (at infinite time step)

Table 4-3-4 Time dependence of flux weighted effective cross section for several weighting fluxes for a pair of ^{239}Pu fast fission yield corrected by the use of yield weighted and equal weighted (n, γ) mean cross section obtained by odd-even characteristics.

UNIT (barn)

	Weighting flux	time step (days)						
		30	60	90	120	180	360	1000
Pu-239 F (corrected by yield weighted value)	3000ℓ PuO ₂ -UO ₂ core	0.69208	0.69161	0.68976	0.68815	0.68575	0.68203	0.67855
	ZPR-3-48	0.58198	0.58178	0.58032	0.57902	0.57707	0.57405	0.57118
	ZPR-3-6F	0.17274	0.17397	0.17414	0.17413	0.17402	0.17371	0.17323
Pu-239 F (corrected by equal weighted value)	3000ℓ PuO ₂ -UO ₂ core	0.74232	0.73014	0.72156	0.71542	0.70717	0.69547	0.68542
	ZPR-3-48	0.62252	0.61286	0.60597	0.60103	0.59439	0.58494	0.57674
	ZPR-3-6F	0.17815	0.17813	0.17763	0.17718	0.17650	0.17536	0.17405

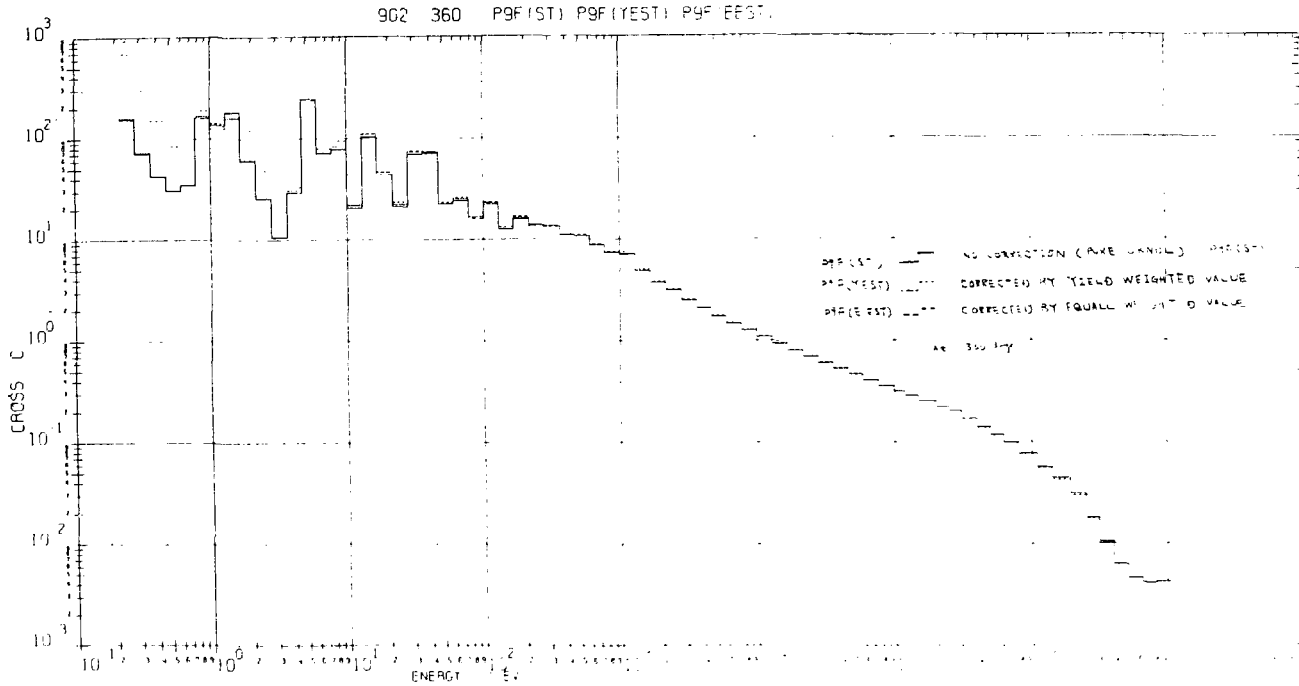


Fig. 4-3-1 Comparison of several 70-group average (n, γ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield at 300 days burn-up. ((i) pure UNDL; (ii) corrected by the use of yield weighted (n, γ) mean cross section; (iii) corrected by the use of equal weighted (n, γ) mean cross section.)

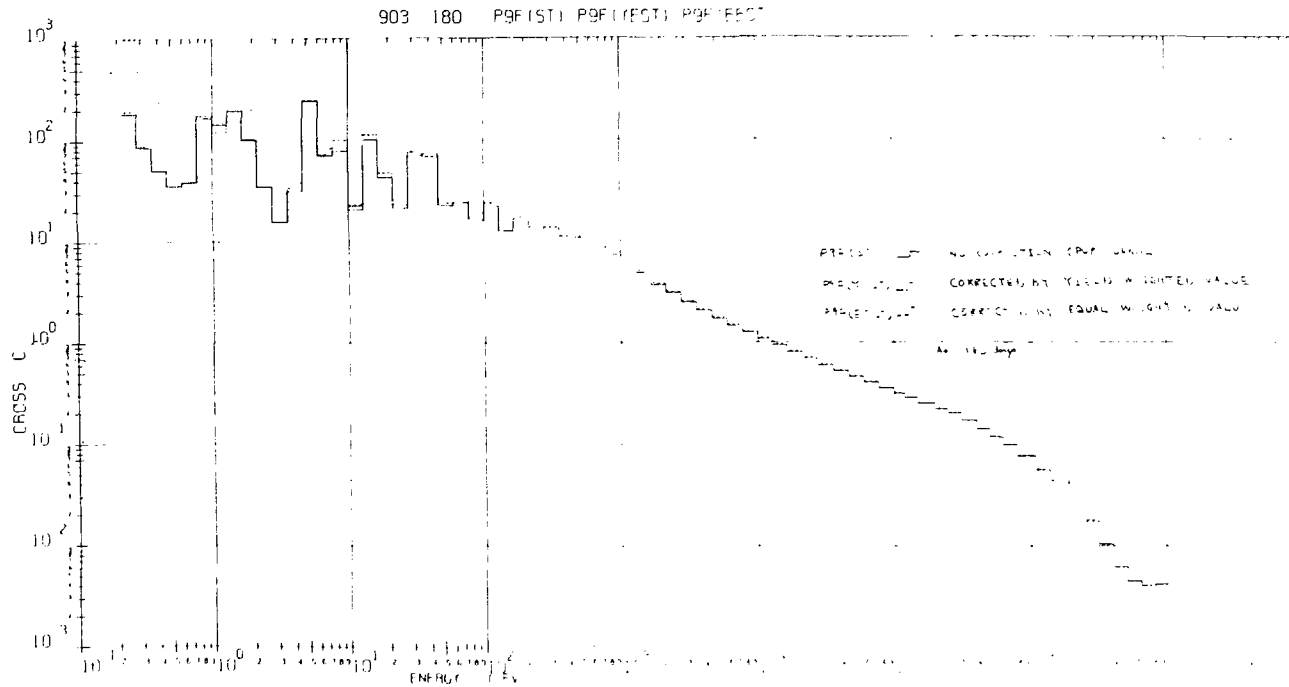


Fig. 4-3-2 Comparison of several 70-group average (n, γ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield at 180 days burn-up. ((i) pure UKNDL; (ii) corrected by the use of yield weighted (n, γ) mean cross section; (iii) corrected by the use of equal weighted (n, γ)

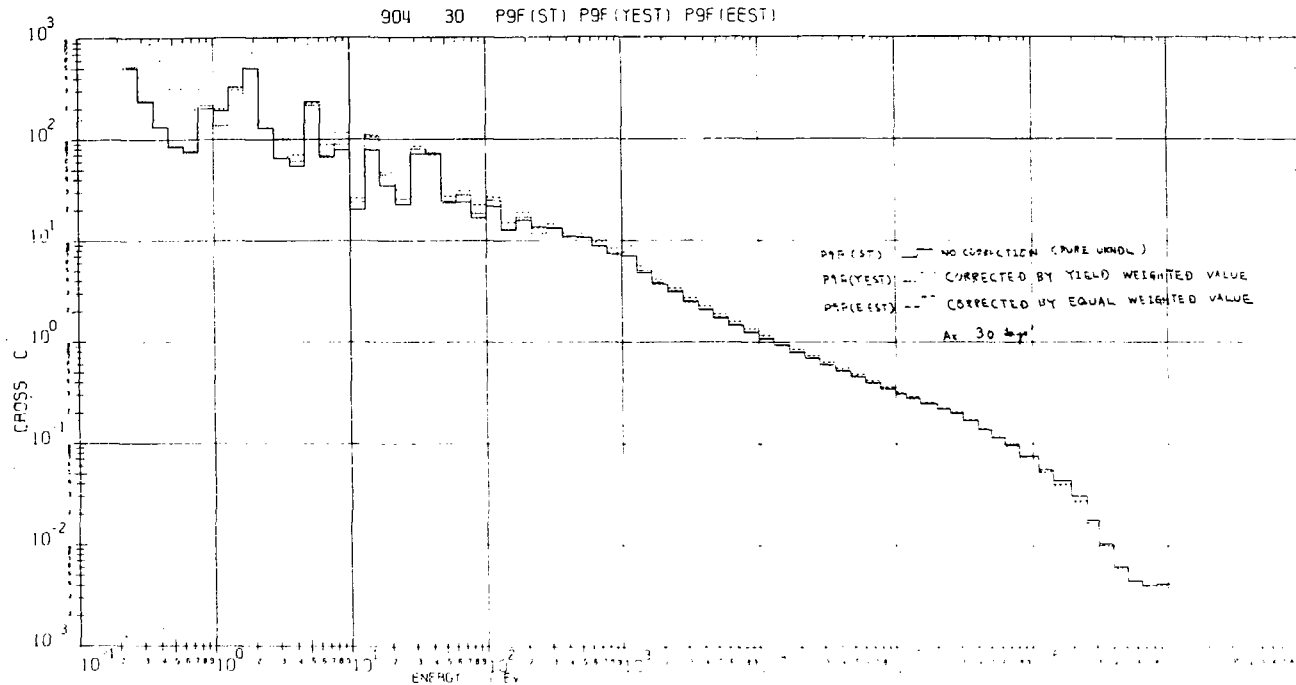


Fig. 4-3-3 Comparison of several 70-group average (n, γ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield at 30 days burn up. ((i) pure UKNDL; (ii) corrected by the use of yield weighted (n, γ) mean cross section; (iii) corrected by the use of equal weighted (n, γ) mean cross section.)

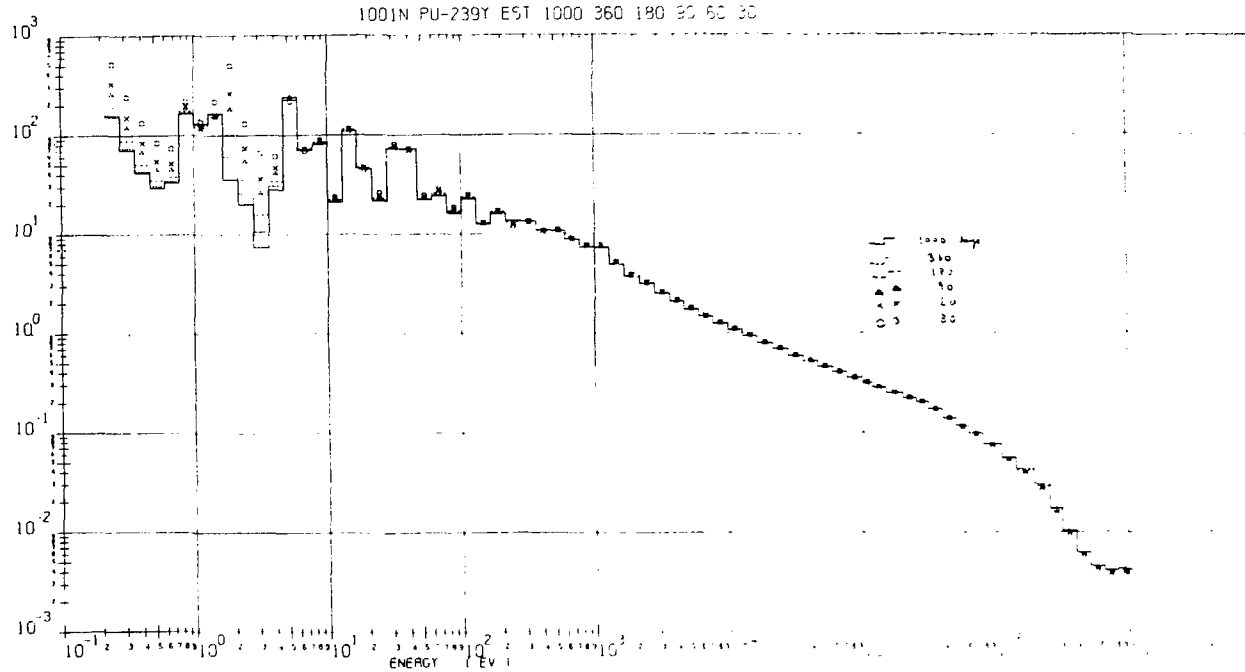


Fig. 4-3-4 Time dependence of 70-group average (n, γ) cross section of a pair of Pu-239 fast fission yield. The values are corrected by the use of yield weighted (n, γ) mean cross section.

5. 結 論

我々は、FP核種の β^- decay chainによる核変換過程を解析することによって各FP核種の時間的な濃度変化を求め、高速炉用の全FPの実効断面積 (n, τ) capture 断面積の時間依存性を調べた。すなわち、60 days の burn-up 時点で、各 chain に対して5%以上の割合を持つFP核種を含む各 chain (β^- decay chain) に対しての濃度変化が追跡された。追跡された chain は 25 chains で、それぞれ time step 30, 60, 90, 120, 180, 360, 720, 1000 days の時点で各 chain についてその chain に含まれるFP各核種の percent number density が計算された。その結果、chain 内の number density 変化を考慮しなければならない核種の yield は、全体の(200%)の内、77%(Pu-239 Fast Fission Yieldの場合)にもなる。

次いで capture 断面積データとしては UKNDL File が用いられた。 β^- decay chain の追跡に必要な核種が、UKNDL に与えられていない場合は、UKNDL の各FP核種の断面積の偶奇性にもついてえられた平均断面積が採用された。yield data は Meek and Rider による recommended value を採用した。

まず、UKNDL-78 核種 File に与えられている核種のみを用いてそれぞれ各核種の濃度変化を取り入れた、各 burn-up time における全FPの実効断面積を Pu-239, U-235, U-238 (Fast Fission Yield), Pu-241, U-235, Pu-239 (Thermal Fission Yield) について作成した。その結果短かい burn-up time の場合の例として30日、及びかなり長い burn-up の例として1000日の時点で得られた結果を比較してみると、100 eV 以上の energy 領域ではその差は最大2%前後であり、時間依存性は実際の burn-up 解析では無視できるという結論が得られた。

一方、lumping の際に weight として使用した fissile 核種の yield data の違いによってもたらされる LFP (lumped fission product) の実効断面積にはかなり大きく差異がみつけられる(数十%)。又同一の fissile 核の Thermal Yield と Fission Yield data を weight とした場合の比較では5%前後の差が生じ、Fast Yield を weight とした場合の方が一様に大きく出ている。このことから各 fissile 核の yield data の evaluation が重要であることがわかる。

しかし、以上の解析結果は chain 内の number density の変化を考慮しているのは、考慮する必要があるとしながらも (Pu-239 Fast Fission Yield の場合77%)、UKNDL File に核種が存在しないために考慮されず、安定核で代用してしまっている chain 内の核種が yield にして Pu-239 Fast Fission Yield の場合48%も存在している。そのため、上の解析で考慮されなかった核種の断面積は FP (n, τ) 断面積の偶奇性にしたがって整理し、それぞれ4つの偶奇核に対する平均値で代用した。

このようにして、あらたに得られたFP断面積と UKNDL data を用いて、Pu-239 の fast neutron fission の場合の全FPの実効断面積の時間依存性が調べられた。その際、UKNDLのみによる全実効断面積(時間依存性をもつ)を(A)とし、今UKNDLに

新たにつけ加えられるこれら核種の断面積が yield weight による平均断面積でおきかえられた場合(B)とし, equal weight による平均値でおきかえられた場合(C)とする。

(B)を用いた場合の全FPの実効断面積(時間依存性をもつ)は(U)のKNDLのみからなるものとよく一致し, 180 days以上のburn-up を考えると, 全FPの炉断面積の時間依存性は実際のburn-up 解析上問題にすることはないと結論される。equal weight の平均断面積を代用した場合(B)とUKN DL のみの場合(A)とを較べると, 両者の差異は少し大きくなるが(最大で10%)全体的にはやはり時間依存性は実用計算上無視できる。

したがってUKN DLで与えられていない核種の濃度変化およびそれら断面積の我々の推定の違いが全FPの実効断面積にもたらず寄与は, 2次的なものであることが理解できる。これらの差違は thermal fission, fast fission の yield data による差の量と同程度である。(cf 4.1 C)

さらに短かいburn-up の位として30日の時点を考えて, 100 eV 以下の時点では, (A)と(B)の全FPの実効断面積の差は3%前後でやはり問題にはならないが, (B)と(C)による差は1.5~2.0%位の差が生じており多少問題は残っている。

以上のように, 我々は, 全FPの実効断面積の時間依存性を調べたわけであるが, 各burn-up 時点で, lumping した全FPの実効断面積は100 eV以下の低いenergy 領域でかなりの変動を示しており, この領域での取扱ひ方が検討されべきが, 3000 μ 位の1000MWe, PuO₂-UO₂系の大型炉がこのregionでのreaction rateへの寄与はかなり小さく(1%以下), この領域の実効断面積の時間依存性のburn-up 解析への影響は実際上無視してさしつかえないと考えられる。

ここで取扱った我々の全FPの実効断面積の時間依存性に対する考察は一つの試みであって, 現在のdataの不十分さによる不確かさが含まれている。

この報告書では(n, r) capture cross section のみ考察されたが, 他の断面積(たとえば, 弾性, 非弾性散乱断面積等)を同時に考慮しても全FPの実効断面積の時間依存性に対する我々の結論はかわらないと考える。なぜなら, 各decay chainの崩壊方程式において核反応による項は崩壊による項に較べて2次的な量になるからである。しかし臨界計算用にFPの炉定数セットをより完全な形にするには(n, r)以外の断面積のdataを整備し(実験と理論面から), それらの炉定数化を計ることが必要である。これらの仕事はまだほとんど手がつけられていない。

我々は, この報告書において, 全FPの実効断面積の時間依存性は高速炉で重要となるenergy regionでは無視してもさしつかえないとしたが, 将来さらにburn-up 解析の精度が要求される場合, 即ち, FPの炉定数にほゞ誤差5%以下の精度が求められる場合時間依存性を考慮する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 東稔達三、長谷川明：JAERI-memo 4251, (1970)
- 2) Meek, M.E., Rider, B.F. : APED-5398-A, (1968)
- 3) Lederer, C.M. et al : Table of Isotopes (sixth Edition) (1967)
- 4) Joannou, G.D., et al : GA-2451 (1961)
- 5) Benzi, V., Bortolani, M.V. : " Nuclear Data for Reactors ", CN-23/115 (1967), IAEA, Vienna.
- 6) Norton, D.S. : AEEW-M824, (1968)
- 7) Benzi, V., Boffo, G. : CCND-NW/10, (1969)
- 8) 長谷川明, 東稔達三, 桂木学 : JAERI-memo 4165, (1970)
- 9) 富岡秀剛, 東稔達三 : JAERI-memo 3029, (1968)
- 10) 長谷川明, 東稔達三, 桂木学 : JAERI-memo 3963 (未公開) (1970)
- 11) 東稔達三, 富岡秀剛 : JAERI-memo 3669, (1969)
- 12) 長谷川明他 : JAERI-memo 公開予定
- 13) Katsuragi, S., et al : JAERI-1195, JAERI-1199 (1970)
- 14) 長谷川明 : JAERI-memo 4255 (1970)
- 15) Davey, W.G., et al : OSERG Newsletter 18, (1969)