

JAERI-M

7195

JAERI-Fast Set によるドップラー  
効果の解析

1977年7月

高野秀機・松井泰\*

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

JAERI -M 7195

JAERI -Fast Set によるドップラー効果の解析

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

高野秀機・松井 泰\*

(1977年7月8日受理)

JAERI -Fast set の各改訂版 V-1, V-1R, V-2, V-2R における断面積の温度依存性を2つの異ったドップラー実験の解析から評価した。1つは, SEFOR 炉心での全炉心ドップラー実験, もう一つは, FCA-V-1, 2, V1-1, 2, ZPR-6-7, ZPR-3-47, ZPPR-2, 3 における天然酸化ウランのサンプルドップラー実験である。

ドップラー効果の計算は1, 2次元拡散摂動計算コードDOPP2Dを用いて行った。計算の結果 JAERI -Fast set V-2とV-2R を用いた結果は実験値と大変良く一致した。これらのドップラー効果の計算において, 共鳴非均質効果, ステンレス・スチールのバッファー効果及び炉心板状非均質効果が考慮された。そしてこれらの効果がドップラー効果に大変重要な影響を及ぼすことが分った。

---

\* 日本情報サービス(株)

Analysis of Doppler Effect with JAERI-Fast Set

Hideki TAKANO and Yasushi MATSUI\*

Division of Reactor Engineering, Tokai Research Establishment, JAERI

(Received July 8, 1977)

Temperature dependence of group cross sections in the JAERI-Fast set versions I, IR, II and II R has been tested from the analysis of Doppler experiments performed with two different methods. One is Doppler reactivity measurement for the whole core of SEFOR assembly, and the other sample Doppler reactivity measurement for natural  $UO_2$  in FCA assemblies V-1, V-2, VI-1 and VI-2, ZPR-6-7, ZPR-3-47, and ZPPR-2 and 3.

Doppler effects were calculated with one- and two- dimensional diffusion 1-st order perturbation code DOPP2D. The results calculated with the JAERI-Fast set versions II and IIR are in good agreement with the experimental ones. In these calculation, resonance heterogeneity effect, stainless-steel buffer effect and plate heterogeneity effect are considered, and these effects contribute significantly to Doppler effect.

Keywords : JAERI-Fast set, Analysis of Doppler Effect, SEFOR, FCA-V, VI, ZPR-6-7, ZPPR-2,3, Resonance Heterogeneity Effect, Buffer Effect, Plate Heterogeneity effect, Temperature Dependence, Group Cross Sections.

---

\* Japan Information Service, Tokyo

## 目 次

1. 序 論	1
2. ドップラー効果の解析方法	2
2.1 J AERI -Fast set 各改訂版における共鳴領域炉定数	2
2.2 解析モデルと計算コード	3
3. サンプル・ドップラー実験解析	4
3.1 各改訂版 J AERI -Fast set による計算値の比較	4
3.2 共鳴非均質効果	5
3.3 炉心板状非均質効果と SUS バッファーのドップラー効果への影響	6
3.4 空間依存ドップラー効果の解析	7
4. 全炉心ドップラー効果の解析	8
5. 結論と課題	9
謝 辞	10
参 考 文 献	11
附録：DOPP 2D, 中心反応度値解析コードシステム	55

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Analytical Method of Doppler Effect .....	2
2.1 Group constants for resonance region in each version of JAERI-Fast set .....	2
2.2 Analytical model and computer code .....	3
3. Analysis of Sample Doppler Experiments .....	4
3.1 Comparison of Doppler effects calculated with each version of JAERI-Fast set .....	4
3.2 Resonance heterogeneity effect .....	5
3.3 Contribution of SUS-buffer and core plate heterogeneity to Doppler effect .....	6
3.4 Analysis of space dependent Doppler effect .....	7
4. Analysis of Doppler Effect for the Whole Core .....	8
5. Conclusions and Remarks .....	9
Acknowledgments .....	10
References .....	11
Appendix : DOPP2D, A Code System for Calculation of Central Reactivity Worth .....	55

## 1. 序 論

高速増殖炉の安全性を考えると、ドップラー効果（負の反応度）とNa-ボイド効果（正の反応度）の競争過程に関する正確な評価は大変重要な問題である。大型炉設計上から要求されるこれら反応度係数に対する予測精度は厳しい。そのため今までに多くの積分実験がなされ、その実験解析を通して解析手法と断面積セットに対する評価がなされてきた。原研においては断面積セットとして、1970年にJAERI-Fast set (JFS) の第1版<sup>(1)</sup>が作成された。これは70群構造のABBN型であるが、共鳴領域における重い核の自己遮蔽因子計算法に大きな特徴がある。それは考慮している核種自身の共鳴レベル間の干渉 (Self-interference) 効果が厳密に実効断面積の計算に取り入れられていることである。これは非分離共鳴領域においては適当なエネルギー区間での測定断面積を再現するような共鳴パラメータの列をランダム・サンプリング法を用いて発生させることによって可能である<sup>(1)</sup>。従ってJFSを用いての積分実験解析において、ドップラー効果の解析は、このJFSの特徴を考えると特に興味ある問題である。

JAERI-Fast set Version-Iは作成後、多くの実験解析やベンチマーク・テストに基づいて幾度が改訂が行われてきた。先ずDaveyとHess<sup>(3)</sup>によって与えられた10個の集合体に対するベンチマーク・テストの結果、JFS-V-IR<sup>(4)(5)</sup>が作成された。次には重要核種<sup>235</sup>U、<sup>238</sup>Uと<sup>239</sup>Puの断面積修正が最小自乗法を用いて行われた<sup>(6)</sup>。更にこれらの核種に対する分離及び非分離共鳴領域での共鳴パラメータの評価が行われ、共鳴領域の炉定数が作成された。又軽い核の<sup>10</sup>B、C、O、Na、Fe、Cr、Ni、Alの群定数がENDF/B-Nデータを基にして作成されJFS-V-IRに組み込まれた<sup>(8)</sup>。これらの諸改訂によって作成されたのがJFS-V-IIである。最近<sup>238</sup> $\sigma_f$ 、<sup>239</sup> $\sigma_f$ 、<sup>235</sup> $\sigma_f$ の1 MeV以上について評価を行い、更に詳細なベンチマーク・テストに基づいて<sup>238</sup> $\sigma_{in}$ と分裂スペクトルが修正された<sup>(9)</sup>。これがJFS-V-II Rである。これらの各セットを用いてドップラー効果の解析を行い断面積セットの違いによる解析結果の比較を行う。

ドップラー実験には2つの異った方法がある。一つは通常のホットサンプル法によるもので、これはドップラー効果の測定をしたい場所でドップラーサンプルと基準サンプルを周期的に交換する方法である。このサンプルドップラー実験は多くの高速炉臨界集合体で行われている。今回我々はJAERIの「常陽」モックアップ炉心FCA-V-1とV-2<sup>(10)</sup>、「もんじゅ」モックアップ炉心FCA-V1-1とV1-2<sup>(11)</sup>及びANLにおけるZPR-6-7、<sup>(12)(13)</sup>ZPR-3-47、ZPPR-2と-3で行われた天然酸化ウランNUO<sub>2</sub>サンプルのドップラー実験を解析の対象に選んだ。一方もう一つのドップラー実験としては運転状態におけるドップラー効果を評価するための体系全体でのドップラー反応度測定がある。これはSEFORで多く行われており、我々はCORE-I<sup>(15)</sup>での実験を解析対象とした。

サンプル・ドップラー実験は、個々の核種の断面積の温度依存性の評価を行うのに適しているが、解析上幾つが注意しなければならない問題点がある。一つはホット・サンプルとコールドコアとの<sup>238</sup>U共鳴断面積の温度差による干渉効果の取り扱いである。もう一つはサンプルロードセル計算における共鳴非均質効果の取り扱いがある。更にサンプルを加熱し冷却する機構はかな

り複雑であり、サンプルと炉心との間のバッファ領域の取り扱い方がある。更に考えねばならないことは炉心燃料は板状であるため炉心での断面積計算における炉心板状非均質効果の検討が必要である。我々は今回の解析においてはサンプルバッファの効果と炉心非均質効果のドップラー効果への影響を計算に取り入れたが、ホットサンプル-コールドコアの共鳴干渉効果は詳細に考慮しなかった。Lewis と Johnson<sup>(16)</sup> によれば、通常のサンプルドップラー実験においてサンプルバッファを計算に考慮すれば、そのとき干渉効果は十分に無視できるとの結果を考慮に入れたためである。

第2章ではJFSの各改訂版の共鳴領域炉定数作成における共鳴パラメータの特徴と、ドップラー効果の解析方法について述べる。第3章では解析結果の検討を行い、各種の非均質効果のドップラー効果への影響について述べる。第4章では全炉心ドップラー効果の解析と異核種間の干渉効果について述べる。

## 2. 解析方法

### 2.1 JAERI-Fast Set 各改訂における共鳴領域炉定数

JAERI-Fast Setの各改訂版で用いられている分離及び非分離共鳴領域での共鳴パラメータの評価の詳細をTable 1に示す。ドップラー効果の計算に重要なのは特に非分離領域である。JFS-V-IIでは最小自乗法を用いて<sup>235</sup>U、<sup>238</sup>Uと<sup>239</sup>Puに対して断面積の修正を70群構造で行ったため、非分離領域ではこれら各群での修正断面積を再現するように平均共鳴パラメータの評価と共鳴別の作成が行われた<sup>(17)</sup>。特に重要な<sup>238</sup>Uの平均パラメータ $\langle \Gamma_r \rangle$ は、JFS-V-Iで0.019eV、JFS-V-IIでは0.023eVと21%からの大きな差が見られる。一方非分離共鳴領域も<sup>238</sup>UではJFS-V-Iが2.15KeVまでであったのがJFS-V-IIでは46.5KeVまで、<sup>239</sup>Puも10KeVから2.15KeVへとエネルギー範囲が大きく広げられた。これはFCA-V-1、-2のような炉心スペクトルの硬い炉心及びNaのボイド状態でのスペクトル硬化のような場合、高いエネルギー領域からのドップラー効果を無視できないためである。

JFS-V-I及びV-II共に共鳴領域での炉定数の作成方法は全く同一である。即ち非分離及び分離領域どちらに対しても、共鳴遮蔽因子の計算はMC<sup>2</sup>のような解析手法は用いずに中性子の減速方程式を回帰法を用いて厳密に解く方法によっている<sup>(18)</sup>。従って解析法の近似による計算誤差は生じない。厳密な計算を行うためには非分離域でも十分に共鳴の山が表わせる非常に微細なエネルギー群での温度依存の共鳴断面積のライブラリーを作成することが必要である<sup>(20)</sup>。群定数は最終時に、温度T(300, 900, 2100)、バックグラウンド断面積 $\sigma_0$ (1, 10, 100, 1000, 10000)、 $R = {}^{238}\text{N} / {}^{235}\text{N}$  or  ${}^{239}\text{N}$ の関数として表で与えられる。従って任意の温度や $\sigma_0$ に対して遮蔽因子はこれらの表からの内外挿で求められる。EXPANDAシリーズにおいてはこの内挿は双曲線関数でなされている。

ドップラー効果解析上重要なのは、以上のような共鳴パラメータの相違の他にJFS-V-IとV-IIとでは序論でも述べたように軽中重核及び<sup>238</sup> $\sigma_{in}$ が変っており、炉心全体のスペクトルは



り複雑であり、サンプルと炉心との間のバッファ領域の取り扱い方がある。更に考えねばならないことは炉心燃料は板状であるため炉心での断面積計算における炉心板状非均質効果の検討が必要である。我々は今回の解析においてはサンプルバッファの効果と炉心非均質効果のドップラー効果への影響を計算に取り入れたが、ホットサンプルコールドコアの共鳴干渉効果は詳細に考慮しなかった。Lewis と Johnson<sup>(16)</sup> によれば、通常のサンプルドップラー実験においてサンプルバッファを計算に考慮すれば、そのとき干渉効果は十分に無視できるとの結果を考慮に入れたためである。

第2章ではJFSの各改訂版の共鳴領域炉定数作成における共鳴パラメータの特徴と、ドップラー効果の解析方法について述べる。第3章では解析結果の検討を行い、各種の非均質効果のドップラー効果への影響について述べる。第4章では全炉心ドップラー効果の解析と異核種間の干渉効果について述べる。

## 2. 解析方法

### 2.1 JAERI-Fast Set 各改訂における共鳴領域炉定数

JAERI-Fast Setの各改訂版で用いられている分離及び非分離共鳴領域での共鳴パラメータの評価の明細をTable 1に示す。ドップラー効果の計算に重要なのは特に非分離領域である。JFS-V-IIでは最小自乗法を用いて<sup>235</sup>U、<sup>238</sup>Uと<sup>239</sup>Puに対して断面積の修正を70群構造で行ったため、非分離領域ではこれら各群での修正断面積を再現するように平均共鳴パラメータの評価と共鳴別の作成が行われた<sup>(17)</sup>。特に重要な<sup>238</sup>Uの平均パラメータ $\langle \Gamma r \rangle$ は、JFS-V-Iで0.019eV、JFS-V-IIでは0.023eVと21%からの大きな差が見られる。一方非分離共鳴領域も<sup>238</sup>UではJFS-V-Iが2.15KeVまでであったのがJFS-V-IIでは46.5KeVまで、<sup>239</sup>Puも10KeVから2.15KeVへとエネルギー範囲が大きく広げられた。これはFCA-V-1、-2のような炉心スペクトルの硬い炉心及びNaのボイド状態でのスペクトル硬化のような場合、高いエネルギー領域からのドップラー効果は無視できないためである。

JFS-V-I及びV-II共に共鳴領域での炉定数の作成方法は全く同一である。即ち非分離及び分離領域どちらに対しても、共鳴遮蔽因子の計算はMC<sup>2</sup>のような解析手法は用いずに中性子の減速方程式を回帰法を用いて厳密に解く方法によっている<sup>(1)(18)</sup>。従って解析法の近似による計算誤差は生じない<sup>(19)</sup>。厳密な計算を行うためには非分離領域でも十分に共鳴の山が表わせる非常に微細なエネルギー群での温度依存の共鳴断面積のライブラリーを作成することが必要である<sup>(20)</sup>。群定数は最終時に、温度T(300, 900, 2100)、バックグランド断面積 $\sigma_0$ (1, 10, 100, 1000, 10000)、 $R = {}^{238}\text{N} / {}^{235}\text{N}$  or  ${}^{239}\text{N}$ の関数として表で与えられる。従って任意の温度や $\sigma_0$ に対して遮蔽因子はこれらの表からの内外挿で求められる。EXPANDAシリーズにおいてはこの内挿は双曲線関数でなされている。

ドップラー効果解析上重要なのは、以上のような共鳴パラメータの相違の他にJFS-V-IとV-IIとでは序論でも述べたように軽中重核及び<sup>238</sup> $\sigma_{in}$ が変っており、炉心全体のスペクトルは

JFS-V-IよりもJFS-IIの方がよりsoftになっている。このことはJFS-V-IIの方がJFS-V-Iよりもドップラー効果を大きく見積るであろうと考えられる。これら各セット間の断面積の違いによるドップラー効果への影響は第3章で詳しく述べる。

## 2.2 解析モデルと計算コード

9つの臨界集合体、FCA-V-1, FCA-V-2, FCA-W-1, FCA-W-2, ZPR-6-7, ZPPR-2, -3, ZPR-3-47, SEFORでのドップラー実験を解析対象に選んだ。これらの各臨界集合体の特徴はTable 2に示す。炉心体積はFCA-V-1の145ℓからZPR-6-7の約3000ℓまで様々であり、炉心スペクトルもFCAの固いスペクトルからZPPR-2やSEFORのかなり柔かいスペクトルまで含んでいる。FCAの各炉心はPuとEUを燃料とした常陽のモックアップ炉心である。ZPR-3-47はSEFOR全炉心ドップラー実験ベンチマーク炉心のモックアップ炉心で多量のBeを含み、体積は小さくともスペクトルはかなり柔かくなっている。ZPR-6-7は炉心にdirtyなPu-燃料を装荷したPu-燃料雰囲気でのドップラー実験である。各臨界集合体の形状はFig. 1~8に示す。又それら集合体に対する各領域での均質組成密度数はTable 3~9に示す。

ドップラーサンプルとしては天然酸化ウラン( $\text{NUO}_2$ )の実験のみを解析した。EUO<sub>2</sub>やPUO<sub>2</sub>サンプルでの実験値はサンプルの膨張効果の補正が明確でないものが多いため、今回解析対象から除外した。サンプルの大きさは、FCA各炉心では長さが15.8cm、直径が2.5cm、ZPR-3-47では長さが15.24cm、直径が1.27cm、ZPR-6-7とZPPR-2炉心では長さが30.48cm、直径が2.54cmと様々である。FCA炉心でのサンプルはZPR関係のサンプルにくらべて長さが半分であり、一次元球形モデルには適している。

FCAドップラー実験におけるサンプル・ドロワーの構造と円柱化セルモデルをFig. 9に示す。Table 39にはJAERIとANLでの $\text{NUO}_2$ サンプルの組成とステンレス・スチールバッファの均質化組成を示す。

解析計算は1, 2次元拡散, 摂動計算コードDOPP 2Dシステムを用いて行った。2次元計算はTable 40に示す25群構造で行った。縮約は1次元70群スペクトルで行っている。<sup>(21)</sup>  
DOPP 2Dコードの詳しい入出力形式は附録に示す。DOPP 2DはEXPANDA-70D<sup>(21)</sup>(1次元拡散摂動計算コード)とCITATION<sup>(22)</sup>(2, 3次元拡散コード)とCIPER 2<sup>(23)</sup>(2, 3次元摂動計算コード)を連絡し、ドップラー反応度計算をし易くしたものである。即ちこれら3つの単体コードでの入出力データ作成整備の重複する手間やそれによるInputエラーを避けた。今回の解析のように多くのケースを解析する場合は多くの入出力データの重複は非常な計算上の無駄と負担を生じる。DOPP 2Dシステムを用いることによってEXPANDA-70Dでのreference及びperturbedマクロ群定数, 更にはCITATIONでの中性子束及び随伴中性子束をDiskやTapeに保存する必要はなくなった。

非均質効果の計算は次のようにして行われた。サンプルに対する共鳴非均質の効果は無限円柱弧立系近似を用い、実効余剰ポテンシャル断面積としてバックグラウンド断面積を導入して

$$\sigma_0 = \sigma_p + \frac{1}{N} \sum_j \sigma_j N_j + a(1-C) / (Nl) \quad (1)$$

ここで  $\sigma_p$  は  $^{238}\text{U}$  のポテンシャル散乱断面積,  $N$  は  $^{238}\text{U}$  の原子数密度,  $\sigma_j$  と  $N_j$  はドップラーサンプルでの  $^{238}\text{U}$  以外の核種  $j$  の全断面積と原子数密度,  $a$  は Bell factor,  $C$  は Dancoff factor, そして  $l$  はサンプルの mean chord length である。このため EXPANDA-70D コードの  $\sigma_0$  の計算ルーチンに実効余剰ポテンシャル断面積が考慮できるように改良された。

一方炉心燃料は通常は集合体では板状である。しかし Table 3~9 に与えられている各炉心組成は均質化したものである。従って正確にはセル内での中性子束の空間分布を求めて、その中性子束を重みとしてセルの平均実効断面積を求める必要がある。このようなセル計算は SLAROM<sup>(24)</sup> コードを用いて行うことができる。SLAROM は EXPANDA に、衝突確率法を用いて積分型輸送方程式を解く LAMP<sup>(25)</sup> コードの一部を連結したものである。このセル計算は 70 群の JFS ライブラリーを用いて行われる。

ここで考慮される各高速炉臨界集合体に対する炉心での板状セルモデルを Fig. 10~12 に示す。セル内の各領域での原子数密度も一諸に示す。

### 3. 解析結果

#### 3.1 各改訂版 JFS による計算値の比較

70 群構造のライブラリーを用いて一次元球形拡散計算を行った場合について示す。Table 10 には実効増倍係数 ( $k_{\text{eff}}$ ) の比較がなされている。Table 中 JFS-V-1R' は前章で述べたように JFS-V-I の  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  の共鳴領域炉定数が JFS-V-2 では改訂されたが、その中  $^{238}\text{U}$  の炉定数のみを改訂したものである。それから JFS-V-2BS は、JFS-V-2 に Be と Si の炉定数を ENDF/B-4 から追加したものである。 $k_{\text{eff}}$  としては各セット間の差は 1% 以下である。しかしサンプル・ドップラーの反応度変化は  $10^{-6}$  のオーダーであるから、かなり各セット間でのドップラー効果の差は在存すると考えられる。ドップラー効果の比較は Table 11 でなされている。計算は 1 次元球形摂動近似で行った。この表には (1) 式において第 3 項を考慮した場合 (HET) と考慮しない場合 (HOM) が、即ち共鳴非均質効果の影響も示してある。これについては次節で詳しく述べる。

Table 11 から分るようにドップラー効果は JFS-V-I から JFS-V-2 へと改訂される毎に大きくなっている。JFS-V-1 と JFS-V-2 との差は 10~20% もある。これは断面積修正による炉心スペクトルの軟化が一番大きい影響を与えていると考えられる。 $^{238}\text{U}$  の共鳴領域炉定数の修正がドップラー効果に与える影響は JFS-V-1R と JFS-V-1R' を比較すればよい。この影響はスペクトルの硬い炉心では比較的大きいが 5% 以下である。

Fig. 13 と 14 には FCA-V-1 と FCA-V1-1 炉心で計算した各群からの  $^{238}\text{U}$  ドップラー効果への寄与の比較を示す。JFS-V-1 と V-2 とのドップラー効果への大きな違いは、最もド

ドップラー効果の重要な1 KeV附近で大きく違っていることから生じていることが分る。又JFS-V-2では共鳴領域がJFS-V-1の2.15KeVから46.5KeVまで拡張された影響も無視できないことも分る。

Fig. 15には各集合体(FCA-V-1, V1-2, ZPPR-2, ZPR-3-47)に対してJFS-V-2を用いて計算されたドップラー効果の各群からの寄与の比較が示してある。FCA-V-1炉心では1 KeV~2.15KeVまでからの寄与が殆んどフラットでドップラー効果はこのエネルギー領域で90%近くを占めている。他の3つの集合体では598~773eVのエネルギー群でドップラー効果の寄与はピークになっている。これらの炉心では200eVまでドップラー効果への影響は大きく、特に $^{238}\text{U}$ の分離共鳴領域(4 KeV以下)の占める割合は大きい。

Table 12には全炉心ドップラーSEFORに対する計算結果の比較を示す。JFS-V-2とではドップラー効果に27%からの差がある。JFS-1Rと1R'では9%の差があり、これは前述したように $^{238}\text{U}$ の共鳴領域のみの改訂による影響である。このSEFOR炉心にはBeがスペクトル軟化のため多量に含まれており、そのBeのスペクトル軟化のドップラー効果への影響は非常に顕著で11%存在する。

以上のようにJFSは各改訂毎にドップラー効果に対しては大きい計算値を与え、実験値との一致も良い方へ改訂されていることがわかる。

### 3.2 共鳴非均質効果の影響

共鳴非均質の効果は、厳密にはサンプル、SUSバッファー、炉心の3領域円柱化セル計算を行ない各群での平均断面積を求めねばならない。ここではJFSを用いるという条件の下で、Wignerの有理近似を適用して(1)式でもって非均質効果を考慮する。無限円柱孤立系を仮定する<sup>(26)</sup>と(1)式で $C \rightarrow O$ となり補正係数に対しては $a = 1.35$ が通常用いられる。

Table 11から分るようにFCA-V-1, V-2炉心では、共鳴非均質効果の影響は大きく20~15%存在する。一方FCA-V炉心よりもスペクトルの柔らかいFCA-V1-1と2では殆んど共鳴非均質効果の影響は計算結果には見られない。このことはZPPR-3-47及びZPPR-2の正常炉心に対しても同様に非均質効果は小さい。しかしZPPR-2のNa-ボイド状態の炉心では10%からの差異がドップラー効果に見られる。即ちNaが抜けたために炉心スペクトルが硬くなったため、FCA-V-1, -2と同様である。

この共鳴非均質効果の影響をもう少し詳しく調べるためにFCA-V-1とFCA-V1-2について、各群からのドップラー効果への寄与を均質と非均質計算の場合とで比較した。Fig. 16と17にその比較が示されている。スペクトルの硬いFCA-V-1、スペクトルの軟らかいFCA-V1-2のどちらもとも1 KeV附近を境界にして“HOMO”と“HETERO”の各群からの寄与の大小が逆転している。この逆転の傾向は両炉心共全く同様であるが、前述したように各群和のドップラー効果としてはFCA-V1-2炉心では殆んど変らないが、FCA-V-1炉心においては非均質の方が20%も小さくなっている。この原因を考えるために、今、Table 13に(1)式の非均質項が実際にどれ位の大きさかを示す。この表から分るようにバックグラウンド断面積は均質に比べて非均質の場合は3倍近く大きくなる。即ち見かけ上散乱物質が増加したことになりサン

プル中のスペクトルが軟化したことになる。従ってドップラー効果への寄与の大きいエネルギー域が広がる。このことは1 KeVよりも低エネルギー側で、“Homo”よりも“Hetero”の方が Doppler 効果への寄与が大きいことから理解できる。しかし計算結果は全体として“Hetero”の方は“Homo”とほぼ等しいか20%も小さくなっている。これには共鳴遮蔽因子の温度勾配のバックグラウンド断面積依存性が関与している。一般に遮蔽因子の温度勾配は $\sigma_0$ の増加と共にゆるくなる。Homoの場合は $\sigma_0$ が約18 barnであったのが“Hetero”の場合に44～52 barnになっている。従って $\sigma_0$ の増加によって生じる2つの相反する効果、すなわちスペクトル軟化によるドップラー効果の増加とf-因子の温度勾配の緩斜化の微妙な競争によってドップラー効果の群和が変わってくる。FCA-V-1, 2及びZPPR-2のNa-void炉心のようにスペクトルの硬い場合には、高エネルギー側でのf-因子の温度勾配減少の影響が非常に大きくなると考えられる。

ここでもう一つ問題となるのはf-因子の $\sigma_0$ と温度Tによる内外挿の問題である。現在EXPANDAコードでは双曲線による内挿が行われているが、 $\sigma_0 \approx 50$  barnにおいてf-因子<sup>(27)</sup>は変曲点を持つ場合が多い。このような場合双曲線内挿は10～20%の誤差を生じる場合がある。従ってf-因子の( $\sigma_0$ , T)に関する内外挿の精度の向上には、f-因子表を用いるJFS等の断面積セットにおいては無視できない問題である。

### 3.3 炉心板状非均質効果とサンプル・バッファのドップラー効果への影響

ここではTable 14に示す3つの異った解析モデルで計算した結果について述べる。計算は1, 2次元拡散計算でJFS-V-2と-2Rを用いて行った場合について述べる。Model Aはサンプルの共鳴非均質効果を(1)式で考慮するがSample-bufferの影響及び炉心非均質の効果を考えないモデルであり、通常ドップラー効果のベンチマークテスト計算で使用されるものである。Model BはModel AにSUS bufferの影響を考慮した場合である。更にModel CはModel Bに炉心非均質効果も考慮した場合で、今回のドップラー効果解析の最も正確な計算法である。

Table 15から19までにFCAとZPR-3-47の各炉心に対してModel Aでもって計算した結果を示す。Table 20から29までにはFCAの各炉心及びZPPR-2(normalとNa-void炉心)とZPR-6-7(refernceと高<sup>240</sup>Pu炉心)に対してModel B及びCで計算した結果が実験値と比較されている。

これらのTableから分るように解析方法がModel C, B, Aの順に実験値との一致が良くなって行くことが分る。FCAの各炉心においては1次元球形と2次元R-Z計算によるドップラー効果の差は小さいが、ZPPR-2やZPR-3-47炉心においては1次元と2次元の差は大きい。これはJAERIとALNのドップラーサンプルの長さが2倍違うことが大きな原因と考えられる。次には炉心体系の球形モデル化による炉心スペクトルの変化も又影響を与えられられる。従って中心ドップラー効果の計算においてもModel Cによる2次元摂動計算が正確には必要である。

次にSUSバッファ及び炉心板状非均質効果による炉心スペクトルの変化がドップラー効果に与える影響について調べる。Table 30にSUSバッファの影響を示す。即ちModel Bと

Model A とで計算した結果の比を FCA の各炉心について示す。この Table から SUS バッファによるサンプルでのスペクトル変化はドップラー効果に 4~6% の増加を及ぼしていることが分る。

Table 31 には Model C と Model B とで計算したドップラー効果の比を各炉心に対して示す。即ち非均質効果によって生じる炉心スペクトルのドップラー効果に及ぼす影響をこの Table から知ることができる。この非均質効果は 6~20% の影響をドップラー効果に与えることが分る。特に FCA-V-1 から ZPR-6-7 へと炉心体積が大きくなるに従って非均質効果が増大していることが分る。ZPR-6-7 について示してあるようにこの非均質効果は JFS-V-2 と JFS-V-2R のセットの違いには殆んど差が見られない。Fig. 18 に ZPR-6-7 (Reference Core) の非均質と均質モデルによって計算された炉心スペクトルの比較を示す。この図から明らかなように非均質計算によるドップラー効果の増加は炉心スペクトルの軟化が原因である。

以上のことから分るようにベンチマーク・ラスト等において次元モデルでドップラー効果の解析を行う場合には、SUS バッファ効果、炉心非均質効果、共鳴非均質効果及び 2 次元補正に十分注意を払うことが重要である。

### 3.4 空間依存ドップラー効果の解析

前節までに述べた実験解析は全て炉心中心位置でのものであった。ここでは炉中心から軸方向あるいは径方向にトラバースした位置でのドップラー実験の解析を示す。一つは ZPPR-2 での軸方向トラバース実験、もう一つは ZPPR-3 での Na と B<sub>4</sub>C の制御棒チャンネルに挟まれた偏心位置でのサンプル (NUO<sub>2</sub>) ドップラー実験解析である。

ZPPR-2 では炉心中心からサンプルが軸方向に 12 インチと 24 インチ移動した位置での測定が行われている。解析は 25 群の 2 次元 R-Z 摂動計算で行った。70 群 1 次元計算からの縮約は板状モデルを用いて行った。計算結果を Table 32 に示す。計算は Table 14 で示した Model B と C の場合について行った。この場合にも Model C 即ち炉心板状非均質効果を考慮することが重要であることが分る。24 インチ軸方向移動でのサンプルは完全にブランケット内に位置し、ドップラー効果は炉心位置の場合と比較すると 1 桁小さくなっている。解析値と実験値とを比較すると Z = 24 インチ、サンプル温度 300-500 °K での一致が悪い。これは全体の温度変化を考えると測定値に問題があると考えられる。

ZPPR-3 Phase 3 炉心は ZPPR-2 に 19 本の制御棒を内側炉心及び外側炉心との境界に挿入した、より原型炉に近いモックアップ炉心である。ドップラー効果の測定は Fig. 19 に示すように炉中心と内側炉心の境界との中間点でかつ Na-channel follower (CRP) と B<sub>4</sub>C 制御棒 (CR) にはさまれた 3 点で行われている。即ち B<sub>4</sub>C CR や Na follower による激しい中性子束の変動がドップラー効果の与える影響、及びこのような空間依存ドップラー効果解析法の精度を調べるための実験である。Fig. 20 に ZPPR-3 の 2 次元 R-Z 計算モデルを示す。Fig. 21 には 1 次元計算モデルとサンプル領域の円柱化セル非均質計算モデルを示す。3 つの測定点は Fig. 21 に示すように B<sub>4</sub>C CR に隣接した場合、B<sub>4</sub>C と Na CRP の中間ドロワーで測定した場合、Na CRP に隣接した場合である。これらを各々、サンプル、SUS、Core (B<sub>4</sub>C、

Na の両方又は一方を均質化) の 3 領域セルモデルにして, SLAROMコードを用いてサンプル - SUS の中心 2 領域の平均断面積を計算した。ドップラー効果に対する摂動計算は 3 次元 18 群拡散計算で CITATION<sup>(22)</sup> と CIPER<sup>(23)</sup> コードを用いて行った。勿論前節で述べたように炉心非均質計算が行われている。

計算結果を Table 33 に示す。この Table で model 1, 2, 3 の計算方法の違いは次のようである。Model 1 ではサンプル領域での Fig. 21 に示すようなセル計算は行わない。3 次元拡散計算はサンプル領域を炉心組成で行ない, サンプルによる中性子束変動を考慮しない  $\phi$  と  $\phi^*$  を摂動計算に用いる。Model 2 はサンプル領域の非均質セル計算を行い摂動計算にその温度依存の平均断面積を用いる。しかし reference の  $\phi$  と  $\phi^*$  は Model 1 と同様のものである。Model 3 は 3 次元計算をサンプル領域でのセル平均断面積を用いて行い, reference の  $\phi$  と  $\phi^*$  を正確に計算する。Model 3 の計算は Position 1 の場合についてのみ行われる。これは 18 群の 3 次元計算は膨大な計算時間を要するためである。Position 2 と 3 に対しては model 1 に対する計算のみを行い Position 1 の結果を用いて補正を行った。計算結果は実験値と大変良く一致している。

Fig. 22 には測定位置によるドップラー反応度の各群による違いが示してある。Na CRP から B<sub>4</sub>C CR に測定点が近づくとつれてどのエネルギー領域においても, ドップラー効果は一括に小さくなっている。Fig. 23 には model 1 ~ 3 の計算方法の違いによるドップラー効果の各群での変動が比較されている。model 1 が model 2 と 3 の結果と各群での傾向が大きく異なるのは SUS バッファの影響である。前述したようにバッファ効果によりスペクトルが軟化している。

#### 4. 全炉心ドップラー効果の解析

前章までは炉心中心及び偏心位置でのサンプルドップラー実験を主に解析した。ここではより現実の炉に近い体系全体でのドップラー反応度効果の解析を行い JAERI Fast Set の温度依存性の断面積評価を行う。

体系全体でのドップラー効果の実験は SEFOR 各炉心について行われている。測定は冷却材の温度を一定に保持しながら, 出力をゼロから 20Mw へ増加させたときの反応度変化を決定することによってなされている。

SEFOR 炉心に対する 1 次元球形及び 2 次元 R-Z 解析モデルは Fig. 24 と 25 に示す。そしてその各々のモデルに対する均質組成密度を Table 34 に示す。JFS-V-2R を用いて行った 1 次元摂動計算の結果は Table 36 から分るように, C/E は 1.05 と大変良い実験値との一致を示している。表中の C<sub>D</sub> は共鳴非均質や輸送効果からの補正である。1 次元モデルではドップラー効果の一致はよいが実効増倍係数は 1.026 と計算値が大きい。次に Fig. 25 に示した 2 次元 R-Z モデルを用いて解析を行った。その結果は Table 37 にまとめた。解析は 3 つの異った JFS を用いて行った。ここで JFS-V-2M は JFS-V-2 において異核種間の干渉効果を無視したものである。即ち JFS-V-2M の結果を比較することによってドップラー効果及び臨

Na の両方又は一方を均質化) の 3 領域セルモデルにして, SLAROM コードを用いてサンプル - SUS の中心 2 領域の平均断面積を計算した。ドップラー効果に対する摂動計算は 3 次元 18 群拡散計算で CITATION<sup>(22)</sup> と CIPER<sup>(23)</sup> コードを用いて行った。勿論前節で述べたように炉心非均質計算が行われている。

計算結果を Table 33 に示す。この Table で model 1, 2, 3 の計算方法の違いは次のようである。Model 1 ではサンプル領域での Fig. 21 に示すようなセル計算は行わない。3 次元拡散計算はサンプル領域を炉心組成で行ない, サンプルによる中性子束変動を考慮しない  $\phi$  と  $\phi^*$  を摂動計算に用いる。Model 2 はサンプル領域の非均質セル計算を行い摂動計算にその温度依存の平均断面積を用いる。しかし reference の  $\phi$  と  $\phi^*$  は Model 1 と同様のものである。Model 3 は 3 次元計算をサンプル領域でのセル平均断面積を用いて行い, reference の  $\phi$  と  $\phi^*$  を正確に計算する。Model 3 の計算は Position 1 の場合についてのみ行われる。これは 18 群の 3 次元計算は膨大な計算時間を要するためである。Position 2 と 3 に対しては model 1 に対する計算のみを行い Position 1 の結果を用いて補正を行った。計算結果は実験値と大変良く一致している。

Fig. 22 には測定位置によるドップラー反応度の各群による違いが示してある。Na CRP から B<sub>4</sub>C CR に測定点が近づくにつれてどのエネルギー領域においても, ドップラー効果は一括に小さくなっている。Fig. 23 には model 1 ~ 3 の計算方法の違いによるドップラー効果の各群での変動が比較されている。model 1 が model 2 と 3 の結果と各群での傾向が大きく異なるのは SUS バッファの影響である。前述したようにバッファ効果によりスペクトルが軟化している。

#### 4. 全炉心ドップラー効果の解析

前章までは炉心中心及び偏心位置でのサンプルドップラー実験を主に解析した。ここではより現実の炉に近い体系全体でのドップラー反応度効果の解析を行い JAERI Fast Set の温度依存性の断面積評価を行う。

体系全体でのドップラー効果の実験は SEFOR 各炉心について行われている。測定は冷却材の温度を一定に保持しながら, 出力をゼロから 20Mw へ増加させたときの反応度変化を決定することによってなされている。

SEFOR 炉心に対する 1 次元球形及び 2 次元 R-Z 解析モデルは Fig. 24 と 25 に示す。そしてその各々のモデルに対する均質組成密度を Table 34 に示す。JFS-V-2R を用いて行った 1 次元摂動計算の結果は Table 36 から分るように, C/E は 1.05 と大変良い実験値との一致を示している。表中の C<sub>D</sub> は共鳴非均質や輸送効果からの補正である。1 次元モデルではドップラー効果の一致はよいが実効増倍係数は 1.026 と計算値が大きい。次に Fig. 25 に示した 2 次元 R-Z モデルを用いて解析を行った。その結果は Table 37 にまとめた。解析は 3 つの異なる JFS を用いて行った。ここで JFS-V-2M は JFS-V-2 において異核種間の干渉効果を見捨てたものである。即ち JFS-V-2M の結果を比較することによってドップラー効果及び臨



界量に異核種間の干渉効果の及ぼす影響をみることができる。従ってその干渉効果は $k_{eff}$ に約0.1%, ドップラー効果に約3%と比較的小さい影響を与えることが分る。

2次元モデルによる計算結果は $k_{eff}$ が1.0021と大変良い値を示すが、一次元モデルとは逆にドップラー効果に関しては実験値よりも12%程大きく実験誤差12.3%ぎりぎりである。ここで用いられている計算値に対する補正係数 $C_D = -0.00065$ は文献(25)で与えられているものでJFSを用いて計算したものではない。この補正項のチェック計算も正確には必要であろう。Table 37にはもう一つの実験値が示されている。これは新しいデータを用いた $B_{eff}$ の計算に基いた結果である。この場合 $C/E$ は1.02と大変良い結果を示している。実験においては燃料だけではなく多量に含まれる構造材の温度も上昇しているものと考えられる。従って更に厳密な解析としてはこの構造材のドップラー効果も考慮すべきである。FCAでの構造材に対するサンプル・ドップラー実験及び解析によると構造材のドップラー効果は<sup>238</sup>Uの12~24%は存在する。従って構造材のドップラー効果もSEFORの解析に考慮すれば、計算値は更に実験値を大きく過大評価する傾向になると考えられる。しかし最近一つの興味ある結果が中川等<sup>(30)</sup>によって報告されている。それは大型高速炉の国際ベンチマーク・テストの解析において、25群のJFS-V-2Rの計算と2000群詳細スペクトル計算ESELEM-4の結果とでは全炉心ドップラー効果に40%からの違いが生じるということである。これは主に軽中重核の除去断面積の取り扱いの違いにより炉心スペクトルが大きく両者では違ってくるからである。我々はこの大型炉に対して70群JFS-V-2Rを用いてドップラー効果の計算を行った。その結果70群JFS-V-2Rは中川等の結果よりも約15%ドップラー効果を過大評価することが分った。従って今後SEFORに対してもESELEM-4コードを用いての解析が必要である。

国際ベンチマーク炉心についての解析モデル及び解析結果をFig. 26及びTable. 38に示す。Fig. 27にはJFS-V-2とV-2Mを用いて計算した場合のドップラー効果への各群からの寄与む分裂項及び吸収項に分けて比較してある。この図から分るように異核種間の干渉効果はSEFORの場合と同様小さいが、分裂項のみを比較した場合その差は非常に大きいことがわかる。

## 5. 結 論 と 課 題

JAERI-Fast Setのドップラー効果への適用性については今まであまり報告されなかったが、今回各改訂版セットに対しての解析結果をまとめて、断面積の温度依存性の評価を行った。JFSは改訂を重ねる毎にドップラー効果に対して実験値と計算値の一致が良くなってきている。最終版JFS-V-2Rでは<sup>238</sup>Uの炉中心サンプルドップラー効果に関する多くの実験解析の結果は、計算値と実験値との比( $C/E$ )が平均で、0.96であり、大変良い一致を示した。又ZPPR-2, 3での偏心位置でのドップラー効果に対しても、計算値と実験値の一致は大変良かった。これらの解析計算においては共鳴非均質効果、サンプルのSUSバッファの効果及び炉心板状非均質の効果が考慮された。これらの効果を無視することはドップラー効果の計算に大き

界量に異核種間の干渉効果の及ぼす影響をみる事ができる。従ってその干渉効果は $k_{eff}$ に約0.1%, ドップラー効果に約3%と比較的小さい影響を与えることが分る。

2次元モデルによる計算結果は $k_{eff}$ が1.0021と大変良い値を示すが、一次元モデルとは逆にドップラー効果に関しては実験値よりも12%程大きく実験誤差12.3%ぎりぎりである。ここで用いられている計算値に対する補正係数 $C_D = -0.00065$ は文献(4)で与えられているものでJFSを用いて計算したものではない。この補正項のチェック計算も正確には必要であろう。Table 37にはもう一つの実験値が示されている。これは新しいデータを用いた $B_{eff}$ の計算に基いた結果である。この場合 $C/E$ は1.02と大変良い結果を示している。実験においては燃料だけではなく多量に含まれる構造材の温度も上昇しているものと考えられる。従って更に厳密な解析としてはこの構造材のドップラー効果も考慮すべきである。FCAでの構造材に対するサンプル・ドップラー実験及び解析によると構造材のドップラー効果は $^{238}\text{U}$ の12~24%は存在する。従って構造材のドップラー効果もSEFORの解析に考慮すれば、計算値は更に実験値を大きく過大評価する傾向になると考えられる。しかし最近一つの興味ある結果が中川等<sup>(30)</sup>によって報告されている。それは大型高速炉の国際ベンチマーク・テストの解析において、25群のJFS-V-2Rの計算と2000群詳細スペクトル計算ESELEM-4の結果とでは全炉心ドップラー効果に40%からの違いが生じるということである。これは主に軽中重核の除去断面積の取り扱いの違いにより炉心スペクトルが大きく両者では違ってくるからである。我々はこの大型炉に対して70群JFS-V-2Rを用いてドップラー効果の計算を行った。その結果70群JFS-V-2Rは中川等の結果よりも約15%ドップラー効果を過大評価することが分った。従って今後SEFORに対してもESELEM-4コードを用いての解析が必要である。

国際ベンチマーク炉心についての解析モデル及び解析結果をFig. 26及びTable. 38に示す。Fig. 27にはJFS-V-2とV-2Mを用いて計算した場合のドップラー効果への各群からの寄与む分裂項及び吸収項に分けて比較してある。この図から分るように異核種間の干渉効果はSEFORの場合と同様小さいが、分裂項のみを比較した場合その差は非常に大きいことがわかる。

## 5. 結 論 と 課 題

JAEI-Fast Setのドップラー効果への適用性については今まであまり報告されなかったが、今回各改訂版セットに対しての解析結果をまとめて、断面積の温度依存性の評価を行った。JFSは改訂を重ねる毎にドップラー効果に対して実験値と計算値の一致が良くなってきている。最終版JFS-V-2Rでは $^{238}\text{U}$ の炉中心サンプルドップラー効果に関する多くの実験解析の結果は、計算値と実験値との比( $C/E$ )が平均で、0.96であり、大変良い一致を示した。又ZPPR-2, 3での偏心位置でのドップラー効果に対しても、計算値と実験値の一致は大変良かった。これらの解析計算においては共鳴非均質効果、サンプルのSUSバッファの効果及び炉心板状非均質の効果が考慮された。これらの効果を見捨てることはドップラー効果の計算に大き

な解析誤差を生じることが分った。サンプルドップラー効果の解析上の今後の問題としては、今回小さいとして無視したホットサンプルとコールドコアの干渉効果を、JFS型の群定数を用いての計算に直接解析的に考慮できるようにすることである。それから、f-因子表における( $\sigma_0$ , T)に対する双曲線内外挿法によって生じる計算誤差の評価と内挿法の改良が残された問題がある。

全炉心ドップラー効果の解析結果は1次元モデルで  $C/E = 1.05$ 、2次元モデルで  $C/E = 1.02$  であり、実験誤差12.3%内に入っている。SEFOR 炉心と大型ベンチマーク炉心に対して異核種間の干渉効果は、 $k_{eff}$  に対して0.1%、ドップラー効果に対して3%の影響であった。干渉効果はドップラー効果の分裂項に関しては大きな影響を与えるが、全体では $^{238}\text{U}$ からの吸収項が圧倒的に大きく、上記のように結果として小さい。従って $^{238}\text{U}$ への $^{235}\text{U}$ 又は $^{239}\text{Pu}$ による干渉効果がどれ位の影響をドップラー効果に及ぼすかを検討すべきである。更に全炉心ドップラー効果解析では構造材のドップラー効果を考慮することが必要である。これらは今後の課題である。更に今後検討されるべき問題としては、詳細スペクトル計算による解析を行い70群JFSを用いることの精度の検討が必要である。

## 謝 辞

EXPANDA-70D, SLAROM, CIPER-2 各コードの使用に当り核設計研究室の中川正行氏、長谷川明氏及び日本情報サービスの徳野幸男氏に大変お世話になった。又高速炉物理研究室の白方敬章氏にはFCA各集合体での炉心板状セル組成比を、高速炉設計研究室の吉田弘幸氏にはZPR-6-7炉心のセル組成を提供していただいた。ここに感謝の意を表します。

な解析誤差を生じることが分った。サンプルドップラー効果の解析上の今後の問題としては、今回小さいとして無視したホットサンプルとコールドコアの干渉効果を、JFS型の群定数を用いての計算に直接解析的に考慮できるようにすることである。それから、f-因子表における( $\sigma_0$ , T)に対する双曲線内外挿法によって生じる計算誤差の評価と内挿法の改良が残された問題がある。

全炉心ドップラー効果の解析結果は1次元モデルで  $C/E = 1.05$ 、2次元モデルで  $C/E = 1.02$  であり、実験誤差12.3%以内に入っている。SEFOR 炉心と大型ベンチマーク炉心に対して異核種間の干渉効果は、 $k_{eff}$  に対して0.1%、ドップラー効果に対して3%の影響であった。干渉効果はドップラー効果の分裂項に関しては大きな影響を与えるが、全体では $^{238}\text{U}$ からの吸収項が圧倒的に大きく、上記のように結果として小さい。従って $^{238}\text{U}$ への $^{235}\text{U}$ 又は $^{239}\text{Pu}$ による干渉効果がどれ位の影響をドップラー効果に及ぼすかを検討すべきである。更に全炉心ドップラー効果解析では構造材のドップラー効果を考慮することが必要である。これらは今後の課題である。更に今後検討されるべき問題としては、詳細スペクトル計算による解析を行い70群JFSを用いることの精度の検討が必要である。

## 謝 辞

EXPANDA-70D, SLAROM, CIPER-2 各コードの使用に当り核設計研究室の中川正行氏、長谷川明氏及び日本情報サービスの徳野幸男氏に大変お世話になった。又高速炉物理研究室の白方敬章氏にはFCA各集合体での炉心板状セル組成比を、高速炉設計研究室の吉田弘幸氏にはZPR-6-7炉心のセル組成を提供していただいた。ここに感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) KATSURAGI S., et al.: JAERI-1195 (1970) and JAERI-1199 (1970).
- (2) ABAGJAN L.P. et al.: "Group Constants for Nuclear Reactor Calculations", Consultant Bureau, New York (1964).
- (3) DAVEY W.G. et al.: CSEWG Newsletter 18, (1969).
- (4) TAKANO H. et al.: JAERI-memo 4215 (1971).
- (5) KATSURAGI S. et al.: JAERI 1199 Supplement (1971).
- (6) TAKANO H. et al.: JAERI-M 5955 (1975).
- (7) TAKANO H. et al.: JAERI-M 6320 (1975).
- (8) HASEGAWA A. et al.: to be published (1975).
- (9) HASEGAWA A. et al.: JAERI-M 6710 (1976).
- (10) IJIMA T. et al.: "Doppler Experiment in FCA" EACRP report, Stockholm, June 1971.
- (11) ISHIGURO Y. et al.: Proc. Int. Symp. Phys. Fast Reactors, Tokyo P/1133 ~ 1150 (1973).
- (12) TILL C.E. et al.: ANL 7910, P86-101 (1972).
- (13) BOHN E.M. et al.: ANL 7910, P102-112 (1972).
- (14) DAVEY W.G. et al.: Nucl. Sci. Eng., 51, 415 (1973).
- (15) FREEMAN D.D.: GEAP-13929 (1973).
- (16) LEWIS R.A., JHONSON T.W.: ANL-7410, P96 (1968).
- (17) TAKANO H. et al.: JAERI-M 6372 (1976).
- (18) ISHIGURO Y. et al.: JAERI-1219 (1971) and JAERI-M 5527 (1974).
- (19) TAKANO H. et al.: J. Nucl. Sci. Technol. 7[10], 500 (1970).
- (20) TAKANO H.: JAERI-M 4721 (1972).
- (21) HASEGAWA A.: JAERI-M 4953 (1972).
- (22) FOWLER T.B. et al.: Nuclear Reactor Core Analysis Codes, (CITATION Revision 2, ORNL-TM-2496) (1971).
- (23) NAKAGAWA M. et al.: JAERI-M 6722 (1976).
- (24) NAKAGAWA M. et al.: JAERI-M 5916 (1974).
- (25) TSUCHIHASHI K.: to be published in JAERI report.
- (26) TILL C.E. et al.: ANL-7320 P319-333 (1966).
- (27) KIKUCHI Y. et al.: private communication.
- (28) ISHIGURO Y.: Nucl. Sci. Eng., 49, 228, (1972).
- (29) TAKANO H. et al.: JAERI-M 5714 (1974).
- (30) NAKAGAWA M. et al.: private communication.
- (31) SCHMIT, J.J.: KFK-120, I (1967).

- (32) DRAWBAUCH, D.W., et al.: "A Single-Level Analysis of  $^{235}\text{U}$  Based on Recent  $\sigma_t$ ,  $\sigma_f$  and  $\sigma_c$  Measurements", Int. At. Energy Agency, Vienne, Vol. II 1251 (1967).
- (33) ISHIGURO, Y. et al.: Nucl. Sci. Eng., 40, 25 (1970).
- (34) TAKANO, H. et al.: J. Nucl. Sci. Technol., 8 (1977).
- (35) TAKANO, H. et al.: to be published.
- (36) DERRIN, H. et al.: Conf. Proc. Nuclear Data for Fast Reactor, Paris, Vol. II, 195 (1967).
- (37) DURSTON, C. et al.: JAERI 1162 (1968).
- (38) TAKANO, H.: to be published.
- (39) KOLER, W. et al.: J. Nucl. Eng., 22, 299 (1968).
- (40) SCHMIDT, H. et al.: J. Nucl. Eng., 22, 317 (1968).
- (41) PATTENDEN, N.T. et al.: AERE-PR/NP6, (1964).
- (42) TAKANO, H.: J. Nucl. Sci. Technol., 8 [11], 656 (1971).
- (43) HUTCHINS, B.A. et al.: Private communication.

Table 1 Resonance parameters used with JFS Version I and II

Nuclide	JFS	Energy Range(eV)	References	Remarks
$^{235}\text{U}$	V-I and IR	147.33~63.13 62.44~3608 3.16~0.938 10000~147.33	Schmidt (31) Drawbauch and Gibson (32) Schmidt (31) Ishiguro et al (33)	Multilevel correction Generation by Monte Carlo
	V-II and IIR	147.33~63.13 62.44~12.85 11.66~0.95 10kev~147.33	Schmidt (31) Drawbauch and Gibson (32) Takano (34) Takano (35)	Multilevel correction Generation by Monte Carlo
$^{238}\text{U}$	V-I and IR	3904.4~-18.0 21500~3904.4	Schmidt (31) Ishiguro et al (33)	Modified $\Gamma_{\gamma}=0.019\text{ev}$ Generation by Monte Carlo
	V-II and IIR	3953.9~6.67 46.5kev~3953.9	ENDF/B-4 Takano (35)	Generation by Monte Carlo
$^{239}\text{Pu}$	V-I and IR	442.41~301.81 298.1~-1.2 10kev~442.41	Derrien et al (36) Durstion and Katsuragi (37) Ishiguro et al (33)	Generation by Monte Carlo
	V-II and IIR	658~14.31 11.9~-1.2 21.5kev~658	BNL-325 3d Takano (38) Takano (35)	Multilevel correction Generation by Monte Carlo
$^{240}\text{Pu}$	V-I, IR, II and IIR	5692.0~1.054 21.5 kev~5692	Koler et al (39) and Schmidt (40) Ishiguro et al (33)	Generation by Monte Carlo
$^{241}\text{Pu}$	V-I, IR, II and IIR	50.4~-0.16 10kev~50.4	Pattenden (41) Takano (42)	Generation by Monte Carlo

Table 2 Critical assembly characteristics

Assembly	Fuel	$R = \frac{\text{Fertile N}}{\text{Fissile N}}$	Core volume ( l )	Doppler Sample	
				material	size (cm)
FCA-V-1	Pu, U	2.6	145	NUO <sub>2</sub>	2.5 $\phi$ , 15L
FCA-V-2	Pu, U	2.3	215	NUO <sub>2</sub>	2.5 $\phi$ , 15L
FCA-VI-1	Pu, U	RI=4.3, Ro = 3.0	223	NUO <sub>2</sub>	2.5 $\phi$ , 15L
FCA-VI-2	Pu, U	RI=6.9, Ro = 2.5	246	NUO <sub>2</sub>	2.5 $\phi$ , 15L
ZPR-3-47(L.15)	Pu	5.1	543	NUO <sub>2</sub>	1.27 $\phi$ , 15.24L
SEFOR	Pu	4.3	558	All core on power	
ZPPR-2(L.90)	Pu	RI=6.5, Ro = 4.0	2400	NUO <sub>2</sub>	2.54 $\phi$ , 30.48L
ZPPR-3(Phase.3)	Pu	RI=4.9, Ro = 3.3	2400	NUO <sub>2</sub>	2.54 $\phi$ , 30.48L
ZPR-6-7	Pu	RI=6.5, Ro = 6.5	3120	NUO <sub>2</sub>	2.54 $\phi$ , 30.48L

RI and Ro mean the density ratio of fertile materials to fissile materials in the inner and outer cores, respectively.



Table 3 Homogeneous atomic number densities of FCA-V assembly 1 ( $10^{24}$  atom/cc.)

	Core	Blanket
U - 235	1.96 -3	2.891 -4
U - 238	7.7812 -3	3.989 -2
O	1.6476 -2	
Pu - 239	1.0446 -3	
Pu - 240	9.427 -5	
Pu - 241	1.124 -5	
Na	6.0431 -3	
Al	1.1065 -2	
Cr	3.0535 -3	1.827 -3
Fe	1.0971 -2	6.652 -3
Ni	1.4275 -3	7.964 -4

Table 4 Homogeneous atomic number densities of FCA-V assembly 2 ( $10^{24}$  atom/cc.)

	Core	Blanket
U - 235	1.47 -3	2.891 -4
U - 238	5.8359 -3	3.989 -2
O	1.3103 -2	
Pu - 239	1.0458 -3	
Pu - 240	9.325 -5	
Pu - 241	1.0688 -5	
Na	8.1341 -3	
Al	8.3295 -3	
Cr	3.2734 -3	1.327 -3
Fe	1.195 -2	6.652 -3
Ni	1.5345 -3	7.964 -4

Table 6 Homogeneous atomic number densities of  
FCA-VI assembly 2 ( $10^{24}$  atom/cc.)

	Inner Core	Outer Core	Blanket
U - 235	1.516 -5	2.8483 -3	2.891 -4
U - 238	6.9057 -3	6.8915 -3	3.9885 -2
O	1.72858 -2	1.36189 -2	
Pu - 239	1.0458 -3	1.0 -8	
Pu - 240	9.33 -5	1.0 -8	
Pu - 241	1.07 -5	1.0 -8	
B - 10	1.0 -8	1.0 -8	
Na	7.656 -3	7.656 -3	
Al	2.4027 -3	9.0793 -3	
Cr	3.41266 -3	3.134 -3	1.827 -3
Fe	1.2504 -2	1.1504 -2	6.652 -3
Ni	1.5658 -3	1.42 -3	7.964 -4
Mo	1.0 -8	1.0 -3	

Table 5 Homogeneous atomic number densities of  
FCA-VI assembly 1 ( $10^{24}$  atom/cc.)

	Inner Core	Outer Core	Blanket
U - 235	1.516 -5	2.131 -3	2.891 -4
U - 238	6.9057 -3	6.4152 -3	3.9885 -2
O	1.5598 -2	1.5598 -2	
Pu - 239	1.5687 -3		
Pu - 240	1.4 -4		
Pu - 241	1.6 -5		
Na	7.656 -3	7.656 -3	
Al	1.354 -3	1.0204 -2	
Cr	3.552 -3	3.134 -3	1.827 -3
Fe	1.3004 -2	1.1504 -2	6.652 -3
Ni	1.639 -3	1.42 -3	7.964 -4

Table 7 Compositions of ZPR-3 assembly 47 (  $10^{22}$  atoms/cc )

	Inner core	Outer core	Radial Na-Steel	Radial Ni-reflector	Axial Ni-reflector	Axial Steel
$^{239+241}\text{Pu}$	0.1480	0.1513				
$^{240}\text{Pu}$	0.0132	0.0072				
$^{235}\text{U}$	0.0015	0.0015				
$^{238}\text{U}$	0.7742	0.7893				
Be	0.5680	0.5413				
C	0.3359	0.3359			0.1755	0.3761
O	1.5663	1.5287				
Na	0.6628	0.6601	0.6156			
Al	0.6986	0.7723	0.0491	0.6160	0.5335	1.0758
Cr	0.2579	0.2816	0.4253	0.1181	0.3190	0.7049
Mn	0.0158	0.0172	0.0260	0.0072	0.0195	0.0432
Fe	0.9847	1.0748	1.6235	0.4510	1.2177	2.6909
Ni	0.1398	0.1526	0.2304	6.5881	4.5325	0.3819
Mo	0.0515					

Table 8 Homogeneous atomic number densities for reference core and H240 core of ZPR-6 assembly 7 ( $10^{21}$  atoms/cc.)

	Reference Core				H240 Core				
	I.C	O.C	A.B	R.B	H240	O.C	Pu/AI	A.B	R.B
Pu 238	0.00033	0.00049			0.00114	0.00049	<0.0001		
Pu 239	0.8867	0.8879			0.8370	0.8879	1.063		
Pu 240	0.1177	0.1178			0.3212	0.1178	0.0499		
Pu 241	0.0133	0.0152			0.0593	0.0146	0.0049		
Pu 242	0.00141	0.00177			0.0174	0.00177	0.00005		
U 234	0.00006	0.00006	0.0004	0.0004	0.00006	0.00006	0.00006	0.0004	0.0004
U 235	0.0126	0.0126	0.0834	0.0866	0.0122	0.0126	0.9126	0.0834	0.0866
U 236	0.00030	0.00030	0.0020	0.0020	0.00029	0.00030	0.00030	0.0020	0.0020
U 238	5.777	5.802	38.59	40.06	5.585	5.802	5.717	38.59	40.06
Am 241	0.0030	0.0028			0.0067	0.0034	<0.001		
Mo	0.2357	0.2382	0.0046	0.0034	0.2297	0.2382	0.242	0.0046	0.0034
Na	9.2904	9.132			9.288	9.132	9.132		
O	13.98	14.82	0.030	0.021	13.84	14.82	14.82	0.030	0.021
Fe	12.97	13.53	5.652	4.197	12.91	13.53	13.15	5.652	4.197
Ni	1.240	1.212	0.6910	0.5082	1.235	1.212	1.481	0.6910	0.5082
Cr	2.709	2.697	1.579	1.17	2.701	2.697	2.675	1.579	1.172
Mn	0.212	0.213	0.123	0.0897	0.221	0.213	0.210	0.123	0.0897

Table 9 Compositions of normal configuration of ZPPR assembly 2 (Loading No. 90)

		Region average compositions (at./cm <sup>3</sup> × 10 <sup>-24</sup> )									
	Inner core zone	Outer core zone	Inner Radial Blanket	Outer Radial Reflector	Radial Reflector	Axial Blankets of Inner Core	Axial Blankets of Outer Core	No-Steel Axial Reflector (Half No. 1)	Steel Axial Reflector (Half No. 2)		
<sup>239</sup> Pu	0.0008433	0.0012741	0.0000245	0.0000245	---	0.0000156	0.0000156	---	---		
<sup>240</sup> Pu	0.0001117	0.0001687	0.0110855	0.0110855	---	0.0070356	0.0070570	---	---		
<sup>241</sup> Pu	0.0000154	0.0000232	0.0063981	0.0059632	---	0.0087386	0.0088083	0.0089657	---		
<sup>235</sup> U	0.0000123	0.0000115	0.0201324	0.0201334	---	0.0138946	0.0140083	---	---		
<sup>238</sup> U	0.0055503	0.0051915	0.0069233	0.0075411	0.0715610	0.0107508	0.0093550	0.0357128	0.0726809		
Na	0.0087964	0.0085643	0.0019915	0.0021715	0.0012051	0.0028351	0.0024180	0.0053473	0.0016391		
O	0.0131158	0.0117613	0.0008978	0.0009874	0.0005133	0.0012753	0.0010954	0.0024120	0.0007057		
Fe	0.0125763	0.0138521	0.0001574	0.0001743	0.0005981	0.0002297	0.0002054	0.0006113	0.0006225		
Cr	0.0027018	0.0025229	0.0000889	0.0000967	0.0000503	0.0001410	0.0001116	0.0002757	0.0000727		
Ni	0.0012210	0.0011601	0.0000169	0.0000181	0.0000127	0.0000174	0.0000173	0.0000171	0.0000142		
Mn	0.0002095	0.0002020	0.0000143	0.0000147	0.0000118	0.0000144	0.0000142	0.0000142	0.0000129		
Si	0.0001307	0.0001130	0.0010128	0.0010132	0.0005575	0.0000359	0.0000296	0.0002136	0.0005603		
Cu	0.0000190	0.0000203	0.0000020	0.0000027	---	0.0000024	0.0000024	0.0000021	---		
Mo	0.0002306	0.0003410									
C	0.0000295	0.0000233									
Al	0.0000034	0.0000043									

Table 10 Effective multiplication factor calculated with  
1-D spherical model

Assembly	J-V-1	J-V-1R	J-V-1R'	J-V-2	J-V-2BS	J-V-2R
FCA-V-1	0.9998	0.9948	0.9928	0.9952		0.99894
FCA-V-2	1.0081	1.0025	1.0001	1.0023		
FCA-V1-1	0.9983	0.9909	0.9877	0.9890		0.99384
FCA-V1-2	0.9992	0.9955	0.9925	0.9948		1.00035
ZPR-3-47		0.9862	0.9824	0.9727	0.97396	0.98249
SEFOR		1.0446	1.0413	1.0315	1.0219	
ZPPR-2 (normal)		1.0111	1.0062	1.0068	1.0068	1.01714
ZPPR-2 (Na-Void)		1.0273	1.0233	1.0249	1.0249	1.03527
ZPR-6-7 (H240)					0.99614	1.00272
ZPR-6-7 (Ref.)					0.99345	1.00473

Table 11 Comparison of theoretical and experimental Doppler reactivity worths ( $\times 10^{-6} \Delta k/k$ ), 1-D spherical 1-st order perturbation calculation

Assembly	Sample	T (°K)	Exp.	J-V-1 HOM HET	J-V-1R HOM HET	J-V-1R' HOM HET	J-V-2 HOM HET
FCA-V-1	NUO <sub>2</sub>	cold worth	-121. ± 2	-141 (1.17)	-130 (1.07)	-130 (1.07)	-127 (1.05)
		300 - 600	-4.66 ± 0.1	-3.48 (0.75)	-3.70 (0.79)	-3.80 (0.82)	-4.89 (1.05)
		300 - 850	-7.12 ± 0.1	-5.50 (0.77)	-5.86 (0.82)	-6.05 (0.85)	-7.69 (1.08)
		300 - 1100	-9.18 ± 0.2	-6.93 (0.75)	-7.40 (0.81)	-7.68 (0.84)	-9.68 (1.05)
FCA-V-2	NUO <sub>2</sub>	cold worth	-103 ± 1	-114 (1.11)	-108 (1.05)	-108 (1.05)	-106 (1.03)
		300 - 1100	-10.65 ± 0.13	-6.64 (0.62)	-7.14 (0.67)	-7.42 (0.70)	-9.14 (0.86)
FCA-V1-1	NUO <sub>2</sub>	cold worth	-132.5 ± 0.133	-164.8 (1.24)	-156.1 (1.18)	-157.5 (1.18)	-157.6 (1.18)
		300 - 650	-5.19 ± 0.34	-4.16 (0.80)	-4.54 (0.87)	-4.59 (0.88)	-5.4 (1.04)
		300 - 850	-7.51 ± 0.33	-5.91 (0.79)	-6.46 (0.86)	-6.56 (0.87)	-7.66 (1.02)
		300 - 1100	-9.38 ± 0.4	-7.61 (0.81)	-8.34 (0.89)	-8.51 (0.91)	-9.84 (1.05)
FCA-V1-2	NUO <sub>2</sub>	300 - 850	-6.83 ± 0.1	-5.26 (0.77)	-5.69 (0.83)	-5.68 (0.83)	-6.31 (0.92)
		300 - 1100	-8.78 ± 0.1	-6.83 (0.78)	-7.39 (0.84)	-7.42 (0.85)	-8.18 (0.93)

Table 11 (continued)

Assembly	Sample	T (°k)	Exp.	J-V-1 HOM HET	J-V-1R HOM HET	J-V-1R' HOM HET	J-V-2 HOM HET	J-V-2(Be + Si) HOM HET
ZPR-3-47 % Δk/k=989 Ih	NUO <sub>2</sub> 274.4g of metal	300-500	-2.57	-1.87 (0.73)	-1.88 (0.73)	-1.973 (0.77)	2.07 (0.81)	-2.27 (0.93)
		300-800	-5.28	-3.85 (0.73)	-3.89 (0.74)	-4.052 (0.77)	4.22 (0.80)	-4.69 (0.93)
		300-1100	-7.12	-5.26 (0.74)	-5.36 (0.75)	-5.533 (0.78)	5.74 (0.81)	-6.43 (0.95)
ZPPR-2 I.o.-90 Normal core 998.49 Ih = % Δk/k	NUO <sub>2</sub> 1086.15g of <sup>238</sup> U	cold worth	-71.9 ±0.22	-90.16 (1.25)	-90.8 (1.26)	-98.8 (1.37)	-99.9 (1.39)	-91.4 (1.27)
		300-500	-2.41 ±0.09	-2.01 (0.83)	-2.00 (0.83)	-2.114 (0.88)	-2.27 (0.94)	-2.28 (0.95)
		300-800	-4.93 ±0.1	-4.15 (0.84)	-4.16 (0.85)	-4.369 (0.89)	-4.65 (0.94)	-4.69 (0.95)
		300-1100	-6.76 ±0.1	-5.70 (0.84)	-5.76 (0.85)	-5.996 (0.89)	-6.35 (0.94)	-6.42 (0.95)
ZPPR-2 Na-voided core	NUO <sub>2</sub>	cold worth	-70.1 ±0.22	-82.6 (1.18)	-82.7 (1.18)	-87.3 (1.25)	-88.0 (1.26)	-82.8 (1.18)
		300-500	-1.632 ±0.10	-1.196 (0.733)	-1.226 (0.751)	-1.127 (0.691)	-1.33 (0.81)	-1.51 (0.93)
		300-800	-3.296 ±0.13	-2.412 (0.732)	-2.497 (0.758)	-2.272 (0.689)	-2.66 (0.81)	-3.03 (0.92)
		300-1100	-4.514 ±0.12	-3.254 (0.721)	-3.391 (0.751)	-3.063 (0.679)	-3.57 (0.79)	-4.09 (0.91)



Table 12 Analysis of Doppler effect in SEFOR benchmark test assembly

	EXP	J-V-1R	J-V-1R'	J-V-2	J-V-2BS
$k_{eff}$		1.04464	1.04134	1.03147	1.02186
Perturbation cal. $\Delta k (\times 10^{-3})$		-3.88	-4.22	-4.93	-5.47
$T \frac{\Delta k}{dT} + C$	-0.0081 $\pm 0.001$	-0.00619 (0.764)	-0.00667 (0.823)	-0.00769 (0.949)	-0.00846 (1.044)
Direct cal. $\Delta k (\times 10^{-3})$		-3.87	-4.19	-4.87	-5.34
$T \frac{\Delta k}{dT} + C$	-0.0081 $\pm 0.001$	-0.00617 (0.762)	-0.00663 (0.819)	-0.00760 (0.938)	-0.00828 (1.022)

Table 13 Effective background scattering cross sections for  $^{238}\text{U}$  of the samples ( in barns )

NUO <sub>2</sub> Sample	$\sigma_0$	$1.35/(N\ell)$	$\sigma_0 + 1.35/(N\ell)$
JAERI	17.8	26.2	44.0
ANL	17.8	34.1	51.9

Table 14 Specification of calculational models A, B and C

Model	Sample	SUS buffer	Core
A	heterogeneous	no consider	homogeneous
B	heterogeneous	consider	homogeneous
C	heterogeneous	consider	heterogeneous

Table 15 Doppler effect in FCA-V-1 ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 ( 1 and 2 dimensional 1-st order perturbation  
 results calculated by using Model A )

	Exp	JFS-V-2		JFS-V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.99524	1.00206	0.99834	1.00559
300- 573	-4.66	-3.76 (0.807)	-3.64 (0.781)	-3.74 (0.803)	-3.58 (0.768)
300-823	-7.12	-5.92 (0.831)	-5.72 (0.803)	-5.89 (0.827)	-5.63 (0.791)
300-1073	-9.18	-7.44 (0.810)	-7.19 (0.784)	-7.41 (0.807)	-7.08 (0.771)

C/E values are presented in the parentheses

Table 16 Doppler effects in FCA-V-2 ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 ( 1 and 2-dimensional 1-st order perturbation  
 results calculated by using Model A )

	Exp	JFS-V-2		JFS-V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.99589	0.99040	0.99901	0.99336
300-1073	-10.65	-7.50 (0.704)	-7.68 (0.693)	-7.41 (0.696)	-7.52 (0.706)

C/E values are presented in the parentheses

Table 17 Doppler effects in FCA-V1-1 ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 (1 and 2-dimensional first order perturbation  
 results calculated by using Model A)

	Exp	JFS-V-2		JFS-V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.98896	0.99283	0.99384	0.99725
300- 623	-5.19	-4.96 (0.956)	-4.83 (0.931)	-4.87 (0.938)	-4.71 (0.908)
300- 823	-7.51	-7.02 (0.935)	-6.83 (0.909)	-6.90 (0.919)	-6.67 (0.888)
300-1073	-9.38	-9.01 (0.961)	-8.75 (0.932)	-8.85 (0.943)	-8.54 (0.910)

C/E values are presented in the parentheses

Table 18 Doppler effects in FCA-V1-2 ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 (1 and 2-dimensional 1-st order perturbation  
 results calculated by using Model A)

	Exp	JFS-V-2		JFS-V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.99475	0.99889	1.00035	1.00355
300- 823	-6.83	-6.20 (0.908)	-6.11 (0.895)	-6.08 (0.890)	-5.95 (0.871)
300-1073	-8.78	-8.02 (0.913)	-7.88 (0.897)	-7.86 (0.895)	-7.67 (0.874)

C/E values are presented in the parentheses

Table 19 Doppler effects in ZPR-3-47 ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 (1 and 2-dimensional 1-st order perturbation  
 results calculated by using Model A)

	Exp	JFS-V-2		JFS-V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.97396	0.96783	0.98249	0.97627
300- 500	-2.57	-2.31 (0.899)	-2.05 (0.798)	-2.41 (0.938)	-2.10 (0.817)
300- 800	-5.28	-4.75 (0.900)	-4.19 (0.794)	-4.96 (0.939)	-4.31 (0.816)
300-1100	-7.12	-6.49 (0.912)	-5.72 (0.803)	-6.79 (0.954)	-5.88 (0.826)

C/E values are presented in the parentheses

Table 20 Doppler effects in FCA-V-1 ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 (1 and 2-dimensional 1-st order perturbation results)

	Exp	Model B		Model C			
		J-F-S V-2		J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.99180	0.99852	0.99495	1.00187	0.99565	1.00240
300- 573	-4.66	-3.84 (0.824)	-3.78 (0.811)	-4.05 (0.869)	-4.08 (0.876)	-3.92 (0.841)	-4.00 (0.858)
300- 823	-7.12	-6.06 (0.851)	-5.98 (0.840)	-6.35 (0.892)	-6.42 (0.902)	-6.27 (0.881)	-6.30 (0.885)
300-1073	-9.18	-7.65 (0.833)	-7.54 (0.821)	-7.97 (0.868)	-8.07 (0.879)	-7.82 (0.852)	-7.94 (0.865)

C/E values are presented in the parentheses

Table 21 Doppler effects in FCA-V-2 ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
(1 and 2-dimensional 1-st order perturbation results)

	Exp	Model B		Model C			
		J-F-S V-2		J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.99350	0.98789	1.03104	1.01882	1.03117	1.01878
300-1073	-10.65	-7.75 (0.728)	-8.00 (0.751)	-7.80 (0.732)	-8.14 (0.764)	-7.60 (0.714)	-7.84 (0.736)

C/E values are presented in the parentheses

Table 22 Doppler effects in FCA-VI-1 ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
(1 and 2-dimensional 1-st order perturbation results)

	Exp	Model B		Model C			
		J-F-S V-2		J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.98766	0.99170	0.99284	0.99701	0.99465	0.99839
300- 623	-5.19	-5.13 (0.988)	-5.09 (0.981)	-5.24 (1.010)	-5.39 (1.039)	-5.19 (1.000)	-5.29 (1.019)
300- 823	-7.51	-7.28 (0.969)	-7.21 (0.960)	-7.49 (0.997)	-7.65 (1.019)	-7.34 (0.977)	-7.50 (0.999)
300-1073	-9.38	-9.35 (0.997)	-9.26 (0.987)	-9.61 (1.025)	-9.83 (1.048)	-9.41 (1.003)	-9.64 (1.028)

C/E values are presented in the parentheses

Table 23 Doppler effects in FCA-VI-2 ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
(1 and 2-dimensional 1-st order perturbation results)

	Exp	Model B		Model C			
		J-F-S V-2		J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.99439	0.99849	1.00104	1.00487	1.00326	1.00634
300- 823	-6.83	-6.44 (0.943)	-6.47 (0.947)	-6.80 (0.996)	-6.99 (1.023)	-6.70 (0.981)	-6.87 (1.006)
300-1073	-8.78	-8.34 (0.950)	-8.35 (0.951)	-8.80 (1.002)	-9.05 (1.031)	-8.70 (0.991)	-8.89 (1.013)

C/E values are presented in the parentheses

Table 24 Doppler effects in ZPPR-2 (normal) ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
(1 and 2-dimensional 1-st order perturbation results)

	Exp		Model B		Model C	
			J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
	rod	plate	1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff			1.00644	0.98208	1.03701	1.00995
300- 500	-2.11	-2.41	-2.60 (1.23)	-2.29 (1.085)	-2.80 (1.162)	-2.46 (1.021)
300- 800	-4.55	-4.93	-5.35 (1.175)	-4.73 (1.04)	-5.50 (1.116)	-4.89 (0.992)
300-1100	-6.00	-6.76	-7.35 (1.225)	-6.48 (1.08)	-7.70 (1.139)	-6.84 (1.012)

C/E values are presented in the parentheses

Table 25 Doppler effects in ZPPR-2 (Na-void) ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 (1 and 2-dimensional 1-st order perturbation results)

	Exp		Model B		Model C	
			J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
	rod	plate	1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff			1.01246	0.98437	1.03281	1.00230
300- 500	-1.546	-1.632	-1.73 (1.12)	-1.45 (0.937)	-1.80 (1.103)	-1.57 (0.962)
300- 800	-3.121	-3.296	-3.49 (1.12)	-2.94 (0.942)	-3.60 (1.092)	-3.07 (0.931)
300-1100	-4.536	-4.514	-4.73 (1.04)	-3.98 (0.877)	-4.90 (1.086)	-4.25 (0.942)

C/E values are presented in the parentheses

Table 26 Doppler effects in ZPPR-6-7 (H240) ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 (1 and 2-dimensional 1-st order perturbation  
 results calculated by using Model B)

	Exp	J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.99614	0.98412	1.00727	0.99502
297- 507	-3.416	-2.68 (0.785)	-2.82 (0.826)	-2.70 (0.790)	-2.78 (0.814)
297- 792	-6.800	-5.21 (0.766)	-5.49 (0.807)	-5.25 (0.772)	-5.42 (0.797)
297-1054	-9.413	-6.90 (0.733)	-7.26 (0.771)	-6.96 (0.739)	-7.18 (0.763)

C/E values are presented in the parentheses

Table 27 Doppler effects in ZPR-6-7 (H240) ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 ( 1 and 2-dimensional 1-st order perturbation results  
 calculated by using Model C )

	Exp	J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		1.01123	1.00160	1.02219	1.01224
297 - 507	-3.416	-3.30 (0.966)	-3.37 (0.987)	-3.30 (0.966)	-3.30 (0.966)
297 - 792	-6.800	-6.50 (0.956)	-6.62 (0.974)	-6.40 (0.941)	-6.49 (0.954)
297 - 1054	-9.413	-8.60 (0.914)	-8.82 (0.937)	-8.50 (0.903)	-8.66 (0.920)

C/E values are presented in the parentheses  
 $\% \Delta k/k = 1027 \text{ lh}$

Table 28 Doppler effects in ZPR-6-7 (REF.) ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 ( 1 and 2-dimensional 1-st order perturbation results  
 calculated by using Model B )

	Exp	J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		0.99345	0.98351	1.00473	0.99460
293 - 494	-3.154	-2.53 (0.802)	-2.69 (0.853)	-2.56 (0.812)	-2.66 (0.843)
293 - 771	-6.393	-4.99 (0.781)	-5.30 (0.829)	-5.04 (0.788)	-5.25 (0.821)
293 - 1075	-9.158	-6.92 (0.756)	-7.35 (0.803)	-7.00 (0.764)	-7.28 (0.795)

C/E values are presented in the parentheses  
 $\% \Delta k/k = 1033 \text{ lh}$



Table 29 Doppler effects in ZPR-6-7 (REF.) ( $\Delta k/k \times 10^6$ )  
 (1 and 2-dimensional 1-st order perturbation results calculated by using Model C)

	Exp	J-F-S V-2		J-F-S V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
Keff		1.00678	0.99700	1.01510	1.00511
293 - 494	-3.154	-3.00 (0.951)	-3.25 (1.030)	-3.10 (0.983)	-3.24 (1.027)
293 - 771	-6.393	-6.00 (0.939)	-6.46 (1.010)	-6.20 (0.970)	-6.46 (1.010)
293 - 1075	-9.158	-8.40 (0.917)	-9.02 (0.985)	-8.70 (0.950)	-9.02 (0.985)

C/E values are presented in the parentheses

Table 30 SUS buffer effect on Doppler effect  
 (The ratios of Doppler effects calculated with Model B to those calculated with Model A)

Assembly	T (°K)	JFS - V - 2	
		1 - dim	2 - dim
FCA-V-1	300 - 573	1.02	1.04
	300 - 823	1.02	1.05
	300 - 1073	1.03	1.05
FCA-V-2	300 - 1073	1.03	1.04
FCA-VI-1	300 - 623	1.03	1.05
	300 - 823	1.04	1.06
	300 - 1073	1.04	1.06
FCA-VI-2	300 - 823	1.04	1.06
	300 - 1073	1.04	1.06

Table 31 Core plate heterogeneity effect on Doppler reactivity worth  
 (The ratios of Doppler effects calculated with Model C to those  
 calculated with Model B)

Assembly	T (°k)	JVS-V-2		JFS-V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
FCA-V-1	300- 573	1.05	1.08		
	300- 823	1.05	1.07		
	300-1073	1.04	1.07		
FCA-V-2	300-1073	1.01	1.02		
FCA-V1-1	300- 623	1.02	1.06		
	300- 823	1.03	1.06		
	300-1073	1.03	1.06		
FCA-V1-2	300- 823	1.06	1.08		
	300-1073	1.06	1.08		
ZPPR-2 (normal)	300- 500		1.10		
	300- 800		1.11		
	300-1100		1.11		
ZPPR-2 (Na-void)	300- 500		1.11		
	300- 800		1.13		
	300-1100		1.13		
ZPR-6-7 (Ref)	293- 494	1.23	1.20	1.22	1.19
	293- 771	1.25	1.21	1.22	1.20
	293-1075	1.25	1.21	1.22	1.21
ZPR-6-7 (H240)	297- 507	1.19	1.21	1.21	1.22
	297- 792	1.20	1.22	1.23	1.23
	297-1054	1.21	1.23	1.24	1.24

Table 32 Comparison of natural UO<sub>2</sub> Doppler effect at different axial positions  
 in the normal plate core of ZPPR assembly 2  
 (2-dimensional R-Z 1-st order perturbation calculation)

Temperature (°K)	Doppler effect, $\Delta k/k \times 10^6$					
	Z = 12 inch up			Z = 24 inch up		
	Exp	Model-B	Model-C	Exp.	Model-B	Model-C
300 - 500	-1.52	-1.13 (0.74)	-1.36 (0.89)	-0.348	-0.190 (0.55)	-0.199 (0.57)
300 - 800	-3.39	-2.27 (0.67)	-2.81 (0.83)	-0.424	-0.365 (0.86)	-0.411 (0.97)
300 - 1100	-4.60	-3.10 (0.67)	-3.88 (0.84)	-0.635	-0.499 (0.76)	-0.557 (0.88)

Table 33 Comparison of natural UO<sub>2</sub> Doppler effect in the normal configuration of ZPPR assembly 3 phase 3 (Three dimensional perturbation calculation of 18 energy groups)

Temperature (°K)	Experiment	Doppler effect ( $\Delta k/k \times 10^6$ )					
		Calculation			Cal/Exp.		
		model 1	model 2	model 3	model 1	model 2	model 3
Position 1							
500	-1.004 ± 0.032	-0.894	-0.925	-1.009	0.89	0.92	1.00
650	-1.545 ± 0.033	-1.40	-1.475	-1.587	0.91	0.95	1.03
800	-1.928 ± 0.033	-1.82	-1.925	-2.065	0.94	1.00	1.07
950	-2.327 ± 0.033	-2.18	-2.30	-2.469	0.94	0.99	1.06
1100	-2.662 ± 0.032	-2.48	-2.60	-2.814	0.93	0.98	1.06
Position 2							
500	-1.690 ± 0.033	-1.352		(-1.526)	0.80		(0.90)
650	-2.633 ± 0.033	-2.138		(-2.424)	0.81		(0.92)
800	-3.485 ± 0.034	-2.786		(-3.161)	0.80		(0.91)
950	-4.157 ± 0.034	-3.341		(-3.784)	0.80		(0.91)
1100	-4.653 ± 0.034	-3.817		(-4.331)	0.82		(0.93)
Position 3							
500	-1.913 ± 0.032	-1.620		(-1.828)	0.85		(0.96)
650	-2.922 ± 0.034	-2.559		(-2.900)	0.88		(1.00)
800	-3.760 ± 0.034	-3.344		(-3.794)	0.89		(1.01)
950	-4.472 ± 0.035	-4.018		(-4.551)	0.90		(1.02)
1100	-5.097 ± 0.034	-4.595		(-5.214)	0.90		(1.02)

Positions are : 1) Adjacent to CR, 3) Adjacent to CRP and 2) Adjacent to midway between CR and CRP.

Parentheses show the values estimated from the results of the model 1 and model 3 of the position - 1.

%  $\Delta k/k = 1051.6$  1h

Table 34 Isotope or number density (  $\times 10^{24}$  at/cc ) for  
1-dimensional spherical model of SEFOR assembly

Region Isotope	1	2	3	4
Fe	1.3574-2	1.3886-2	5.8932-3	7.8587-3
Cr	3.9574-3	3.9511-3	2.8911-3	2.8913-3
Ni	2.0292-3	2.358 -3	3.0178-2	1.3315-3
Na	1.6615-2	6.8099-3	5.4493-3	1.307 -3
Be		3.6011-3	1.8327-5	
O		2.0991-2	1.2597-4	
Mo		1.1999-4	1.5605-5	
B-10		6.11 -5		5.7684-3
B-11		2.64 -4		2.31 -2
U-235		1.5374-5	1.1724-7	
U-238		6.9808-3	5.3438-5	
Pu-239		1.5901-3		
Pu-240		1.4355-4		
Al			2.233 -3	6.58 -3
C		7.677 -5		7.22 -3

Table 35 Atomic number densities ( $10^{24}$  at/cc) for 2-dimensional model of SEFOR assembly

Composition No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material									
U-235					1.78 E-6	1.585 E-5	1.585 E-5	7.482 E-6	1.78 E-6
U-238					8.1126E-4	7.197 E-3	7.197 E-3	3.3938E-3	8.1126E-4
Pu-239						1.6895E-3	1.6895E-3		
Pu-240							1.522 E-4		
Pu-241									
Fe		1.0894E-2	7.0745E-3	1.8373E-2	1.4172E-2	1.2837E-2	1.4151E-2	1.3567E-2	1.7529E-2
Cr		3.176 E-3	2.0624E-3	5.3564E-3	4.4759E-3	3.6373E-3	4.0151E-3	3.8493E-3	5.1711E-3
Ni		1.6285E-3	1.0575E-3	2.7465E-3	2.3799E-3	3.9552E-2	2.3604E-3	2.2629E-3	3.6597E-3
Be						2.3175E-4	2.684 E-3	3.7769E-3	3.247 E-4
O						1.866 E-3	2.070 E-2	2.1795E-2	1.0742E-2
Na		1.6615E-2	1.6615E-2	1.690 E-2	6.9576E-3	6.8099E-3	6.8099E-3	6.8099E-3	6.8702E-3
Mo						1.2014E-4	1.2436E-4	1.1915E-4	1.1916E-4
B-10						6.111 E-5	6.111 E-5	6.111 E-5	
B-11						2.46 E-4	2.46 E-4	2.46 E-4	
C						7.677 E-5	7.677 E-5	7.677 E-5	

Table 35 (Continued)

Composition No.	10	11	12	13	14	15
Material						
U-235						
U-238						
Pu-239						
Pu-240						
Pu-241						
Fe	1.8825E-2	1.7345E-2	9.474E-3	2.0489E-3	9.093E-3	7.0523E-3
Cr	5.9192E-3	5.314 E-3	2.762E-3	5.973 E-4	2.659E-3	2.2274E-3
Ni	3.1419E-3	3.8328E-3	1.416E-3	6.240 E-2	8.324E-3	1.1843E-3
Be						
O						
Na	1.3526E-2	1.4842E-2				
Mo	1.2872E-4					
B-10						6.804 E-3
B-11						2.7216E-2
C						8.5149E-3
Al				1.179E-2	2.1303E-3	

Table 36 Doppler effect calculated with 1-D spherical calculation model for SEFOR assembly I

	Exp.	JFS-V-2R	C/E
$k_{eff}$	1.00	1.02643	1.026
$T \frac{dk}{dT}$	1-D pert.	-0.0081±0.001	0.968
	$C_D$	-0.00065	
	Corrected	-0.00849	1.048

Table 37 Doppler effects in SEFOR of 2-dimensional R-Z model ( 1 and 2-dimensional 1-st order perturbation calculation for temperature variation 677-1365°K )

	Exp	JFS-V-2M		JFS-V-2		JFS-V-2R	
		1-dim	2-dim	1-dim	2-dim	1-dim	2-dim
$k_{eff}$	1.00	0.98756	0.99594	0.98857	0.99683	0.99395	1.00211
$\Delta k/k (\times 10^{-3})$		-6.12	-5.77	-6.28	-5.96	-6.31	-5.91
$T \frac{dK}{dT} + C_D (\times 10^{-2})$	-0.81±0.1 (-0.891±0.1)*	-0.939 (1.159)	-0.889 (1.098)	-0.961 (1.186)	-0.916 (1.131)	-0.966 (1.193)	-0.909 (1.122) (1.02) *

$C_D = -0.00065$  : Correction factor

C/E are presented in the parentheses

\* Recent value obtained from the modified  $\beta_{eff}$  in Ref (4)

Table 38 Doppler effect calculated with 70 group structure JFS for large sodium-cooled fast breeder reactor

		JFS-V-2		JFS-V-2M	
		Na-out	Na-in	Na-out	Na-in
1-dim	Keff	1.09494	1.06458	1.09411	1.06360
	300~1100°k	-1.140-2	-1.628-2	-1.13-2	1.625-2
	300~2200°k	-1.741-2	-2.559-2	-1.735-2	-2.568-2
2-dim	Keff	1.03676	1.01879	1.03596	1.01789
	300~1100°k	-9.928-3	-1.366-2	-9.760-3	-1.352-2
	300~2200°k	-1.50-2	-2.104-2	-1.477-2	-2.085-2

Table 39 Atomic compositions of Doppler sample NUO<sub>2</sub> and sample buffer  
(10<sup>24</sup> atoms/cc)

	JAERI		ANL	
	NUO <sub>2</sub>	Buffer	NUO <sub>2</sub>	Buffer
U-235	1.503 - 4		1.0 - 4	
U-238	2.0632-2		1.56-2	
O	4.156 - 2		3.14-2	
Cr		6.15 - 3		1.2385 - 2
Fe		2.239 - 2		4.7278 - 2
Ni		2.681 - 3		6.71 - 3
Al				7.58 - 4



Table 40 Group structure of 25 energy groups  
used for two dimensional calculation

25G.B	70G.B	Lower energy	
1	10	800	KeV
2	16	200	"
3	22	46.5	"
4	23	36.0	"
5	24	27.8	"
6	25	21.5	"
7	26	16.6	"
8	27	12.9	"
9	28	10.0	"
10	29	7.73	"
11	30	5.98	"
12	31	4.65	"
13	32	3.6	"
14	33	2.78	"
15	34	2.15	"
16	35	1.66	"
17	36	1.29	"
18	37	1.0	"
19	38	773	eV
20	39	598	eV
21	40	465	eV
22	43	215	"
23	49	46.5	"
24	55	10.0	"
25	70	0.215	eV

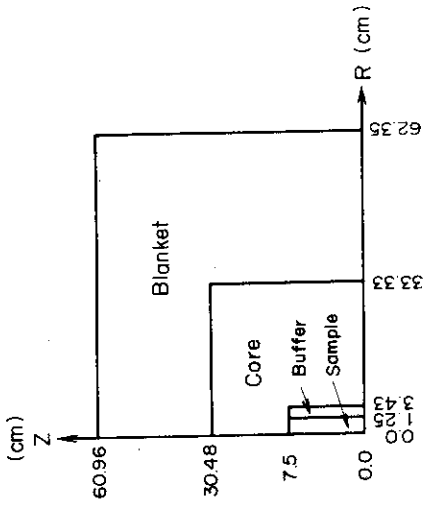


Fig. 3 Configuration of FCA VI assembly 1

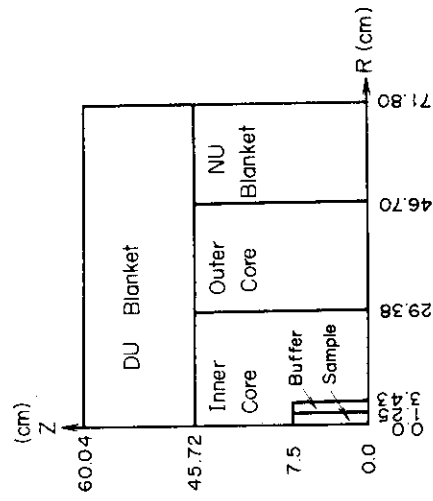


Fig. 4 Configuration of FCA VI assembly 2

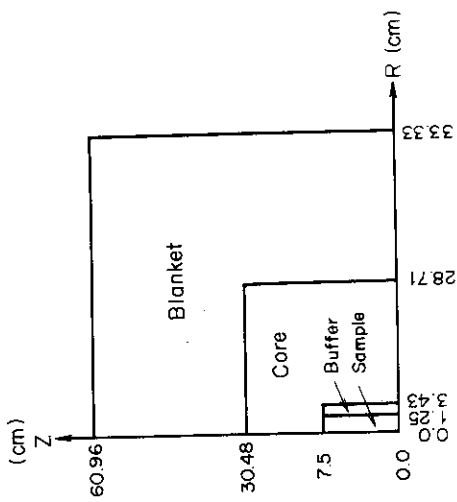


Fig. 1 Configuration of FCA V assembly 1

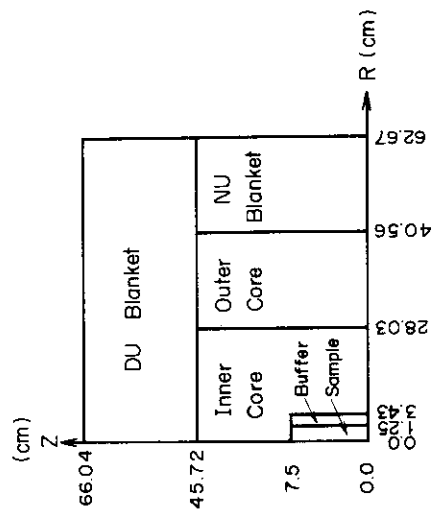


Fig. 2 Configuration of FCA V assembly 2

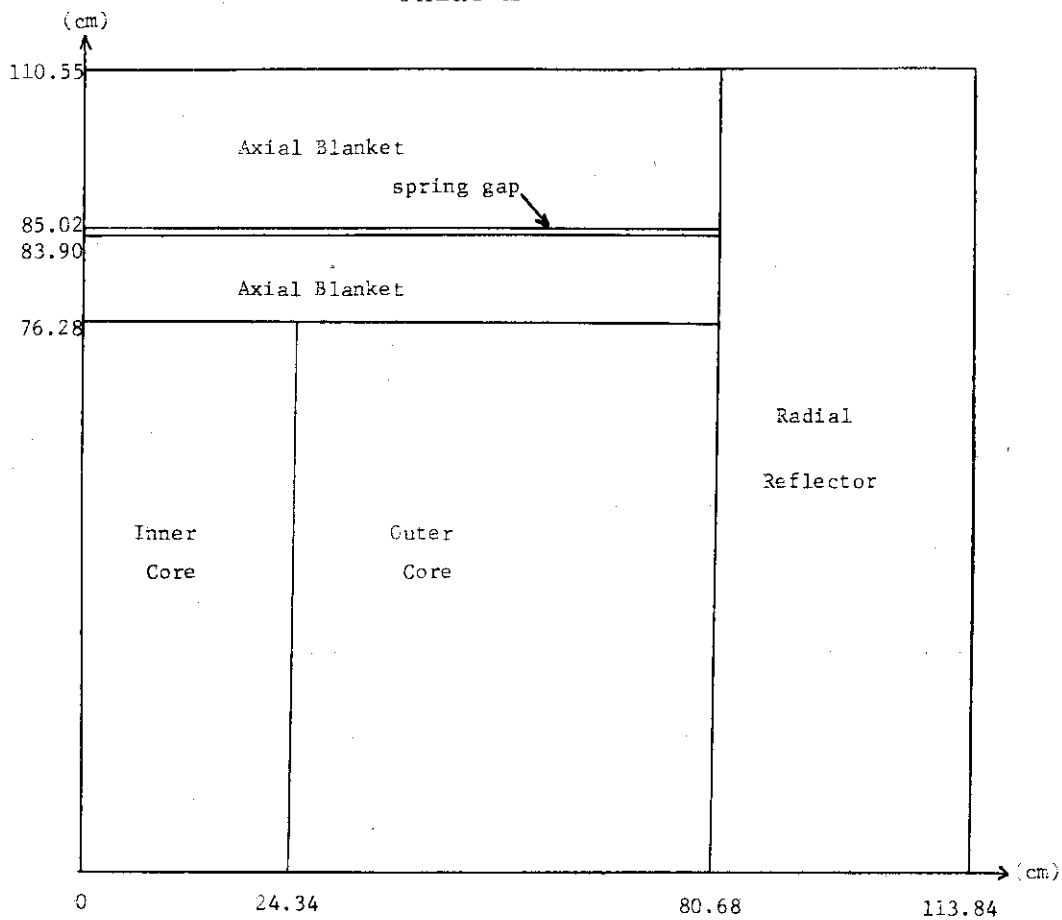


Fig. 5 Cylindrical model of ZPR-6 assembly 7 (Reference core)

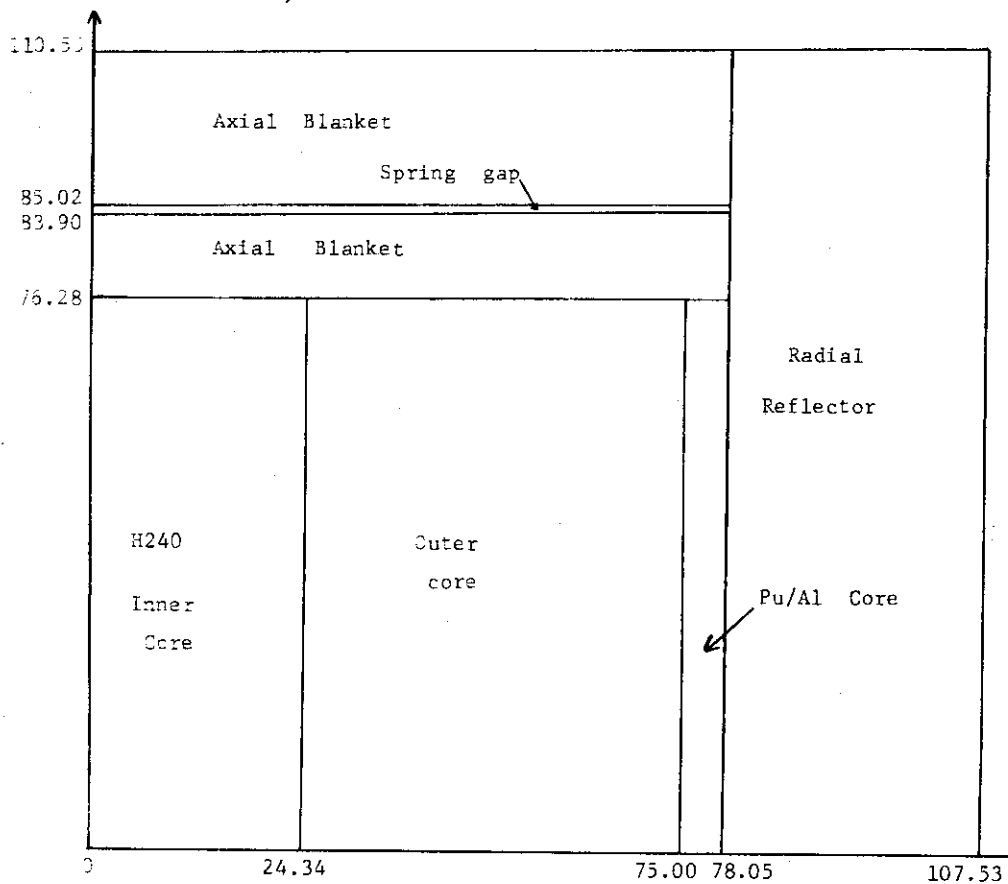


Fig. 6 Cylindrical model of ZPR-6 assembly 7 (High Pu-240 core)

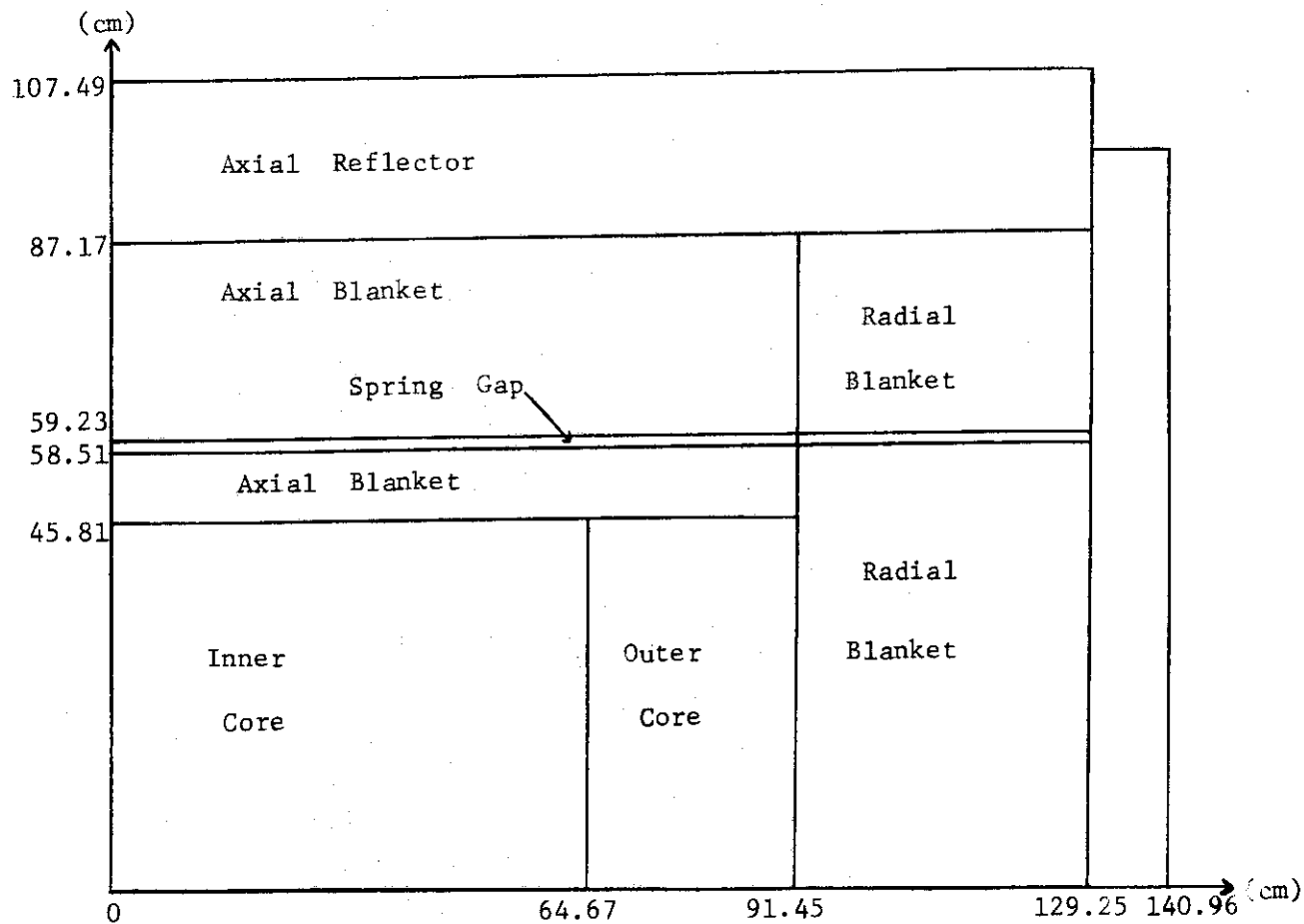


Fig. 7 ZPPR assembly 2 normal configuration (Loading No.90)

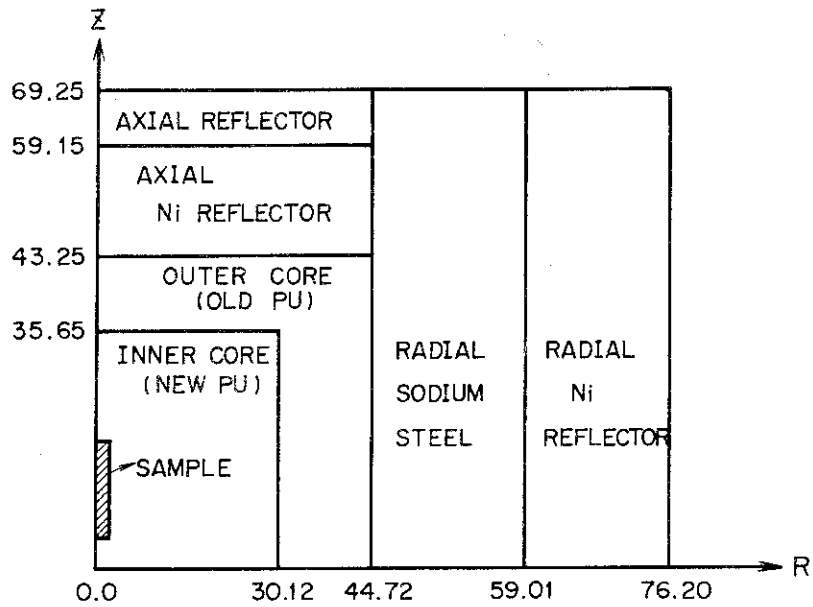


Fig. 8 R-Z calculation model of ZPR-3 assembly 47 (Ldg. No.15)

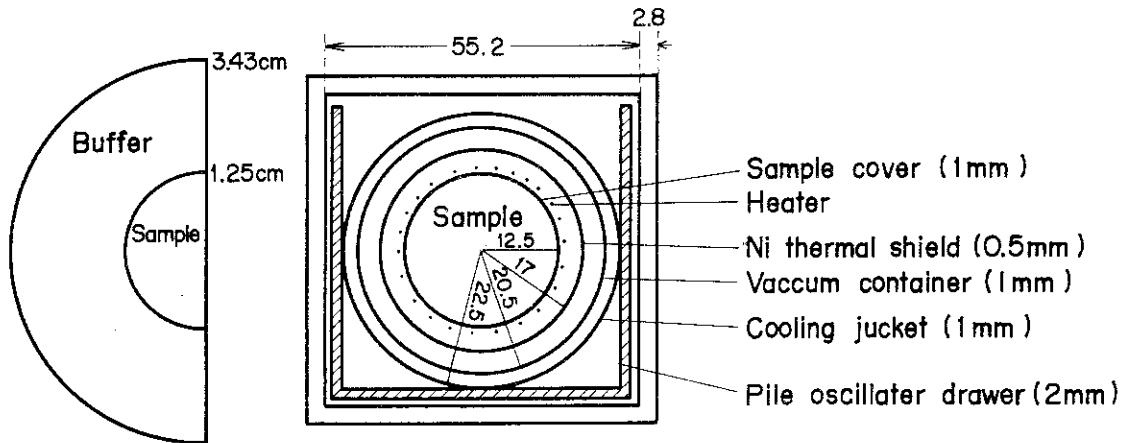


Fig. 9 Configuration of Doppler sample dramer

Plate cell model in FCA-V-1

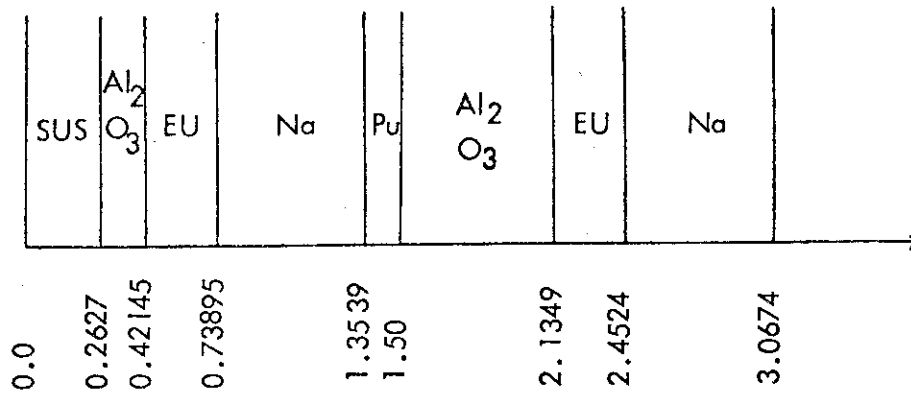
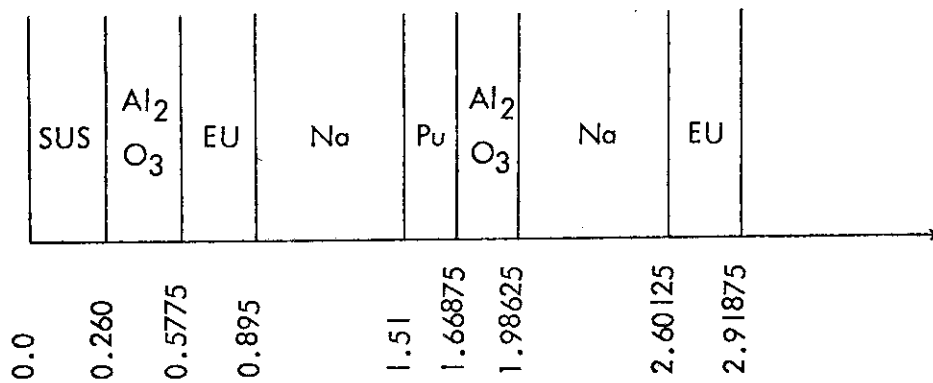


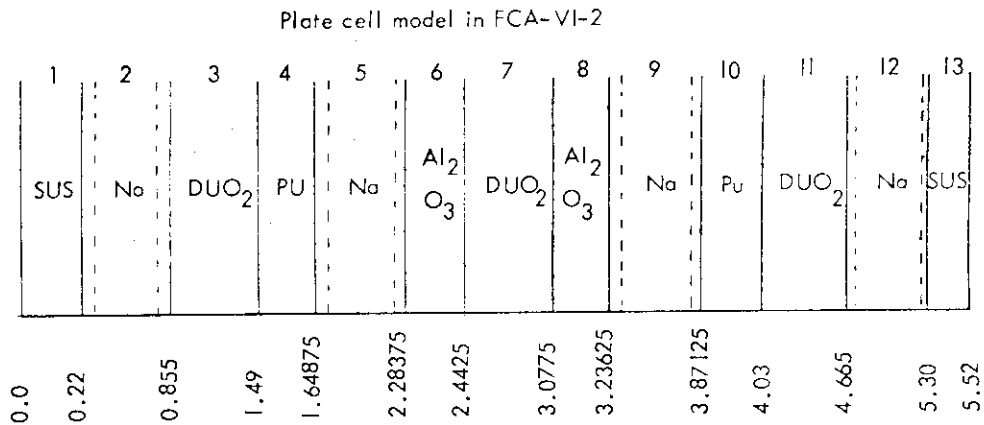
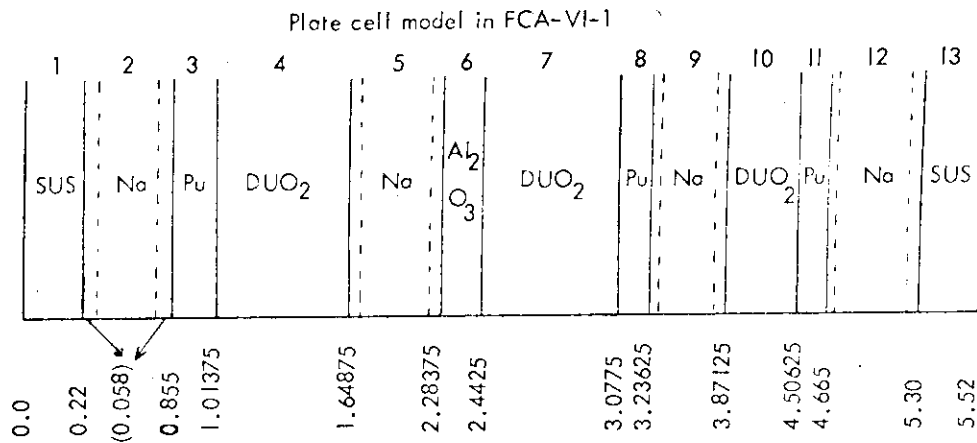
Plate cell model in FCA-V-2



Regionwise nuclide densities of plate cell ( $10^{22}/\text{cm}^3$ )

Region Nuclide	SUS	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EU	Na	Pu
Pu-239					1.9963
Pu-240					0.17823
U-235			0.85194		
U-238			3.3821		
O		5.7292			
Na				1.808	
Al		3.8476			
Cr	1.1219	0.08507	0.08507	0.3645	0.6173
Fe	3.8934	0.2952	0.2952	1.3385	2.2662
Ni	0.40889	0.03101	0.03101	0.2198	0.25839

Fig. 10 Plate cell models (cm) and regional nuclide densities in FCA V assemblies 1 and 2



Regionwise nuclide densities of plate cell ( $10^{22}/\text{cm}^3$ )

	SUS	Na-sample cover	Na	Na + cover	DUO <sub>2</sub>	Pu(92)	Pu(75)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	0.22	0.058	0.519	0.635	0.635	0.15875	0.15875	0.15875
Pu-239						1.81666	1.65734	
Pu-240						0.16017	0.58775	
Pu-241						0.01515	0.19703	
U-235					0.00413			
U-238					2.00322			
O					4.01470			5.86815
Na			2.0358	1.66391				
Al						0.26073	0.31940	3.91210
Cr	1.36670	1.43808	0.12675	0.3663	0.08223	0.56773	0.59999	0.08223
Fe	4.97584	5.33149	0.46462	1.35368	0.29937	2.10128	2.22099	0.29937
Ni	0.59577	0.68273	0.05709	0.17138	0.03584	0.26748	0.28287	0.03584

Fig. 11 Plate cell models (cm) and regional nuclide densities in FCA VI assemblies 1 and 2

Plate cell model in ZPR-6 assembly 7

0.22225	0.635	1.270	0.3175	0.635	0.3175	1.270	0.635	0.22225
SUS	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Na	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pu-U-Mo	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	SUS

Regionwise nuclide densities of plate cell ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )

	Inner Core				(UPPER MATRIX)		Outer Core	
SUS	25	8.75	E-4	9.927	E-4	8.75	E-4	
	24	1.0303	E-2	1.33711	E-2	1.0303	E-2	
	28	4.51	E-3	5.8269	E-3	4.51	E-3	
	26	3.5911	E-2	4.90428	E-2	3.5911	E-2	
	42	8.6	E-5	5.52	E-5	8.6	E-5	
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	8	4.17591	E-2			4.17591	E-2	
	925	3.33	E-5			3.33	E-5	
	926	8.0	E-7			8.0	E-7	
	928	1.563	E-2			1.563	E-2	
Na	25	9.93	E-5			1.031	E-4	
	24	1.3308	E-3			1.327	E-3	
	28	6.822	E-4			6.277	E-4	
	11	2.19957	E-2			4.7011	E-3	
	26	4.6853	E-3			2.17341	E-2	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	3.16387	E-2			3.6951	E-2	
	8	4.74709	E-2			5.54375	E-2	
Pu-U-Mo		(Ref.)		(H240)				
	25	2.325	E-4	3.177	E-4	2.263	E-4	
	24	2.7236	E-3	2.6479	E-3	2.6519	E-3	
	28	1.3641	E-3	1.3168	E-3	1.3288	E-3	
	26	9.4969	E-3	8.9288	E-3	9.2461	E-3	
	42	2.1296	E-3	2.0728	E-3	2.1449	E-3	
	949	8.3978	E-3	7.9251	E-3	8.4099	E-3	
	940	1.142	E-3	3.1047	E-3	1.1437	E-3	
	941	1.256	E-4	5.615	E-4	1.433	E-4	
	942	1.34	E-5	1.65	E-5	1.67	E-5	
	925	5.26	E-5	4.89	E-5	5.3	E-5	
	926	1.20	E-6	1.1	E-6	1.2	E-6	
	928	2.35161	E-2	2.16982	E-2	2.37198	E-2	

Fig. 12 Plate cell model (cm) and regional nuclide densities in ZPR 6 assembly 7



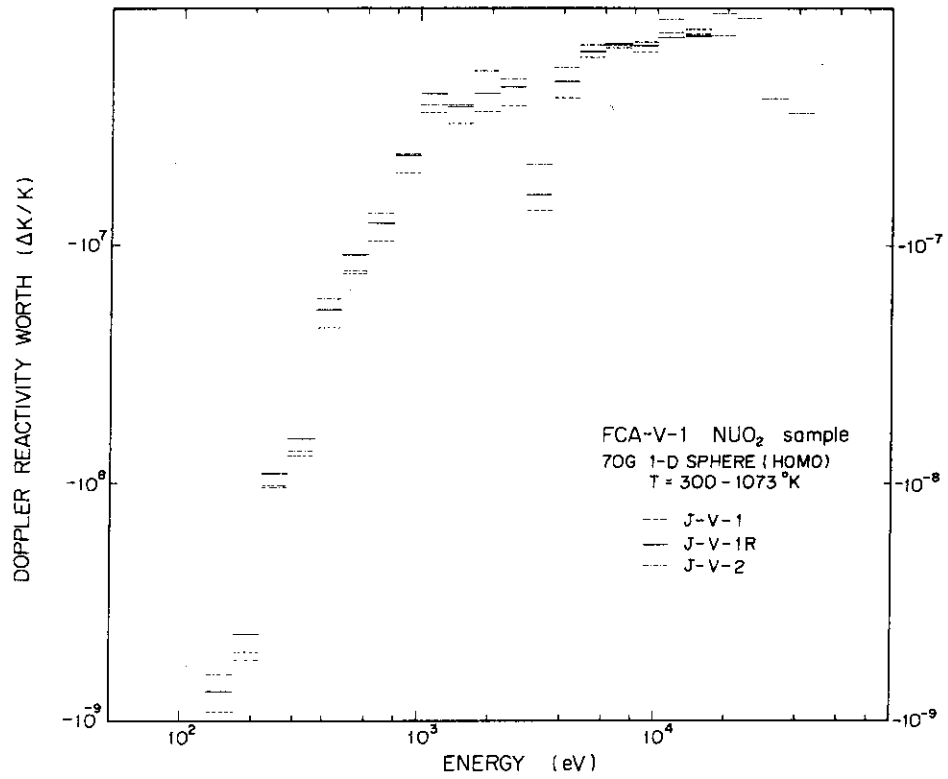


Fig. 13 Comparison of Doppler reactivity worths calculated with the JAERI-Fast Set Version I, IR and II for FCA-V-1

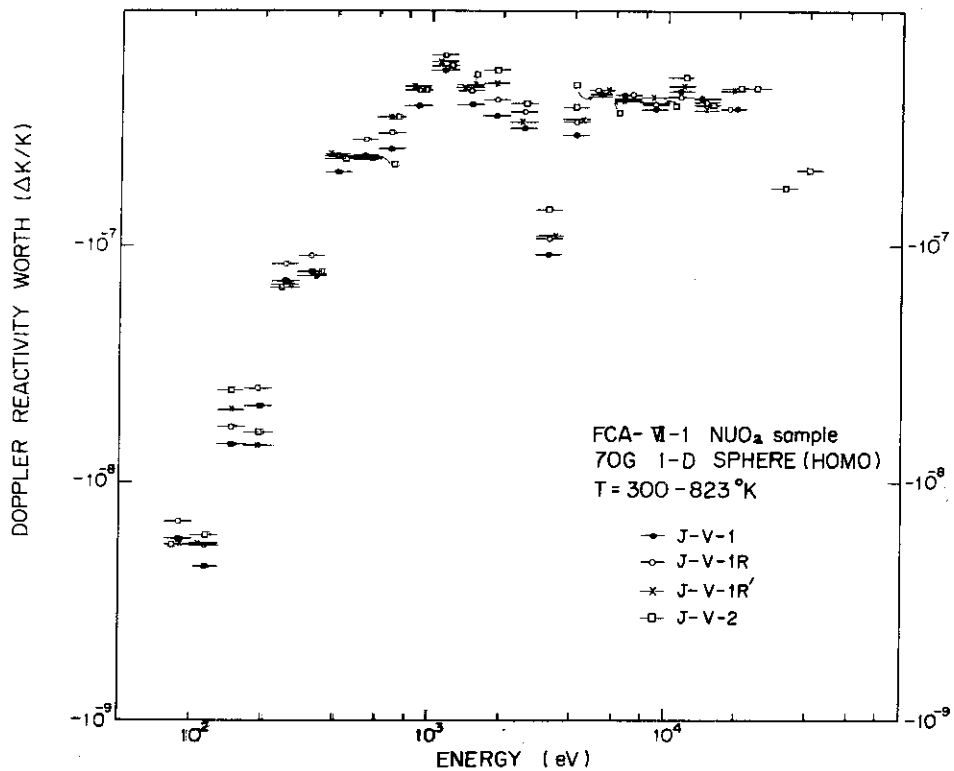


Fig. 14 Comparison of Doppler reactivity worths calculated with the JAERI-Fast Set Version I, IR, IR' and II for FCA-VI-1

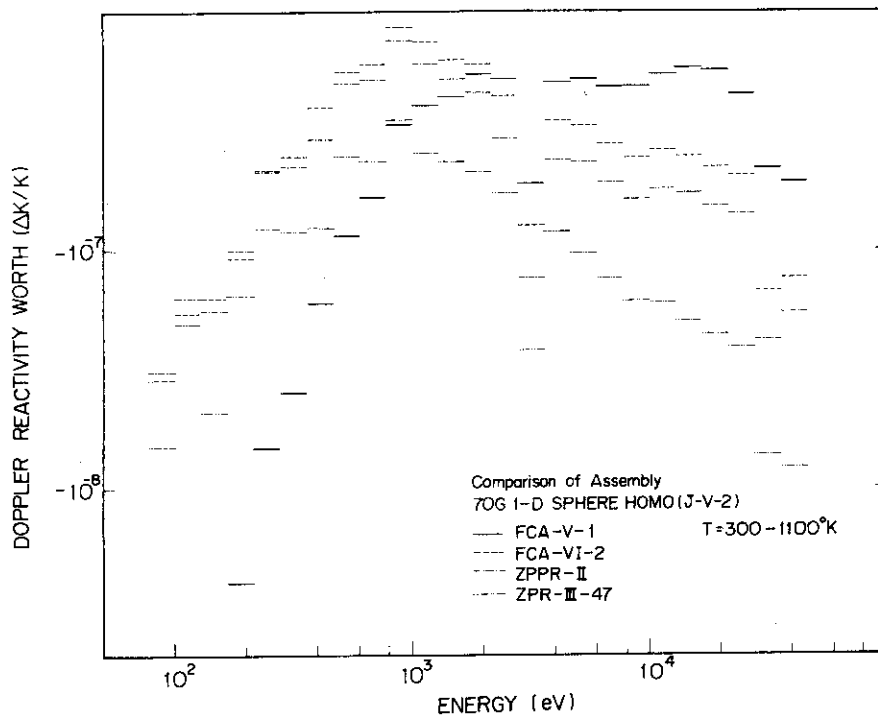


Fig. 15 Comparison of Doppler reactivity worths for the various assemblies FCA-V-1, VI-2, ZPPR-2 and ZPR-3-47

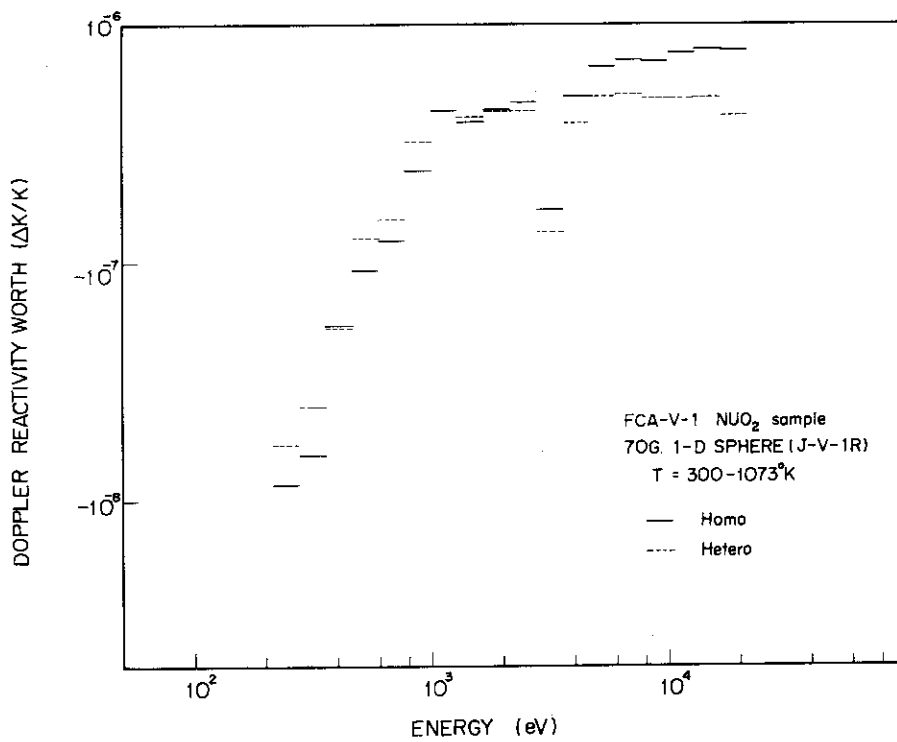


Fig. 16 Comparison of Doppler reactivity worths calculated with "Homo" and "Hetero" calculational models for FCA-V-1

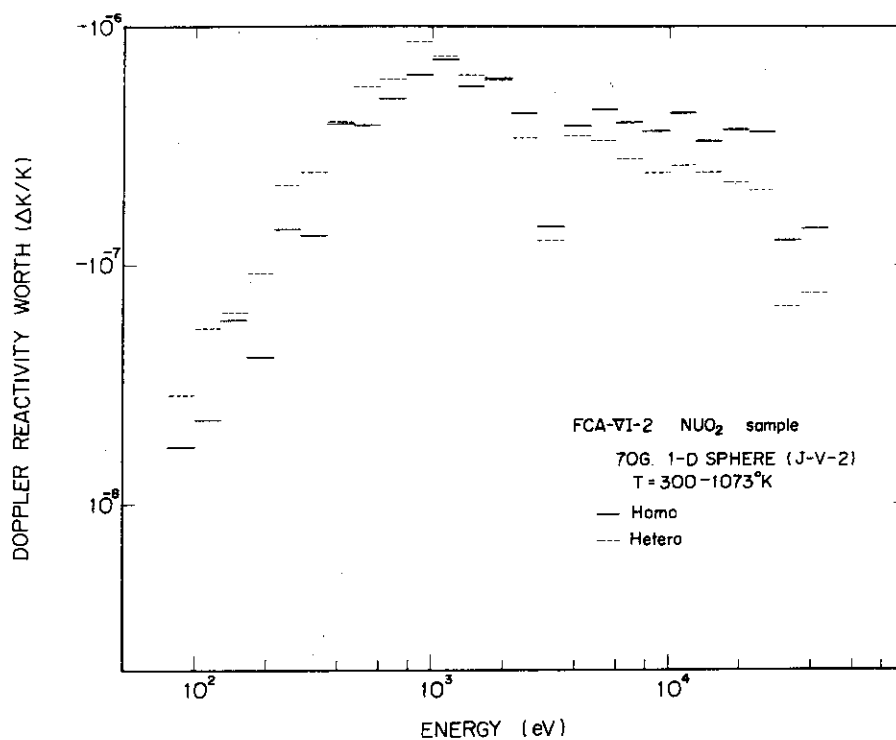


Fig. 17 Comparison of Doppler reactivity worths calculated with "Homo" and "Hetero" calculational models for FCA-VI-2

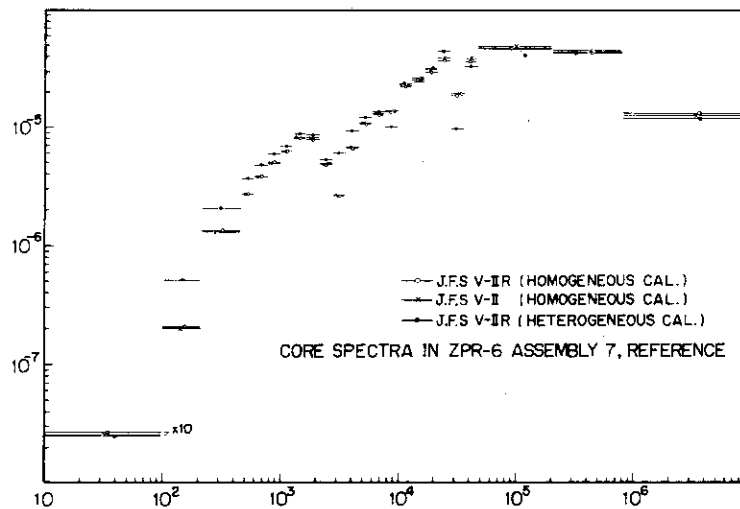


Fig. 18 Comparison of core spectrum in ZPR-6-7 (reference core)

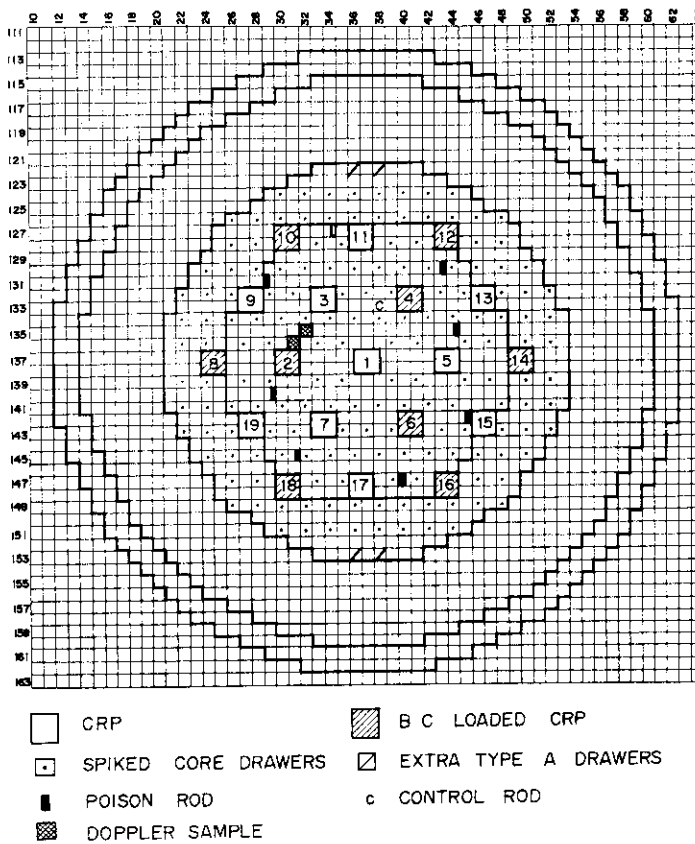


Fig. 19 Configuration of ZPPR-3 (phase 3)

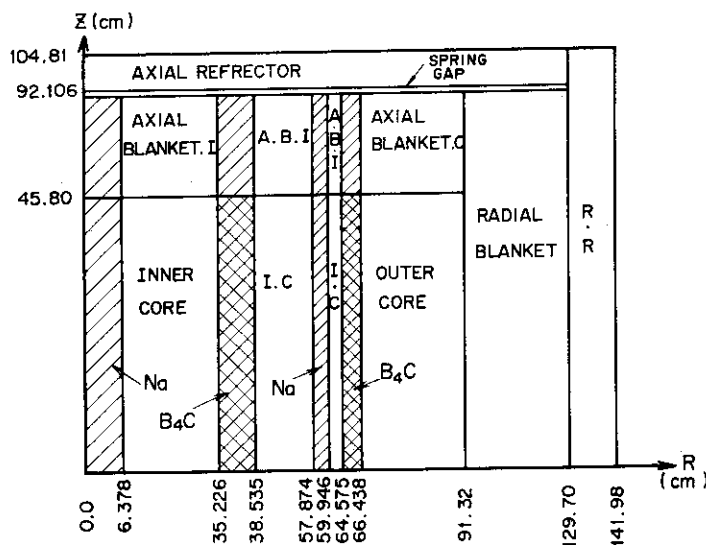


Fig. 20 R-Z model of ZPPR-3 (phase 3)

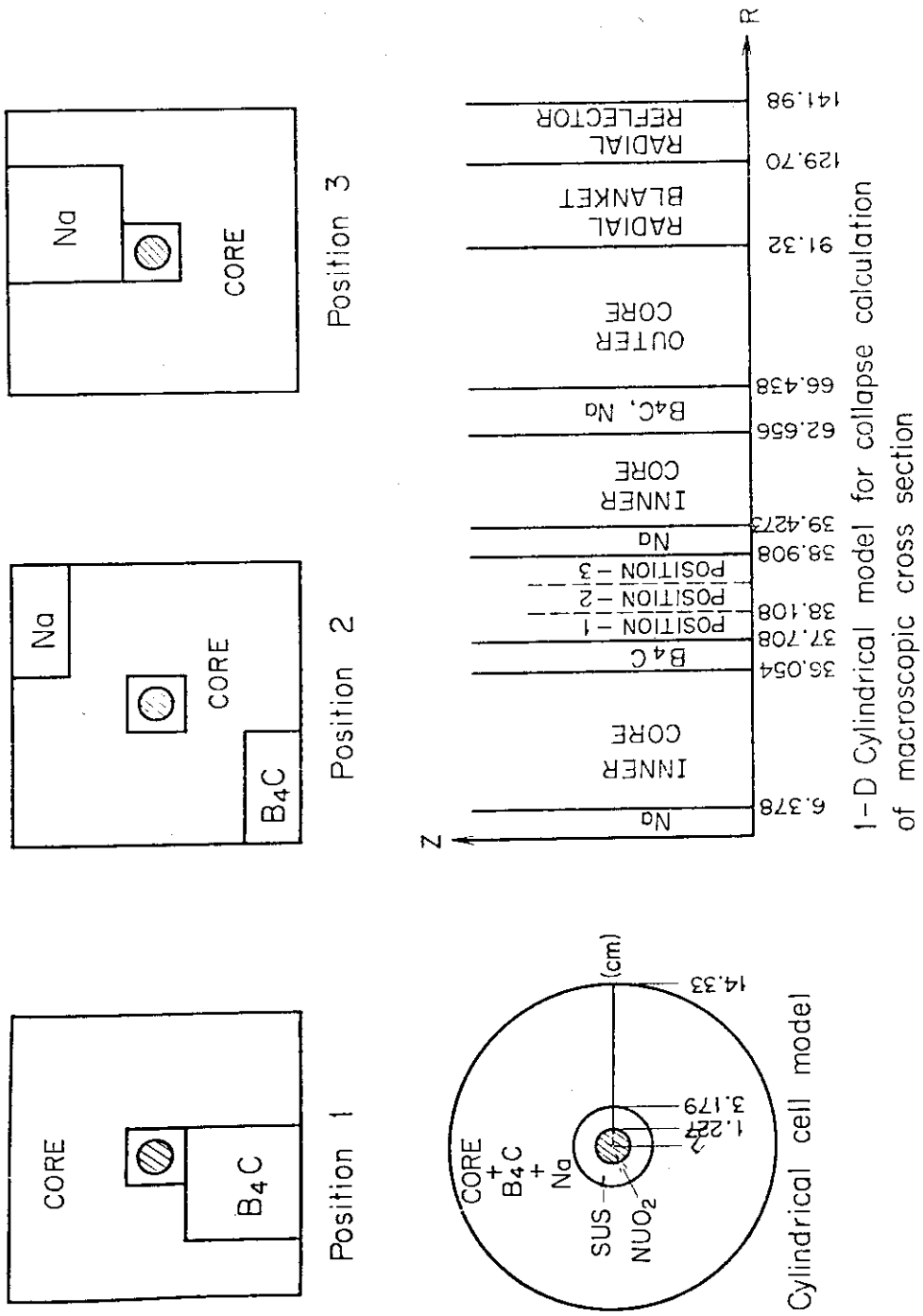


Fig. 21 Calculation model of cross section for UO<sub>2</sub> sample at each temperature

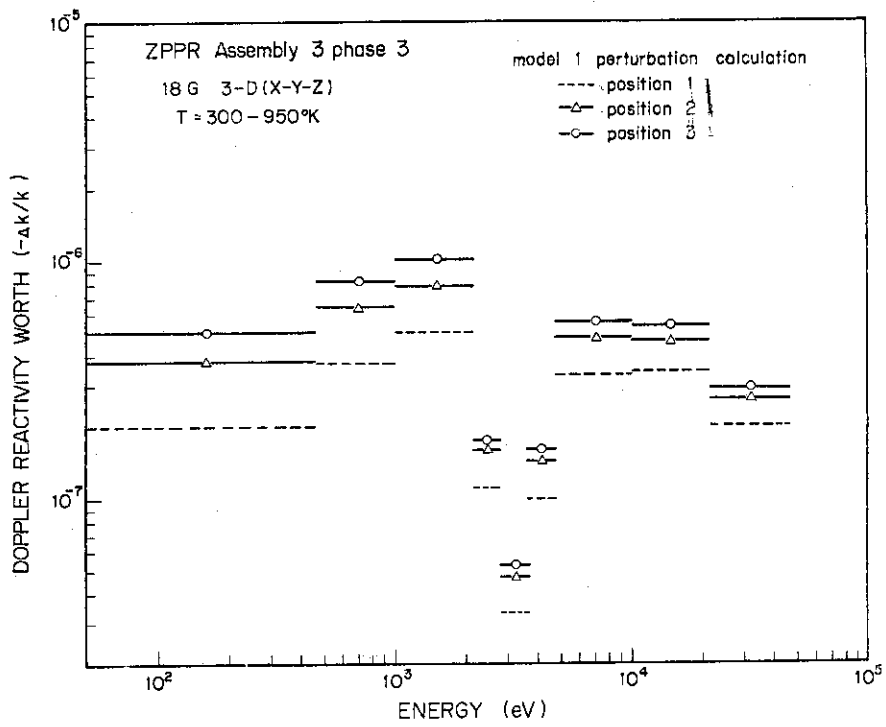


Fig. 22 Comparison of Doppler reactivity worths at three different positions

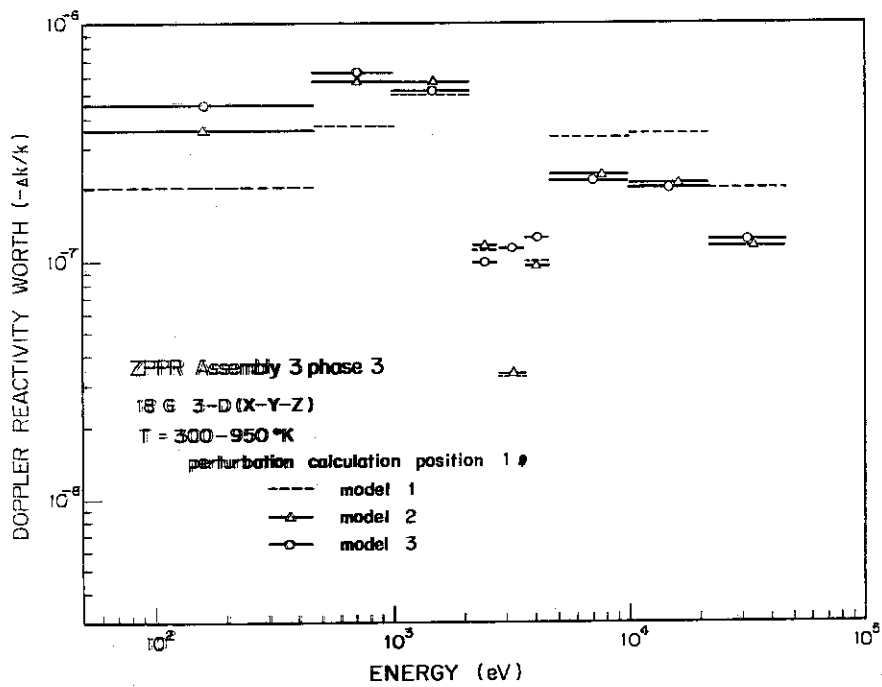
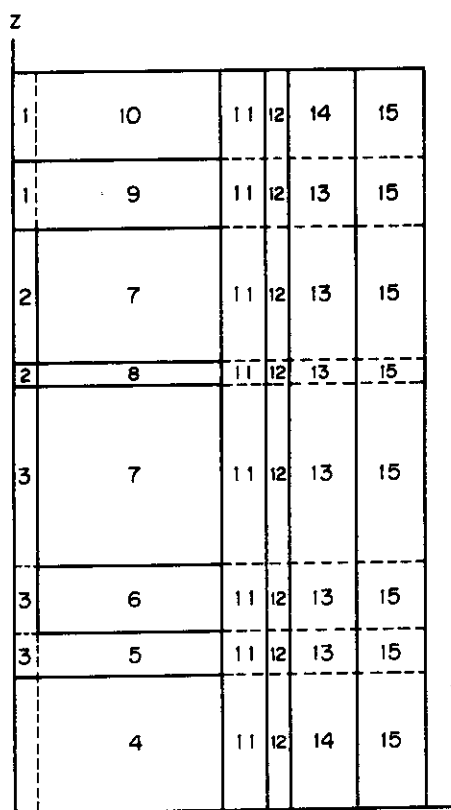


Fig. 23 Comparison of Doppler reactivity worths calculated with the calculational models 1, 2 and 3

C.R	Core Doppler Region	Blanket	Ref.	r
1	2	3	4	
10.688	49.75	79.185	92.666	cm
(4)	(24)	(40)	(46)	mesh

Fig. 24 One-dimensional spherical geometry for SEFOR assembly



6 -- lower core  
 7 -- core  
 8 -- gap

Fig. 25 Two-dimensional R-Z geometry for SEFOR assembly

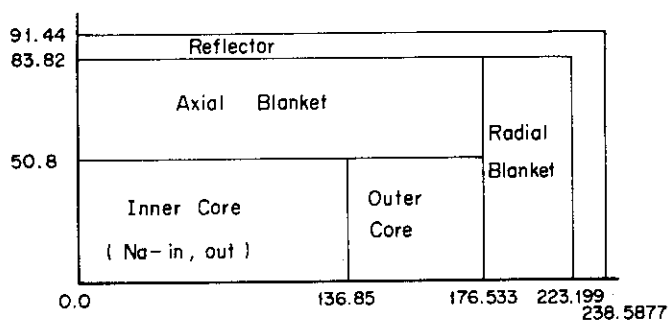


Fig. 26 Configuration of large fast breeder reactor

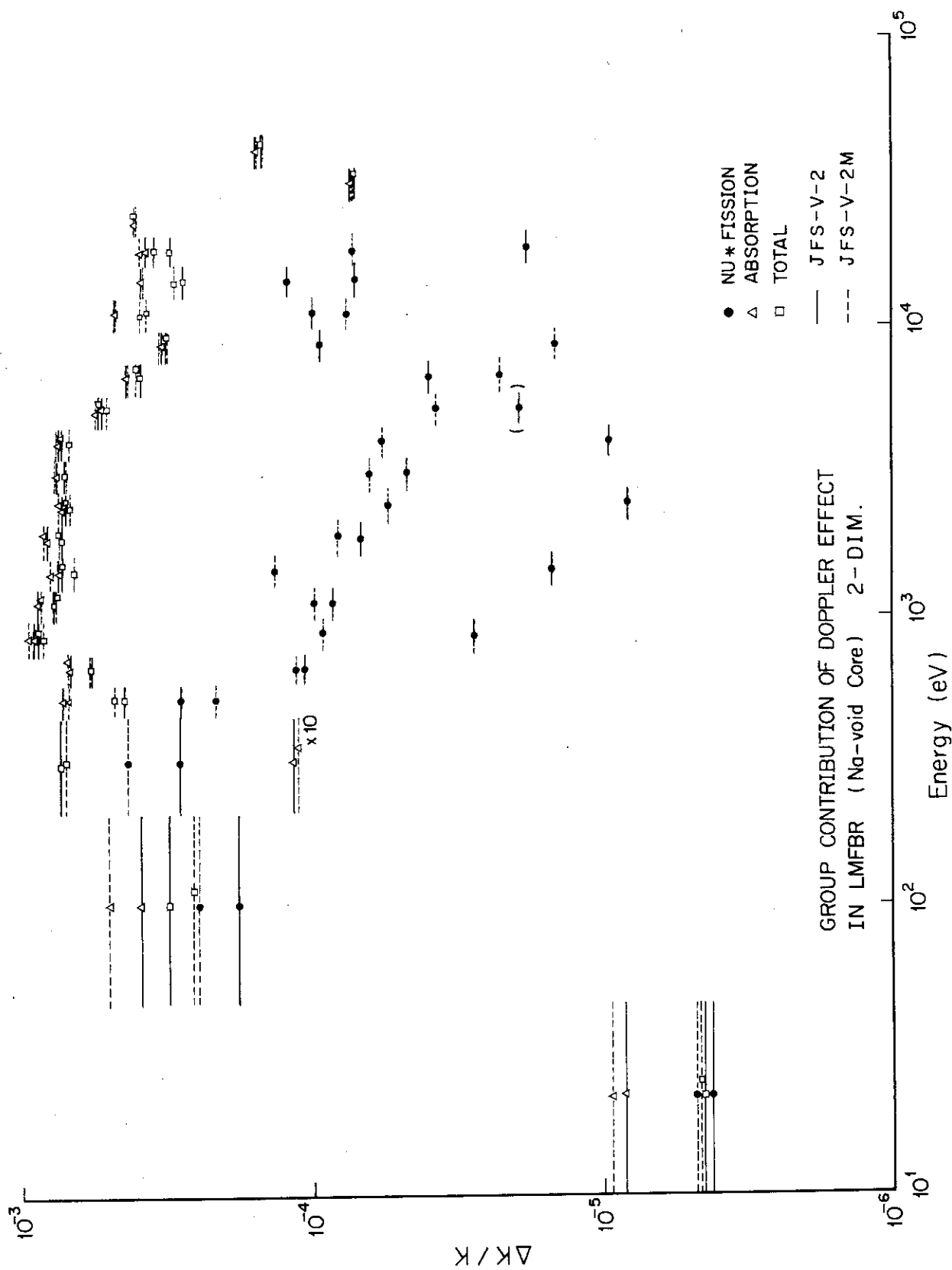


Fig. 27 Group contribution of Doppler effect in LMFBR



## 附録：DOPP 2D, 中心反応度値解析コードシステム

従来Doppler 効果の計算は

EXPANDA-70D	(1次元拡散・摂動)
CITATION	(2次元拡散)
CIPER	(2次元摂動)

の3つのコードを使って行ってきた。しかし、計算をする時に手間がかかること、更に次の様な不備な点がある。

- ① EXPANDAでのperturbationでperturbed regionのマクロ群定数のDISKへの書出しがない(CIPERで使用)。
- ② EXPANDAでのreference systemのマクロ群定数をカード又はDISKに残さなければならぬ(CITATION, CIPERで使用)。
- ③ CITATIONでの $\phi$ ,  $\phi^*$ をDISKに残さなければならぬ(CIPERで使用)。
- ④ 3つのコードのinput がそれぞれ分かれており、間違いを起しやすい。

この様な2次元以上の摂動計算での不備な点を補って3つのコードをシステム化したのがDOPP 2Dである。

①の問題に対しては、SUBROUTINE SPD2の中で、reference systemの $\phi$ で70群の定数を縮約できる様に修生をし、そのマクロ群定数をreference systemのマクロ群定数の後につけ加えた。②, ③の問題に対しては、各コードを連続的にすることでwork diskにおきかえられ、解決された。④の問題に対しては、3つのコードに対するinput を1つにまとめる様にした。

また、FCA-V-1, V-2, V1-1, VI-2, ZPR-6-7, ZPR-3-47, ZPPR-2 L-90, LMFBRの炉心についてのinput data は用意されており、JOB CONTROL CARDの1部を修正するだけで計算できる。TableAに示すJCLの中でFCA-V-1炉心のデータであるエレメント名FCA 51が矢印の所にあるが、それを他の炉心のデータを示すエレメント名に変更すればよい(TableB参照)。

また、上記とは違う炉心の解析を行なう時にはそれぞれのコードのマニュアルに従ってinput dataを作成し、このFD文のかわりに\$DATAにしその後input dataを挿入する。また、異なったlibraryで計算するにはアンダーラインを引いた部分を変更すればよい。

### ○ INPUT 構成

3つのコードのinput にそれぞれタイトルをつけて1つにまとめる。FCA-V-1での例をTableCに示す。

### EXPANDA-70Dでの連続ランについて

- ① PERTURBATIONも含む違った炉心について2case以上の時

# 102 のカードが 1 枚  
 # A ~ # S 5 の組            1 番目の炉心  
 # A ~ # S 5                    2 番目の炉心  
 # A ~ # S 5                    3 番目の炉心

## ② PERTURBATION での 2 case 以上の時

# 102 のカード  
 # A  
 # A 11  
 # 0 ~ # 9                    REFERENCE CASE  
 # 0 ~ # 9                    PERTURBED CASE  
 .  
 .  
 # 0 ~ # 9                    LAST PERTURBED CASE  
 # 103, S 1 ~ S 5

EXPANDA-70D で作成した DATA ( CITATION, CIPER で使用 )

- ① ISEC 8                    ( I 3 )  
 ISEC 8        :    SECTION CARD
- ② KMAX, IX 28 IX 29    ( 3 I 3 )  
 KMAX         :    energy group 数  
 IX 28        :    downscatter 数  
 IX 29        :    upscatter
- ③ M, K, SIG 1, SIG 2, SIG 3. ( 2 I 6, 3 E 125 )  
 M            :    zone number  
 K            :    group number  
 SIG 1        :    diffusion coefficient  
 SIG 2        :    absorption cross section  
 SIG 3        :    production cross section (  $\nu \Sigma f$  )
- ④ SIGS ( I ), I = 1, KMAX ( 6 E 125 )  
 SIGS ( I ) :    scattering cross section from group K ( above ) to each of the  
                  other groups 1 to KMAX
- ③と④を各zone, 各group 毎に書く。
- ⑤ BLANK                    ( A 4 )  
 blank card
- ⑥ CHI ( I ), I = 1, KMAX ( 6 E 125 )  
 CHI ( I )    : fission source distribution function
- ⑦ M 1, K, SIG 1, SIG 2, SIG 3 ( 2 I 6, 3 E 125 )  
 M 1         :    perturbed zone number

- K : group number
- SIG 1 : diffusion coefficient
- SIG 2 : absorption cross section
- SIG 3 : production cross section ( $\nu\Sigma_f$ )

⑧ SIGS ( I ) I = 1, KMAX ( 6E125 )

SIGS ( I ) : scattering cross section from group K ( above ) to each of the other groups 1 to KMAX

⑦⑧を各group 毎に書く。更に各perturbation case 毎に書く。

EXPANDA - 70D で使用するFILE

Logical number	Track 数	
2	350	SCRATCH
3	500	"
4	500	"
14	500	"
15	100	"
18	100	"
24		LIBRARY ( J . F . S )
27	100	SCRATCH
28	100	"
KL	100	REFERENCE と PERTURBED の巨視的断面積 を書き出す。(17のOPTION を参照)
30		
31		

EXPANDA - 70D 入力形式 ( JAERI -M 4953 )

- # 102 HEAD . ( 20A4 )  
このJOB のtitle ( 任意のalphanumeric character )
- #A NS , IFX , NP , IMX , ISKIPD , ISIGP , MPMIN , MPMAX , I7 , ITPE ( 10 I6 )
  - NS col 1~6
    - =0  $\Sigma' = N' \sigma$   
 $\sigma$  : unperturbed microscopic cross section
    - =0  $\Sigma' = N' \sigma'$   
 $\sigma'$  : perturbed microscopic section  
( 通常  $\approx 0$  )
  - IFX col 7~12
    - =1  $K_{eff}$  ,  $\phi$  ,  $\phi^*$  を計算する ( 通常 )
    - =2 " をlogical unit 14 のTape から読む

- =3 Keff,  $\phi$ ,  $\phi^*$ をcards から読む
- NP col 13~18  
 ≠0  $\phi$ ,  $\phi^*$ をpunch out する  
 =0  $\phi$ ,  $\phi^*$ を " しない(通常)
- IMX col 19~24  
 使用するlibrary に入っている定数等のgroup 数  
 IMX = IMAX (#1 card) でなければならない。
- ISKIPD col 25~30  
 =0 臨界計算コードとして計算を行なう  
 #1 ~ #9 card からなる lcase 毎に臨界計算を行う  
 =1 摂動計算コードとして計算を行う  
 #1 ~ #9 からなる最初のreference system のcase のみ臨界計算を行い、  
 その後のcase については摂動計算を行う。
- ISIGP col 31~36  
 DUMMY
- MPMIN col 37~42  
 effective microscopic cross section をprint する最初のgroup 番号  
 zero がset されるとcode 内でMPMIN = 70 とset しないおされprint は全てskip
- MPMAX col 43~48  
 上記print を終了するgroup の番号(必ず MPMAX ≥ MPMIN )  
 zero をset すると, MPMAX = 1 とset しないおされてprint は全てskip
- I7 col 49~54  
 ≥0 =0 punch out しない  
 =7 punch out  
 =1<sub>8</sub> logical unit 1or 8に出力する。  
 <0 次の5桁の数字によるoption 選択を行う  
 MIJKL :  
 M : 符号部(-)  
 I : 非均質計算( $1/\bar{N}$ )の補正項計算)option  
 J : 縮約巨視的断面積出力のformat の選択option  
 KL : 同上のoutput logical unit の定義
- I :  
 =0 非均質補正は行れない。  
 =1 非均質補正を行う。
- J :  
 =1 縮約巨視的断面積の出力format : CITATION  
 =2 " " : EXTERMINATOR -II

=3 縮約巨視的断面積の出力format : special option  
 KL :  $7 \leq KL \leq 99$ で、他にこのコードで使用中のSCRATCH FILE, D-ATA FILE とは重複しないlogical unit を割り当てる。

- ITPE col 55~60  
 =0 70群 library でLTFR801まで (version 1, 1R)  
 =10 " " LTFR901から (version 2)  
 =1 25群 " LDFR55 まで (version 1, 1R)  
 =11 " " LTFR91 から (version 2)

#A11 KHET, ELBAR, HETROA (I 6, 6X, 5E 125)

○KHET CIPER 用perturbed 巨視的断面積をoutput するregion  
 (Doppler sample のresonance shielding heterogeneity の補正を行なう領域)

○ELBAR  $1/(NT)$  の  $T$  : mean chord length.

○HETROA  $\sigma_0 = \sigma_0 + \frac{A}{(NT)}$  の  $A$

以下#0\* からS5 までJAERI-M 4953 と同じ

CITATION コード

INPUT は manual 参照 (ORNL-TM-2496)

SECTION - 001

CIPER まで流す時には NGC 6 = 0 にして F09 のFD 文をつける。

" " NGC 12 = 0 にして, SECTION - 040 もINPUT

SECTION - 008

EXPANDA -70D からのRUN の時はKMAX < 0 にしてF31 のFD 文をつける。

F31 にはEXPANDA -70D でこのSECTION と同じものが作られている。

CIPER コード (JAERI-M 6722)

#2 の48 カラムに次のオプションを追加

NRWD = 1 reference とperturbed macroscopic cross section が同じunit に入っている。

その他の入出力形式は文献と同じ。

Table A JCL of DOPP2D

75 (M7) LIBE 76.07.09 (V03 L-09) 77/03/09

ELEMENT LIST (8BIT MODE)

CC )) ESTABLISHED 77.02.24

```

*NO MA99.T.6C.4W.3P.0 JCL00010
*GJOB 1012031.TAKANO.H.431.01.SMF=CLS JCL00020
*HLIEDRUN J2031.PRE.SYSOUT=CLS JCL00030
*TPDISK F10.J2031.WR1.TMOD=9 JCL00040
*TPDISK F11.J2031.WR2.TMOD=9 JCL00050
*TPDISK F12.J2031.WR3.TMOD=9 JCL00060
*FD F05.001.FILE=(CATLG.J2031.PROGFILE(FCA51)) JCL00070
*HRUN EENAME=J2031.EXP7004K.SIZE=20.SYSOUT=CLS JCL00080
*DISKTO F24.J2031.LTF901BS JCL00090
*DISK F02.1350 JCL00100
*DISK F03.1500 JCL00110
*DISK F04.1500 JCL00120
*DISK F14.1500 JCL00130
*DISK F15 JCL00140
*DISK F18 JCL00150
*DISK F27 JCL00160
*DISK F28 JCL00170
*TPDISK F90.J2031.WORK.TMOD=9 JCL00180
*TPDISK F05.001.J2031.WR1 JCL00190
*HFORT SYSOUT=CLS JCL00200
COMMON / ARRAY / A(160000) JCL00210
100 MEMORY = 160000 JCL00220
CALL INPT(A, MEMORY) JCL00230
STOP JCL00240
END JCL00250
SUBROUTINE IDAY(DAY) JCL00260
REAL*8 DAY JCL00270
CALL DATE (DAY) JCL00280
RETURN JCL00290
END JCL00300
*PLIED RENAME=J0788.CIT23RBH.EDIT=YES.8=NCMAP.SIMPL=OVLY.RBSPC=350, /JCL00310
DIRCT=300.EBTRK=250.SYSOUT=CLS JCL00320
SGMT FTMAIN JCL00330
SELECT (FTMAIN,INPT,GRIT,RWED,CALR,ICLOCK,ITIME,MODEL,TITET,RSET,IDAY, JCL00340
) JCL00350
SGMT A1,ALPHA JCL00360
SELECT (IPTM) JCL00370
SGMT B1 JCL00380
SELECT (OPT1,GETC,GETE,CSTC,CRDR,UPDT,RONE,RALL,COPY,WALL, JCL00390
WART,RAEN,SNSN,ORDE,PUNS,DTEP,FLTF) JCL00400
SGMT B2,CHN=A1 JCL00410
SELECT (SETY,CNTR,HIST,GEOM,LVMX,MESH,COMP,CMOT,KOMP,KMOT,OVER,MACR, JCL00420
SSET,KXNX,KSIG,TAPE) JCL00430
SGMT B3,CHN=A1 JCL00440
SELECT (CLAS,DENS,BKLE,FXSO,BEER,SRCH,RODI,DCAY,YELD,CHAN,IPRT,DYPD, JCL00450
TAPX,NSRT,CNIO,BNSB,CPNC,DISK,SIZE,RSTR,TRAN,SHCX,WIO3, JCL00460
IMXS,MYSH,RODO,KRST) JCL00470
SGMT B4,CHN=A1 JCL00480
SELECT (GEDT,GRIV,GNTL,GION,FMIP,PLIN,PUTA,JUNK, JCL00490
SHUF,SHIN,STSH,CHCK,CSRT,MBST,STFM) JCL00500
SGMT A2,ALPHA JCL00510
SELECT (EIGN,BIGS,XSET,EXTR,CYCR,GINS,ITED,UDTE,SSZU) JCL00520

```

各アセンブリのコメント

JFSライブラリー

75 (47)

LIBE 76.07.09 (V03 L-09)

77/03/09

LEMENT LIST (8BIT MODE)

SGMT	BB1	JCL00530
SELECT	(WFCC,WFAC,STVR,YNAM,WNSS,RNSS,HOWE,INF,KNFX,RUDX)	JCL00540
SGMT	BB2,CHN=A2	JCL00550
SELECT	(FLUX,DNSD,ABPR,LOOP,FINS)	JCL00560
SGMT	C1	JCL00570
SELECT	(CNST)	JCL00580
SGMT	C2,CHN=BB2	JCL00590
SELECT	(BEGN,ROUE)	JCL00600
SGMT	C3,CHN=BB2	JCL00610
SELECT	(FWRD,FXRD)	JCL00620
SGMT	C4,CHN=BB2	JCL00630
SELECT	(DPER)	JCL00640
SGMT	C5,CHN=BB2	JCL00650
SELECT	(HWRD,HARD)	JCL00660
SGMT	C6,CHN=BB2	JCL00670
SELECT	(WFLX)	JCL00680
SGMT	C7,CHN=BB2	JCL00690
SELECT	(FTRJ)	JCL00700
SGMT	BB3,CHN=A2	JCL00710
SELECT	(KLUX,KNSD,KBPR,KOOP,KINS)	JCL00720
SGMT	CC1	JCL00730
SELECT	(KNST)	JCL00740
SGMT	CC2,CHN=BB3	JCL00750
SELECT	(KEGN,KDUE)	JCL00760
SGMT	CC3,CHN=BB3	JCL00770
SELECT	(KWRD,KXRD,KZRD)	JCL00780
SGMT	CC4,CHN=BB3	JCL00790
SELECT	(KPER)	JCL00800
SGMT	CC5,CHN=BB3	JCL00810
SELECT	(MWRD)	JCL00820
SGMT	CC6,CHN=BB3	JCL00830
SELECT	(KTRI)	JCL00840
SGMT	BB4,CHN=A2	JCL00850
SELECT	(NMBL,NSTR,DISH,DIRT,FASP,DASH,KASH,DCOA,KRAN,CRSH,MASH)	JCL00860
SGMT	A3,ALPHA	JCL00870
SELECT	(OUTC,POUT,KOUT)	JCL00880
SGMT	BBB1,CHN=A3	JCL00890
SELECT	(PDWT,KDWT,HEAT,PTAB,KTAB,KUDN,DTOR,EDIN,TABL,DLOP,RETR,NUDN, DNFC,CMXS)	JCL00900
SGMT	BBB2,CHN=A3	JCL00910
SELECT	(PERT,PIOS,TCOF,PURT,KOKN,BEFF,VMAP,NMAP,RFLX)	JCL00920
SGMT	A4,ALPHA	JCL00930
SELECT	(TSCI,BURN,CYED,NUCY)	JCL00940
SGMT	A5,ALPHA	JCL00950
SELECT	(MEDT,DRIV,XION,INTL,IFCE,RADE,IFVX,ODER, MINGE,WCNC,ACCT,SECO,CONT,CFNT,DPOT,LRCY,LRTR,GETV,KI02,DCAX, MANG,I120,SADD,CORT,MBED,INCO,EQTS,I2T4)	JCL00960
FIN		JCL00970
*HRUN	SIZE=20,NAME=2,SYSDUT=CLS	JCL00980
*DISK	F01	JCL00990
*DISK	F02	JCL01000
*DISK	F03	JCL01010
*LIBEDISK	F09,J2031,FLUX	JCL01020
*DISK	F10	JCL01030
		JCL01040
		JCL01050
		JCL01060

.75 (M7)

L I B E 76.07.09 ( V03 L-09 )

77/03/09

## ELEMENT LIST (8BIT MODE)

*DISK F11	JCL01070
*DISK F14	JCL01080
*DISK F15	JCL01090
*DISK F16	JCL01100
*DISK F17	JCL01110
*DISK F18,,200	JCL01120
*DISK F19,,500	JCL01130
*DISK F20,,200	JCL01140
*DISK F22,,200	JCL01150
*DISK F26,,200	JCL01160
*DISK F28,,200	JCL01170
*DISK F30,,200	JCL01180
*TPDISK F31,J2031.WORK	JCL01190
*DISK F32,,200	JCL01200
*DISK F33	JCL01210
*DISK F34	JCL01220
*PRTFD F51	JCL01230
*TPDISK F05,001,J2031.WR2	JCL01240
*HLIEDRUN J2030.CIPER,NAME=A1,SYSOUT=CLS	JCL01250
*TPDISK F01,J2031.WORK	JCL01260
*DISK F08	JCL01270
*DISK F09	JCL01280
*LIBEDISK F10,J2031,FLUX	JCL01290
*TPDISK F05,001,J2031.WR3	JCL01300
*JEND	JCL01310



Table B Element names

J2031.PROGFILE	element	name	
FCA51	---	FCA-V-1	
FCA51S	---	FCA-V-1	sample + SUS
FCA52	---	FCA-V-2	
FCA52S	---	FCA-V-2	sample + SUS
FCA61	---	FCA-VI-1	
FCA61S	---	FCA-VI-1	sample + SUS
FCA62	---	FCA-VI-2	
FCA62S	---	FCA-VI-2	sample + SUS
ZPPR2 N	---	ZPPR-2 ( normal )	
ZPPR2NS	---	ZPPR-2 ( normal )	sample + SUS
ZPPR2V	---	ZPPR-2 ( Na-void )	
ZPPR2VS	---	ZPPR-2 ( Na-void )	sample + SUS
ZPR67R	---	ZPR-6-7 ( REF. )	
ZPR67RS	---	ZPR-6-7 ( REF. )	sample + SUS
ZPR67H	---	ZPR-6-7 ( H240 )	
ZPR67HS	---	ZPR-6-7 ( H240 )	sample + SUS
ZPR347	---	ZPR-3-47	
SEFOR	---	SEFOR	
LMFBRI	---	LMFBR ( Na-in )	
LMFBRV	---	LMFBR ( Na-void )	

Table C Example of input data for FCAV-1

FACOM 230-75 (M7)

LIBE 76.07.09 (V03 L-09)

77/03/09

PAGE-0002

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((FCA51 )) ESTABLISHED 77.02.23

9411V →

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-V-1,V-2,VI-1,VI-2

1 1 0 70 1 -1190 10

1 2.5 1.35

0 10191234568 5 CASE NO.1 \*\*\*FCA-V-1 REFERENCE\*\*\* NUO=2 300 K 3

1 3 1 70 0 -1 29 0 2 1 -1 0 251.0 -51.0 -4 0. 0. 1.0

2 3 11 5

3 10 50 80

4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1

4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 49 55 2

4 70 3

50.26 0.75 1.0

6 300.0 300. 300. 2.0632 -2 8 4.156 -2

8925 1.503 -4928 9.4270001-5941 1.124 -5925 1.96 -3928 7.7812 -321

8949 1.0446 -3940 6.0431 -3 13 1.1065 -2 24 3.0535 -3 26 1.09705 -222

6 6 1.64758 -2 11 6.0431 -3 13 1.1065 -2 24 3.0535 -3 26 1.09705 -222

8 28 1.4275 -3

8925 2.891 -4928 3.989 -2 24 1.627 -3 26 6.652 -3 28 7.964 -431

0 1019b CASE NO.2 \*\*\*NAT UO-2 T=573.0 K \*\*\*

6 573.0 300.0 300.0

0 1019b CASE NO.3 \*\*\*NAT UO-2 T=823.0 K \*\*\*

6 823.0 300.0 300.0

0 1019b CASE NO.4 \*\*\* NAT UO-2 T=1073.0 K \*\*\*

6 1073.0 300.0 300.0

1

9411V →

CITATION

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECT IN FCA V-1 (R,Z) GEOMETRY 40X45 MESH

001

1 1 1 1

1 1 1 1

003

2 7 1 1

1.0 E+20 1.0

004

3 1.25 25 27.46 12 28.8

10 7.5 20 22.98 15 30.48

005

1 2 3

2 2 3

3 3 3

008

-10

040

999

FACOM 230-75 (M7)

LIBE 76.07.09 (V03 L-09)

77/03/09

PAGE-0003

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

9411V →

CIPER

FCA-V-1 DOPPLER EFFECT 1 1

2 25 3

1 0 1 0

004

3 1.25 25 27.46 12 28.8

10 7.5 20 22.98 15 30.48

005

1 2 3

2 2 3

3 3 3

FCA-V-1 DOPPLER EFFECT 573.0 K

1 1 1

1 1 3 1 10

FCA-V-1 DOPPLER EFFECT 823.0 K

1 1 1

1 1 3 1 10

FCA-V-1 DOPPLER EFFECT 1073.0 K

1 1 1

1 1 3 1 10

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((FCA51S )) ESTABLISHED 77.03.03

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-V-1

```

1 1 0 70 1 -1190 10
1 1 2.5 1.35
0 10191234568 6 1.35 CASE NO.1 ***FCA-V-1 REFERENCE*** NUO=2 300 K 3
1 4 1 70 0 -1 29 0 2 1 -1 0 251.0 -51.0 -4 0. 0. 1.0
2 3 3 11 5
3 10 14 50 80
4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1
4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 49 55 2
4 70 3
50.26 0.625 0.76391.0
6 300.0 300. 300. 300.
8925 1.503 -4928 2.0632 -2 8 4.156 -2 11
8 24 6.15 -3 26 2.239 -2 28 2.681 -3 21
3947 1.0446 -3940 9.4270001-5941 1.124 -5925 1.96 -3928 7.7812 -331
8 8 1.64758 -2 11 6.0431 -3 13 1.1065 -2 24 3.0535 -3 26 1.09705 -232
8 28 1.4275 -3 33
8925 2.891 -4928 3.989 -2 24 1.827 -3 26 6.652 -3 28 7.964 -441
0 10196 CASE NO.2 ***NAT UO=2 T=573.0 K ***
6 573.0 300.0 300.0 300.0
0 10196 CASE NO.3 ***NAT UO=2 T=823.0 K ***
6 823.0 300.0 300.0 300.0
0 10196 CASE NO.4 *** NAT UO=2 T=1073.0 K ***
61073.0 300.0 300.0 300.0
1
1
    
```

CITATION

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECT IN FCA V-1  
(RIZ) GEOMETRY 40X45 MESH + SUS

```

001 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
003 2 7 1 1
1.0 E+20 1.0
004 3 1.25 3 2.18 22 25.28 12 28.3
17 7.5 20 22.98 15 30.48
005 1 2 3 4
3 3 3 4
4 4 4 4
008 -25
040
999
    
```

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

CIPER

```

FCA-V-1 DOPPLER EFFECT + SUS
2 25 4 1 1
1 0 1 0
004 3 1.25 3 2.18 22 25.28 12 28.3
10 7.5 20 22.98 15 30.48
005 1 2 3 4
3 3 3 4
4 4 4 4
FCA-V-1 DOPPLER EFFECT 573.0 K
1 1 1 1
FCA-V-1 DOPPLER EFFECT 823.0 K
1 1 1 1
FCA-V-1 DOPPLER EFFECT 1073.0 K
1 1 1 1
1 1 3 1 10
    
```

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((FCA52 )) ESTABLISHED 77.02.23

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-V-2

1 1 0 70 1 -1190 10

1 1 2.5 1.35

0 10191234568 5 0 CASE NO.1 \*\*\*FCA-V-2 REFERENCE\*\*\* NUD-2 300 K 3

1 3 1 70 0 -1 29 0 2 1 1 0 255,E-075,E-070,00000,00001,0

2 3 11 5

3 4 34 54

4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1

4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 49 55 2

4 70 3

5 0.65 1.14031.50

6 300.0 300.0 300.0

89251.003 E-04928 2.0632E-02 8 4.156 E-02 11

8949 1.0452 E-03940 9.325 E-05941 1.0688 E-05925 1.47 E-034285,8359 E-0321

8 8 1.3101 E-02 11 8,1341 E-03 13 8.8295 E-03 24 3.2734 E-03 26 1,195 E-0222

8 28 1.5345 E-03 23

8925 2.891 E-04928 3.989 E-02 24 1.827 E-03 26 6.652 E-03 28 7.964 E-0431

0 10196 CASE NO.2 \*\*\*NAT UO-2 T=1073.0 5 \*\*\*

61073.0300.0 300.0

1 1

CITATION

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-V-2 (R,Z) GEOMETRY 40X45 MESH

001 1 1 1 1 1

1 2 1 1 1

003 2 7 1 1

1.0 E+20 1.0

004 3 1.25 25 32.08 12 29.02

10 7.5 20 22.98 15 30.48

005 1 2 3

2 2 3

3 3 3

008

-10

040

999

CIPEK

FCA-V-2 DOPPLER EFFECT 1073.0 K

2 25 3 1 1

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

1 0 1 0

004 3 1.25 25 32.08 12 29.02

10 7.5 20 22.98 15 30.48

005 1 2 3

2 2 3

3 3 3

FCA-V-2 DOPPLER EFFECT 1073.0 K

1 1 1

1 1 3 1 10

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)  
ELEMENT NAME ((FCA52S )) ESTABLISHED 77.03.03

EXPANDA  
ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-V-2  
1 1 0 70 1 -1190 10  
1 2.5 1.35  
0 10191234568 6 0 CASE NO.1 \*\*\*FCA-V-2 REFERENCE\*\*\* NUO=2 300 K 3  
1 4 1 70 0 -1 29 0 2 1 1 0 255.E-075.E-070.00000.00001.0  
2 3 3 11 5  
3 4 8 34 54  
4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1  
4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 49 55 2  
4 70 3  
50.65 0.625 1.21961,50  
6 300.0 300.0 300.0 300.0  
89251.503 E=04928 2,0632E-02 8 4.156 E-02 11  
8 24 6.15 -3 26 2,239 -2 28 2,681 -3 21  
8949 1.0458 E=03940 9,325 E=05941 1.0688 E=05925 1,47 E=039285,8359 E=0331  
8 8 1.3101 E=02 11 8,1341 E=03 13 8,8295 E=03 24 3,2734 E=03 26 1,195 E=0232  
8 28 1,5345 E=03 33  
8925 2,891 E=04928 3,989 E=02 24 1,827 E=03 26 6,652 E=03 28 7,964 E=0441  
0 10196 CASE NO.2 \*\*\*NAT UO-2 T=1073.0 5 \*\*\*  
51073.0300.0 300.0 300.0  
1  
1

CITATION  
ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-V-2  
(R-Z) GEOMETRY 40X45 MESH + SUS

001  
1 1 1 1 1  
003  
2 7 1 1  
1.0 E+20 1.0  
004  
3 1.25 3 2.18 22 29.9 12 29.02  
10 7.5 20 22.98 15 30.48  
005  
1 2 3 4  
3 3 3 4  
4 4 4 4  
008  
-25  
-40  
999  
CIPER  
FCA-V-2 DOPPLER EFFECT + SUS  
2 25 4 1 1

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

1 0 1 0  
004  
3 1.25 3 2.18 22 29.9 12 29.02  
10 7.5 20 22.98 15 30.48  
005  
1 2 3 4  
3 3 3 4  
4 4 4 4  
FCA-V-2 DOPPLER EFFECT 1073.0 K  
1 1 1  
1 1 3 1 10

FACOM 230-75 (M7)

L I B E 76.07.09 ( V03 L-09 )

77/03/09

PAGE-0010

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((FCA61 )) ESTABLISHED 77.02.23

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-VI-1

```

1 1 1 0 70 1.35 -1190 10
0 10191234568 7 1.35 CASE NO.1 ***FCA-VI-1 REFERENCE*** NUO-2 300 K 3
1 4 1 70 0 -1 29 0 2 1 -1 0 251.0 -51.0 -4 0 0 1.0
2 3 11 8 5
3 4 40 56 80
4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1
4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 49 55 2
4 70 3
50.65 0.9737 .55651.0325
6 300.0 300.0 300.0 300.0
8925 1.503 -4928 2.0632 -2 8 4.156 -2 11
8949 1.5637 -3940 1.4 -4941 1.6 -5925 1.516 -5928 6.9057 -321
8 3 1.5598 -2 11 7.656 -3 28 1.639 -3 13 1.354 -3 24 3.552 -322
8 26 1.3004 -2 23
8925 2.131 -3928 6.4152 -3 8 1.5598 -2 11 7.656 -3 13 1.0204 -231
8 24 3.134 -3 26 1.1904 -2 28 1.42 -3 32
8925 2.891 -4928 3.9885 -2 24 1.827 -3 26 6.652 -3 28 7.964 -441
8925 2.891 -4928 3.9885 -2 24 1.827 -3 26 6.652 -3 28 7.964 -441
0 10196 CASE NO.2 *** NAT UO-2 T=623.0 K ***
6 523.0 300.0 300.0 300.0
0 10196 CASE NO.3 *** NAT UO-2 T=823.0 K ***
6 823.0 300.0 300.0 300.0
0 10196 CASE NO.4 *** NAT UO-2 T=1073.0 K ***
6 1073.0 300.0 300.0 300.0
1
1

```

CITATION

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-VI-1 (R,Z) GEOMETRY 40X45 MESH

```

001 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
003 2 7 1 1
1.0 E+20 1.0
004 3 1.25 25 26.78 7 12.53 5 22.11
10 7.5 25 38.22 10 20.32
005 1 2 3 4
2 2 3 4
4 4 4 4
008 -10
040

```

FACOM 230-75 (M7)

L I B E 76.07.09 ( V03 L-09 )

77/03/09

PAGE-0011

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

999

CIPER

```

FCA-VI-1 DOPPLER EFFECT 1
2 25 4 1
1 0 1 0
004 3 1.25 25 26.78 7 12.53 5 22.11
10 7.5 25 38.22 10 20.32
005 1 2 3 4
2 2 3 4
4 4 4 4
FCA-VI-1 DOPPLER EFFECT 623.0 K
1 1 1 1
1 1 3 1 10
FCA-VI-1 DOPPLER EFFECT 823.0 K
1 1 1 1
1 1 3 1 10
FCA-VI-1 DOPPLER EFFECT 1073.0 K
1 1 1 1
1 1 3 1 10

```

FACOM 230-75 (M7) LIBE 76.07.09 (V03 L-09) 77/03/09 PAGE-0012

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)  
ELEMENT NAME ((FCA615 )) ESTABLISHED 77.03.03

EXPANDA  
ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-VI-1

1	1	0	70	1	-1190	10														
0	10191234568	8																		
1	5	1	70	0	-1	29	0	2	1	-1	0	251.0	-51.0	-4	0	0				
2	3	3	11	8	5															
3	4	8	40	56	80															
4	10	16	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1							
4	32	33	34	35	36	37	38	39	40	43	49	55	2							
4	70												3							

50.65 0.625 1.01730,55651,0325  
6 300.0 300.0 300.0 300.0 300.0  
8925 1.503 -4928 2.0632 -2 8 4.156 -2 11  
8 24 6.15 -3 26 2.239 -2 28 2.681 -3 21  
8949 1.5687 -3940 1.4 -4941 1.6 -5925 1.516 -5928 6.9057 -331  
8 8 1.5598 -2 11 7.656 -3 28 1.639 -3 13 1.394 -3 24 3.552 -332  
8 26 1.3004 -2 33  
8925 2.131 -3928 6.4152 -3 8 1.5598 -2 11 7.656 -3 13 1.0204 -241  
8 24 3.134 -3 26 1.1504 -2 28 1.42 -3 42  
8925 2.891 -4928 3.9885 -2 24 1.827 -3 26 6.652 -3 28 7.964 -451

0 10196 CASE NO,2 \*\*\* NAT UO-2 T=623.0 K \*\*\*  
6 623.0 300.0 300.0 300.0 300.0  
0 10196 CASE NO,3 \*\*\* NAT UO-2 T=823.0 K \*\*\*  
6 823.0 300.0 300.0 300.0 300.0  
0 10196 CASE NO,4 \*\*\* NAT UO-2 T=1073.0 K \*\*\*  
6 1073.0 300.0 300.0 300.0 300.0

CITATION  
ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-VI-1  
(RIZ) GEOMETRY 40X45 MESH + SUS

001	1	1	1	1	1															
003	2	7		1	1															
1.0	E+20			1.0																
004	3	1.25	3	2.18	22	24.6	7	12.53	5	22.11										
10	7.2		25	38.22	10	20.52														
005	1	2	3	4	5															
3	3	3	4	5																
5	5	5	5	5																
008																				
-25																				
040																				

FACOM 230-75 (M7) LIBE 76.07.09 (V03 L-09) 77/03/09 PAGE-0013

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

999  
CIPER  
FCA-VI-1 DOPPLER EFFECT + SUS

2	25	5	1	1																
1	0	1	0																	
004	3	1.25	3	2.18	22	24.6	7	12.53	5	22.11										
10	7.2		25	38.22	10	20.52														
005	1	2	3	4	5															
3	3	3	4	5																
5	5	5	5	5																
FCA-VI-1	DOPPLER	EFFECT	623.0	K																
1	1	1	3	1	10															
FCA-VI-1	DOPPLER	EFFECT	823.0	K																
1	1	1	3	1	10															
FCA-VI-1	DOPPLER	EFFECT	1073.0	K																
1	1	1	3	1	10															

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((FCAb2 )) ESTABLISHED 77.02.23

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-VI-2

1 1 0 70 1 -1190 10

0 10191234568 8 CASE NO.1 \*\*\*FCA-VI-2 REFERENCE\*\*\* NUO-2 300 K 3

1 4 1 70 0 -1 29 0 2 1 -1 0 251.0 -51.0 -4 0 0 1.0

2 3 13 13 5

3 4 40 56 80

4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1

4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 49 55 2

4 70 3

50.65 1.007 0.87431,117

6 300.0 300.0 300.0 300.0

8925 1.503 -4928 2.0532 -2 8 4.156 -2

8949 1.0458 -3940 9.33 -5941 1.07 -5925 1.516 -5928 6.9057 -321

8105 1.0 -8 8 1.72858 -2 11 7.656 -3 13 2.4027 -3 24 3.41266 -322

8 26 1.2504 -2 28 1.5658 -3 42 1.0 -8 23

8949 1.0 -8940 1.0 -8941 1.0 -8925 2.8483 -3928 6.8915 -331

8105 1.0 -8 8 1.36189 -2 11 7.656 -3 13 9.0793 -3 24 3.134 -332

8 26 1.1504 -2 28 1.42 -3 42 1.0 -8 33

8925 2.391 -4928 3.9885 -2 24 1.827 -3 26 6.652 -3 28 7.964 -441

0 10196 CASE NO.2 \*\*\* NAT UO-2 T=623.0 K \*\*\*

6 623.0 300.0 300.0 300.0

0 10196 CASE NO.2 \*\*\* NAT UO-2 T=823.0 K \*\*\*

6 823.0 300.0 300.0 300.0

0 10196 CASE NO.3 \*\*\* NAT UO-2 T=1073.0 K \*\*\*

6 1073.0 300.0 300.0 300.0

1

1

CITATION

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-VI-2

(R+Z) GEOMETRY 43X45 MESH

001 1 1 1 1 1

1 1 1 1 1

003 2 7 1 1

1.0 E+20 1.0

004 3 1.25 25 28.13 10 17.32 5 25.10

10 7.5 25 38.22 10 20.32

005 1 2 3 4

2 2 3 4

4 4 4 4

008 -10

040

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

999

CIPER

FCA-VI-2 DOPPLER EFFECT

2 25 4 1 1

1 0 1 0

004 3 1.25 25 28.13 10 17.32 5 25.10

10 7.5 25 38.22 10 20.32

005 1 2 3 4

2 2 3 4

4 4 4 4

FCA-VI-2 DOPPLER EFFECT 623.0 K

1 1 1 1 10

FCA-VI-2 DOPPLER EFFECT 823.0 K

1 1 1 1 10

FCA-VI-2 DOPPLER EFFECT 1073.0 K

1 1 1 1 10

1 1 1 1 10



SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((FCA62S )) ESTABLISHED 77.03.03

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-VI-2

```

1 1 0 70 1 -1190 10
0 10191234568 9 1,35 CASE NO.1 ***FCA-VI-2 REFERENCE ***** NUO-2 300 K 3
1 5 1 70 0 -1 29 0 2 1 -1 0 251.0 -51.0 -4 0. 0. 1.0
2 3 3 13 13 5
3 4 8 40 56 80
4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1
4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 49 55 2
4 70 3
50.65 0.625 1.05480.87431.117
6 300.0 300.0 300.0 300.0 300.0
8925 1.503 -4928 2.0632 -2 84.156 -2 11
8 24 6.15 -3 26 2.239 -2 28 2.681 -3 21
8949 1.0458 -3940 9.33 -5941 1.07 -5925 1.516 -5928 6.9057 -331
8105 1.0 -8 8 1.72858 -2 11 7.656 -3 13 2.4027 -3 24 3.41266 -332
8 26 1.2504 -2 28 1.5658 -3 42 1.0 -8 33
8949 1.0 -8940 1.0 -8941 1.0 -8925 2.8483 -3928 6.8915 -341
8105 1.0 -8 8 1.36189 -2 11 7.656 -3 13 9.0793 -3 24 3.134 -342
8 26 1.1504 -2 28 1.42 -3 42 1.0 -8 43
8925 2.891 -4928 3.9885 -2 24 1.827 -3 26 6.652 -3 28 7.964 -451
0 10196 CASE NO.2 ***NAT UO-2 T=623.0 K***
6 623.0 300.0 300.0 300.0 300.0
0 10196 CASE NO.3 ***NAT UO-2 T=823.0 K***
6 823.0 300.0 300.0 300.0 300.0
0 10196 CASE NO.4 ***NAT UO-2 T=1073.0 K
61073.0 300.0 300.0 300.0 300.0
1
1

```

CITATION ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN FCA-VI-2 (R+Z) GEOMETRY 43X45 MESH + SUS

```

U01 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
003 2 7 1 1
1.0 E+20 1.0
004 3 1.25 3 2.18 22 25.95 10 17.32 5 25.10
10 7.5 25 38.22 10 20.32
005 1 2 3 4 5
3 3 3 4 5
5 5 5 5 5
008 -25

```

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

```

040
999
CIPER FCA-VI-2 DOPPLER EFFECT + SUS
2 25 5 1 1
1 0 1 0
004 3 1.25 3 2.18 22 25.95 10 17.32 5 25.10
10 7.5 25 38.22 10 20.32
005 1 2 3 4 5
3 3 3 4 5
5 5 5 5 5
FCA-VI-2 DOPPLER EFFECT 623.0 K
1 1 1 1 10
1 3 3 1 10
FCA-VI-2 DOPPLER EFFECT 823.0 K
1 1 1 1 10
1 1 3 1 10
FCA-VI-2 DOPPLER EFFECT 1073.0 K
1 1 1 1 10
1 1 3 1 10

```

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((ZPPR2N-)) ESTABLISHED 77.02.23

EXPANDA ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPPR-2 (NORMAL CORE)

1	1	0	70	1	1	-1190	10	3							
0	10211234568	12	0	CASE	NO.1	*** ZPPR-2(NORMAL)	*** NUO-2 300 K	3							
1	5	70	0	-1 29	0 2 1	-1 0 251.0 -51.0 -4 0,	0, 1.0								
2	3	15	15	12	7										
3	10	50	60	80	86										
4	10	16	22	23	24	25 26 27 28	29 30 31	1							
4	32	33	34	35	36	37 38 39 40	43 49 55	2							
4	70							3							
50.33281.50231.71062.33342.6527															
6	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0										
8925	0.01	-2928	1.56	-2	8 3.14	-2		11							
8949	0.08439	-2940	0.01117	-2941	0.00201	-2925	0.00123	-2928	0.55549	-221					
8	6	0.0030	-2	8	1.3116	-2	11	0.8796	-2	13	0.0003	-2	26	1.2576	-222
8	24	0.2702	-2	28	0.1221	-2	25	0.0209	-2	29	0.0019	-2	42	0.0231	-223
8949	0.12750	-2940	0.01687	-2941	0.00304	-2925	0.00115	-2928	0.51980	-231					
8	6	0.0024	-2	8	1.1761	-2	11	0.8564	-2	13	0.0004	-2	26	1.3852	-232
8	24	0.2523	-2	28	0.1160	-2	25	0.0202	-2	29	0.0020	-2	42	0.0341	-233
8925	0.0024	-2928	1.1085	-2	6	0.1013	-2	8	2.0132	-2	11	0.6398	-241		
8	13	0.0062	-2	26	0.6923	-2	24	0.1991	-2	28	0.0898	-2	25	0.0157	-242
8	29	0.0017	-2	42	0.0014	-2									43
8	8	0.0558	-2	26	7.1561	-2	24	0.1205	-2	28	0.0513	-2	25	0.0598	-251
8	29	0.0013	-2	42	0.0012	-2									52
0	10210			CASE	NO.2	*** NAT NUO-2	T= 500.0 K ***								
6	500.0	300.0	500.0	300.0	300.0										
0	10210			CASE	NO.3	*** NAT NUO-2	T= 800.0 K ***								
6	800.0	300.0	300.0	300.0	300.0										
0	10210			CASE	NO.4	*** NAT NUO-2	T=1100.0 K ***								
6	1100.0	300.0	300.0	300.0	300.0										

CITATION ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPPR-2 L-90 (R-2) GEOMETRY 47X33 MESH NORMAL CORE

001	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
003	2	7	1	1	
1.0	E+20		1.0		
004	4	1.27	22 63.15	8 26.68	10 37.99 3 11.73
5	15.24	11 30.57	9 41.36	5 20.32	
005	1	2 3 4 5			
2	2 3 4 5				

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

4	4	4	4	5
5	5	5	5	5
008				
-25				
040				
999				
CIPER	ZPPR-2	DOPPLER	EFFECT	NORMAL CORE
2	25 5	1		1
1	0 1 0			
004	4	1.27	22 63.15	8 26.68 10 37.99 3 11.73
5	15.24	11 30.57	9 41.36	5 20.32
005	1	2 3 4 5		
2	2 3 4 5			
4	4 4 4 5			
5	5 5 5 5			
ZPPR-2	DOPPLER	EFFECT	500.0 K	
1	1 1 4 1 5			
ZPPR-2	DOPPLER	EFFECT	800.0 K	
1	1 1 4 1 5			
ZPPR-2	DOPPLER	EFFECT	1100.0 K	
1	1 1 4 1 5			

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((ZPPR2NS)) ESTABLISHED 77.03.03

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPPR-2 (NORMAL CORE)

```

1 1 0 70 1 -1190 10
1 1 2,5 1,35
0 10211234568 13 0 CASE NO,1 *** ZPPR-2(NORMAL) *** NUO-2 300 K 3
1 6 1 70 0 -1 29 0 2 1 -1 0 251,0 -51,0 -4 0, 0, 1,0
2 3 4 15 12 7
3 10 14 50 60 80 86
4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1
4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 49 55 2
4 70 3
50,33280,70071,65811,71062,33342,6527
6 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0
8925 0,01 -2928 1,56 -2 8 3,14 -2 28 6,71 -3 11
8 24 1,2385 -2 25 7,58 -4 26 4,7278 -2 28 6,71 -3 21
8949 0,08439 -2940 0,01117 -2941 0,00201 -2925 0,00123 -2928 0,55549 -231
8 6 0,0030 -2 8 1,3116 -2 11 0,8796 -2 13 0,0003 -2 26 1,2576 -232
8 24 0,2702 -2 28 0,1221 -2 25 0,0209 -2 29 0,0019 -2 42 0,0231 -233
8949 0,12750 -2940 0,01687 -2941 0,00304 -2925 0,00115 -2928 0,51980 -241
8 6 0,0023 -2 8 1,1761 -2 11 0,8564 -2 13 0,0004 -2 26 1,3852 -242
8 24 0,2523 -2 28 0,1160 -2 25 0,0202 -2 29 0,0020 -2 42 0,0341 -243
8925 0,0024 -2928 1,1085 -2 6 0,1013 -2 8 2,0132 -2 11 0,6398 -251
8 13 0,0002 -2 26 0,6923 -2 24 0,1991 -2 28 0,0898 -2 25 0,0157 -252
8 29 0,0017 -2 42 0,0014 -2 53
8 6 0,0558 -2 26 7,1561 -2 24 0,1205 -2 28 0,0513 -2 25 0,0598 -261
8 29 0,0013 -2 42 0,0012 -2 62
0 10216 CASE NO,2 *** NAT NUO-2 T= 500,0 K ***
6 500,0 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0
0 10218 CASE NO,3 *** NAT NUO-2 T= 800,0 K ***
6 800,0 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0
0 10216 CASE NO,4 *** NAT NUO-2 T=1100,0 K ***
6 1100,0 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0
1
1

```

CITATION

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPPR-2 L-90  
(R,Z) GEOMETRY 47X33 MESH NORMAL CORE + SUS

```

001 1 1 1 1 1
003 2 7 1 1
1,0 E+20 1,0
004 4 1,27 2 1,905 20 61,245 8 26,68 10 37,99 3 11,73
5 15,24 11 30,57 9 41,36 5 20,32
005

```

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

```

1 2 3 4 5 6
3 3 3 4 5 6
5 5 5 5 5 6
6 6 6 6 6 6
008
-25
040
999
CIPER
ZPPR-2 DOPPLER EFFECT NORMAL CORE + SUS
2 25 6 1 1
1 0 1 0
004 4 1,27 2 1,905 20 61,245 8 26,68 10 37,99 3 11,73
5 15,24 11 30,57 9 41,36 5 20,32
005
1 2 3 4 5 6
3 3 3 4 5 6
5 5 5 5 5 6
6 6 6 6 6 6
ZPPR-2 DOPPLER EFFECT 500,0 K
1 1 1
1 1 4 1 5
ZPPR-2 DOPPLER EFFECT 800,0 K
1 1 1
1 1 4 1 5
ZPPR-2 DOPPLER EFFECT 1100,0 K
1 1 1
1 1 4 1 5

```

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((ZPPR2V )) ESTABLISHED 77,02,23

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPPR-2 (NA-VOIDED)

0	10211234568	15	0	CASE	NO,1	*** ZPPR-2(NA-VOID) ***	NUO=2	300	K	3							
1	6	1	70	0	-1	29	0	2	1	-1	0	251,0	-51,0	-4	0,	0,	1,0
2	3	14	15	15	12	7											
3	10	34	50	60	80	86											
4	10	16	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
4	32	33	34	35	36	37	38	39	40	43	49	55					
4	70																
50,33281,66531,61591,71062,33342,6527																	
6	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0											
8	925	0,01	-2928	1,56	-2	8	3,14	-2									
8	949	0,08439	-2940	0,01117	-2941	0,00201	-2925	0,00123	-2928	0,55549	-221						
8	6	0,0030	-2	8	1,3116	-2	13	0,0003	-2	26	1,2576	-2	24	0,2702	-222		
8	28	0,1221	-2	25	0,0209	-2	29	0,0019	-2	42	0,0231	-2					
8	949	0,08439	-2940	0,01117	-2941	0,00201	-2925	0,00123	-2928	0,55549	-231						
8	6	0,0030	-2	8	1,3116	-2	11	0,8796	-2	13	0,0003	-2	26	1,2576	-232		
8	24	0,2702	-2	28	0,1221	-2	25	0,0209	-2	29	0,0019	-2	42	0,0231	-233		
8	949	0,12750	-2940	0,01687	-2941	0,00304	-2925	0,00115	-2928	0,51980	-241						
8	6	0,0023	-2	8	1,1761	-2	11	0,8564	-2	13	0,0004	-2	26	1,3852	-242		
8	24	0,2523	-2	28	0,1160	-2	25	0,0202	-2	29	0,0020	-2	42	0,0341	-243		
8	925	0,0024	-2928	1,1085	-2	6	0,1013	-2	8	2,0132	-2	11	0,6398	-251			
8	13	0,0002	-2	26	0,6923	-2	24	0,1991	-2	28	0,0898	-2	25	0,0157	-252		
8	29	0,0017	-2	42	0,0014	-2											
8	6	0,0558	-2	26	7,1561	-2	24	0,1205	-2	28	0,0513	-2	25	0,0598	-261		
8	29	0,0013	-2	42	0,0012	-2											
0	1021b			CASE	NO,2	*** NAT	NUO=2	T=	500,0	K	***						
6	500,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0											
0	1021b			CASE	NO,3	*** NAT	NUO=2	T=	800,0	K	***						
6	800,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0											
0	1021b			CASE	NO,4	*** NAT	NUO=2	T=	1100,0	K	***						
6	1100,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0											

CITATION

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPPR-2 L-90

(R,Z) GEOMETRY 47X33 MESH NA-VOIDED CORE

001																	
1		1	1		1				1								
003																	
2		7			1	1											
1,0	E+20				1,0												
004																	
4	1.27	11	29,21	11	33,94	8	26,68	10	37,99	3	11,73						

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

5	15,24	11	30,57	9	41,36	5	20,32											
005																		
1	2	3	4	5	6													
2	2	3	4	5	6													
5	5	5	5	5	6													
6	6	6	6	6	6													
008																		
-25																		
040																		
999																		
CIPER																		
ZPPR-2																		
2	25	6			1													
DOPPLER EFFECT																		
1																		
NA-VOIDED CORE																		
1																		
1	0	1	0															
004																		
4	1,27	11	29,21	11	33,94	8	26,68	10	37,99	3	11,73							
5	15,24	11	30,57	9	41,36	5	20,32											
005																		
1	2	3	4	5	6													
2	2	3	4	5	6													
5	5	5	5	5	6													
6	6	6	6	6	6													
ZPPR-2																		
DOPPLER EFFECT																		
500,0	K																	
1	1																	
1	1																	
ZPPR-2																		
DOPPLER EFFECT																		
800,0	K																	
1	1																	
1	1																	
ZPPR-2																		
DOPPLER EFFECT																		
1100,0	K																	
1	1																	
1	1																	
1	1																	

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((ZPPR2VS )) ESTABLISHED 77.03.03

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPPR-2 (NA-VOIDED)

1 1 0 70 1 -1190 10

1 2.5 1.35

0 10211234568 16 0 CASE NO.1 \*\*\* ZPPR-2(NA-VOID) \*\*\* NUO-2 300 K 3

1 7 1 70 0 -1 29 0 2 1 -1 0 251.0 -51.0 -4 0. 0. 1.0

2 3 4 14 15 12 7

3 10 14 34 50 60 80 86

4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1

4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 49 55 2

4 10 3

50,33200,70071,69181,61591,71062,33342,6527

6 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0

8925 0,01 -2928 1,56 -2 8 3,14 -2 11

8 24 1,2385 -2 25 7,58 -4 26 4,7278 -2 28 6,71 -3 21

8949 0,08439 -2940 0,01117 -2941 0,00201 -2925 0,00123 -2928 0,55549 -231

8 6 0,0030 -2 8 1,3116 -2 13 0,0003 -2 26 1,2576 -2 24 0,2702 -232

8 28 0,1221 -2 25 0,0209 -2 29 0,0019 -2 42 0,0231 -2 33

8949 0,08439 -2940 0,01117 -2941 0,00201 -2925 0,00123 -2928 0,55549 -241

8 6 0,0030 -2 8 1,3116 -2 11 0,8796 -2 13 0,0003 -2 26 1,2576 -242

8 24 0,2523 -2 28 0,1160 -2 25 0,0202 -2 29 0,0020 -2 42 0,0341 -254

8925 0,0024 -2928 1,1085 -2 6 0,1013 -2 8 2,0132 -2 11 0,6398 -

8 13 0,0002 -2 26 0,6923 -2 24 0,1991 -2 28 0,0898 -2 25 0,0157 -

8 29 0,0017 -2 42 0,0014 -2 63

8 6 0,0558 -2 26 7,1561 -2 24 0,1205 -2 28 0,0513 -2 25 0,0598 -271

8 29 0,0013 -2 42 0,0012 -2 72

0 10216 CASE NO.2 \*\*\* NAT NUO-2 T= 500,0 K \*\*\*

6 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0

0 10216 CASE NO.3 \*\*\* NAT NUO-2 T= 800,0 K \*\*\*

6 800,0 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0

0 10216 CASE NO.4 \*\*\* NAT NUO-2 T=1100,0 K \*\*\*

6 1100,0 300,0 300,0 300,0 300,0 300,0

CITATION ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPPR-2 L-90 (R+Z) GEOMETRY 47x33 MESH NA-VOIDED CORE + SUS

001 1 1 1 1 1 1

003 2 7 1 1

1.0 E+20 1.0

004 4 1.27 2 1,905 10 27,305 10 33,94 8 26,68 10 37,99

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

3 11,73

5 15,24 11 30,57 9 41,36 5 20,32

005 1 2 3 4 5 6 7

3 3 3 4 5 6 7

6 6 6 6 6 6 7

7 7 7 7 7 7 7

008 -25

040

999

CIPER ZPPR-2 DOPPLER EFFECT NA-VOIDED CORE + SUS

2 25 7 1 1

1 0 1 0

004 4 1.27 2 1,905 10 27,305 10 33,94 8 26,68 10 37,99

3 11,73

5 15,24 11 30,57 9 41,36 5 20,32

005 1 2 3 4 5 6 7

3 3 3 4 5 6 7

6 6 6 6 6 6 7

7 7 7 7 7 7 7

ZPPR-2 DOPPLER EFFECT 500,0 K

1 1 1 4 1 5

ZPPR-2 DOPPLER EFFECT 800,0 K

1 1 1 4 1 5

ZPPR-2 DOPPLER EFFECT 1100,0 K

1 1 1 4 1 5





SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((ZPR67HS)) ESTABLISHED 77.03.03

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPR-6-7(H240)

0	2011234568	13	1,35	CASE NO.1	*** ZPR-6-7(H240)	***	297,0 K	3
1	6	1	70	0	-1	29	0	1,0
2	3	4	12	12	13	9		
3	10	14	40	68	70	88		
4	10	16	22	23	24	25	26	27
4	32	33	34	35	36	37	38	39
4	70							
50	33280,70071,33241,62731,16261,9760							
6	297,0	297,0	297,0	297,0	297,0	297,0		
8925	1,0	-4928	1,56	-2	8	3,14	-2	11
8	24	1,2385	-2	25	7,58	-4	26	4,7278
8	25	1,9512	-4	24	2,2787	-3	26	1,0559
8	8	1,3845	-2	11	9,2993	-3925	1,2208	-5928
8940	3,298939	-4941	5,9347	-5				
8	25	1,8706	-4	24	2,2775	-3	28	1,0341
8	8	1,4687	-2	11	9,1885	-3925	1,2641	-5928
8940	1,226551	-04941	1,5146	-5				
8949	1,063	-3940	4,995	-5941	4,9	-6	13	1,01
8928	5,717	-3	42	2,42	-4	11	9,132	-3
8	28	1,461	-3	24	2,675	-3	25	2,1
8924	4,0	-7925	8,5779	-5928	3,9683	-2	42	3,7079
8	26	4,5704	-3	28	5,5511	-4	25	1,2764
0	2016			CASE NO.2	*** ZPR-6-7(H240)	***	507,0 K	
6	507,0	297,0	297,0	297,0	297,0	297,0		
0	2016			CASE NO.3	*** ZPR-6-7(H240)	***	792,0 K	
6	792,0	297,0	297,0	297,0	297,0	297,0		
0	2016			CASE NO.4	*** ZPR-6-7(H240)	***	1054,0 K	
6	1054,0	297,0	297,0	297,0	297,0	297,0		

CITATION  
ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPR-6-7  
(R,Z) GEOMETRY 49X40 MESH H240 CORE + SUS

001	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
003	2	7	1	1	1	1
1,0	E+20	1,0				
004	4	1,27	2	1,905	13	21,165
					17	50,66
					3	3,05
					10	29,48
5	15,24	25	61,04	10	34,27	
005						

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

1	2	3	4	5	6
3	3	3	4	5	6
6	6	6	6	6	6
008					
-25					
040					
999					
CIPER					
ZPR-6-7	DOPPLER EFFECT	H240	CORE	+ SUS	
2	25	6	1	1	
1	0	1	0		
004	4	1,27	2	1,905	13
					21,165
					17
					50,66
					3
					3,05
					10
					29,48
5	15,24	25	61,04	10	34,27
005					
1	2	3	4	5	6
3	3	3	4	5	6
6	6	6	6	6	6
ZPR-6-7	H240	CORE	DOPPLER EFFECT	507,0 K	
1	1	1	1	1	
1	1	4	1	5	
ZPR-6-7	H240	CORE	DOPPLER EFFECT	792,0 K	
1	1	1	1	1	
1	1	4	1	5	
ZPR-6-7	H240	CORE	DOPPLER EFFECT	1054,0 K	
1	1	1	1	1	
1	1	4	1	5	





SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((ZPR67RS )) ESTABLISHED 77.03.03

EXPANDA

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPR-6-7(REF)														CHECK	
1	1	0	70	1											
0	1	2,5		1,35											
0	2011234568	10		CASE NO.1	*** ZPR-6-7(REF)	***						293,0 K			3
1	5	1 70	0 -1 29	0 2 1 -1	0 251,0	-51,0	-4 0,	0,				1,0			
2		3	4	12											
3		10	14	40	70	90									
4		10	16	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		1
4		32	33	34	35	36	37	38	39	40	43	49	55		2
4		70													3
50,33280,70071,33241,66241,9200															
6	293,0	293,0	293,0	293,0	293,0										
8	925	1,0	-4928	1,56	-2	8 3,14	-2								11
8	24	1,2385	-2 25	7,58	-4 26	4,7278	-2 28	6,71	-3						21
8	25	1,8612	-4 24	2,2867	-3 28	1,0608	-3 26	1,1376	-2 42	2,3612	-431				-431
8	8	1,3845	-2 11	9,2993	-3925	1,2254	-5928	5,7894	-3949	8,8760	-432				-432
8	940	1,221163	-4941	1,3275	-5										33
8	25	1,8706	-4 24	2,2775	-3 28	1,0341	-3 26	1,1918	-2 42	2,3774	-441				-441
8	8	1,4687	-2 11	9,1885	-3925	1,2641	-5928	5,8109	-3949	8,8887	-442				-442
8	940	1,226551-04941	1,5146	-5											43
8	924	4,0	-7925	8,5837	-5928	3,9710	-2 42	3,6859	-6 8	2,3145	-551				-551
8	26	4,5437	-3 28	5,5176	-4 24	1,2675	-3 25	9,7635	-5						52
0	201b			CASE NO.2	*** ZPR-6-7(REF,)	***					494,0 K				
6	494,0	293,0	293,0	293,0	293,0										
0	201c			CASE NO.3	*** ZPR-6-7(REF,)	***					771,0 K				
6	771,0	293,0	293,0	293,0	293,0										
0	201d			CASE NO.4	*** ZPR-6-7(REF,)	***					1075				
6	1075,0	293,0	293,0	293,0	293,0										

CITATION

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN ZPR-6-7  
(R,Z) GEOMETRY 49X40 MESH REFERENCE CORE CHECK

001															
1		1	1	1	1										
003															
2		7			1	1									1
1,0	E+20				1,0										
004															
4	1,27		2 1,905	13 21,165	20 56,34	10 33,16									
5	15,24		25 61,04	10 34,27											
005															
1	2	3	4	5											
3	3	3	4	5											
5	5	5	5	5											
008															

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

-25															
040															
999															
CIPER															
ZPR-6-7	DOPPLER EFFECT				REFERENCE CORE						CHECK				
2 25 5	1				1										
1 0 1 0															
004															
4	1,27		2 1,905	13 21,165	20 56,34	10 33,16									
5	15,24		25 61,04	10 34,27											
005															
1	2	3	4	5											
3	3	3	4	5											
5	5	5	5	5											
ZPR-6-7	REFERENCE CORE				DOPPLER EFFECT	494,0 K					CHECK				
1 1 1	1														
1 1 4	1	5			DOPPLER EFFECT	771,0 K					CHECK				
1 1 1	1														
1 1 4	1	5			DOPPLER EFFECT	1075,0 K					CHECK				
1 1 1	1														
1 1 4	1	5													





SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

ELEMENT NAME ((SEFOR )) ESTABLISHED 77.02.23

EXPANDA

ANALYSIS OF DOPPLER EFFECT IN SEFOR 1-DIMENSION SPHERICAL GEOMETRY  
 1 1 0 70 1 -190 10  
 2 1.0 0.0  
 0 10211234568 10 CASE NO.1 \*\*\* REFERENCE CASE \*\*\* 677.0 K 3  
 1 4 1 70 0 -1 29 0 2 1 -1 0 251.0 -51.0 -4 0. 0. 1.0  
 2 12 14 10 9  
 3 20 50 76 96  
 4 10 16 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1  
 4 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 44 55 2  
 4 70 3  
 51.02901.01581.00451.0274  
 6 677.0 677.0 677.0 677.0  
 8 26 1.6975 -2 24 5.0011 -3 28 3.4313 -3 11 8.1834 -3925 6.4339 -611  
 9928 2.9184 -3 6 6.6016 -5 8 9.2372 -3 42 1.0247 -4105 5.2550 -512  
 8115 2.1154 -4 4 3.2478 -3  
 8925 1.5850 -5928 7.1970 -3949 1.6895 -3940 1.5220 -4 26 1.3667 -221  
 8 24 3.8776 -3 28 2.2795 -3 6 7.677 -5 8 2.1608 -2 11 6.8099 -322  
 8 42 1.2004 -4105 6.1110 -5115 2.4600 -4 4 3.5905 -3  
 8 26 7.8316 -3 24 2.3342 -3 28 3.7676 -2 11 4.2230 -3925 1.7434 -731  
 8928 7.9458 -5 4 2.7250 -5 8 1.8731 -4 42 1.1661 -5 13 1.2808 -232  
 8 26 9.6534 -3 24 2.9904 -4 28 2.7863 -3 11 3.5161 -3 42 7.571 -641  
 8 13 4.7631 -3105 3.8317 -3115 1.5327 -2 6 4.7952 -3  
 0 10216 CASE NO.2 \*\*\* PERTURBED CASE \*\*\* 1365.0 K 42  
 6 677.01365.0 677.0 677.0  
 1  
 1

CITATION

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF DOPPLER EFFECTS IN SEFOR  
 (R+Z) GEOMETRY 29X54 MESH

001  
 1 1 1 1 1 1  
 003  
 2 7 1  
 1.0 E+20 1.0  
 004  
 2 4.226 12 39.892 12 29.435 3 13.481  
 5 20.239 3 11.055 14 33.532 2 5.132 20 52.443 3 11.055  
 7 30.745  
 005  
 4 4 4 4  
 3 3 3 4  
 1 2 3 4  
 1 1 3 4  
 1 2 3 4  
 3 3 3 4  
 4 4 4 4

SOURCE ELEMENT LIST (8BIT MODE)

008  
 -25  
 040  
 999  
 CIPER  
 SEFOR DOPPLER  
 2 25 4 1 1  
 1 0 0 0  
 004  
 2 4.226 12 39.892 12 29.435 3 13.481  
 5 20.239 3 11.055 14 33.532 2 5.132 20 52.443 3 11.055  
 7 30.745  
 005  
 4 4 4 4  
 3 3 3 4  
 1 2 3 4  
 1 1 3 4  
 1 2 3 4  
 3 3 3 4  
 4 4 4 4  
 SEFOR DOPPLER EFFECT 1365.0  
 1 2 1  
 2 3 14 9 22  
 2 3 14 25 44