

JAERI-M  
9025

KENO-IVコードベンチマーク計算(3)  
(UF<sub>6</sub>充填シリンダーの平面配列)

1980年8月

片倉 純一・野村 靖・下桶 敬則  
吉田 正\*・山内 通則\*

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.

KENO-IV コードベンチマーク計算(3)  
(UF<sub>6</sub> 充填シリンダーの平面配列)

日本原子力研究所東海研究所安全解析部

片倉 純一・野村 靖・下桶 敬則

吉田 正\*・山内 通則\*

(1980年7月28日受理)

原研で開発整備中の多群定数ライブラリーMGCLとモンテカルロ計算コードKENO-IVを組合わせたコードシステムによる臨界安全計算の精度評価作業の一環として、UF<sub>6</sub> 充填シリンダーの平面配列体系についてベンチマーク計算を実施した。

この体系では、分離した2つのテーブル上にUF<sub>6</sub> 充填シリンダーを配列し、2つのテーブルを接近させることにより臨界を達成している。このようにして臨界データが測定された裸の体系16ケース、ポリエチレン反射体付き体系13ケース、及びコンクリート反射体付き体系52ケースの全81ケースを計算対象とした。

ベンチマーク計算は、主にエネルギー群構造26群のライブラリーを用いて行ったが、26群の計算では実効増倍率の平均値が1.03となり、臨界値1.0よりも3%程大きい。一方、137群構造を持つライブラリーを用いた計算では、26群の計算より約4%下がって0.990となり臨界値に近づく。このことは、本計算体系のように熱外および高速中性子(1.855 eV以上)による核分裂が支配的な体系では、26群よりも詳細なエネルギー群構造を持つライブラリーを用いて計算する必要があることを示している。

---

\* 日本原子力事業(株)

KENO-IV Code Benchmark Calculation (3)

(UF<sub>6</sub> Container Cylinder Critical Array)

Jun'ichi KATAKURA, Yasushi NOMURA, Takanori SHIMOOKE,  
Tadashi YOSHIDA\* and Michinori YAMAUCHI\*

Division of Reactor Safety Evaluation,  
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received July 28, 1980)

A series of benchmark tests has been undertaken in JAERI in order to examine the capability of JAERI's criticality safety evaluation system consisting of the Monte Carlo calculation code KENO-IV and the newly developed multi-group constants library MGCL. The present paper describes the results of a test using criticality experiments about array of UF<sub>6</sub> container cylinders.

In all, 81 cases of experiments have been calculated for the UF<sub>6</sub> container cylinder arrays arranged into various configurations from the 4 x 4 array to a linear-array, where cylinders are bare or reflected by polyethylene or by concrete.

The KENO-IV calculation with the 26 group MGCL library results in about 3% excess of the multiplication factor for the unmoderated array where the fission due to fast neutrons is dominant.

The conclusion is that in order to obtain a better prediction of the effective multiplication factors for the experiments considered here, the finer energy group structure is needed.

Keywords: Criticality Safety Analysis, Uranium Hexafluoride Cylinder Array, KENO-IV Monte Carlo Code, MGCL Multigroup Constant Library, Benchmark Calculation.

---

\* Nippon Atomic Industry Group Co., Ltd.

## 目 次

1	はじめに .....	1
2	実験体系と実験データ .....	1
3	計算手法と計算モデル .....	3
3.1	計算手法 .....	3
3.2	計算モデル .....	5
4	計算結果および考察 .....	6
4.1	裸の体系 .....	6
4.2	ポリエチレン反射体付き体系 .....	7
4.3	コンクリート反射体付き体系 .....	7
4.4	計算結果のまとめ .....	8
4.5	137群MGCLによる計算結果 .....	8
5	結 論 .....	9
	謝 辞 .....	9
	参考文献 .....	11

## CONTENTS

1. Introduction-----	1
2. Experimental System and Data-----	1
3. Calculational Method and the Model-----	3
3.1 Calculational Method-----	3
3.2 Calculational Model-----	5
4. Calculated Results and the Consideration-----	6
4.1 Bare System-----	6
4.2 System with Polyethylene Reflector-----	7
4.3 System with Concrete Reflector-----	7
4.4 Summary of the Results-----	8
4.5 Result Calculated by 137-Group MGCL-----	8
5. Conclusion-----	9
Acknowledgement-----	9
References-----	11

## 1. はじめに

原研で開発整備中の臨界安全評価コードシステムのうち、多群定数ライブラリMGCL<sup>1)</sup>とモンテカルロ計算コードKENO-IV<sup>2)</sup>の組合せによる臨界安全計算結果の計算精度を検証するため、現在多くの実験体系に対して、ベンチマーク計算を実施しているが、本報告書ではそのうちのJ. T. Thomas<sup>3)</sup>の行った実験データによりベンチマーク計算を実施した結果を報告する。

この実験は、6フッ化ウラン(97.7wt% <sup>235</sup>U)を充填したシリンダー状の輸送コンテナの配列を扱ったもので、分離したテーブル上に幾つかのシリンダーを並べ、2つのテーブルを接近させることにより臨界に近づけている。実験の目的は、転換工程における高濃縮度の6フッ化ウランの輸送、貯蔵などの際に生じる臨界性についての計算の有効性をチェックするのに有益なデータを供給することにある。

実験の詳細は、第2章以降に譲るが、実験体系には、反射体の無い場合やポリエチレン反射体を付けた場合、さらには、コンクリート反射体を付けた場合など、いくつかのカテゴリーに分類されるが、全部で81ケース報告されている。

第2章では、実験体系と実験データについて、参考文献3に従って記述する。第2章で使用した図および表のうち、Table 1, Table 2, Table 5 ~ Table 20は、参考文献3より引用したものである。また、第3章では計算手法および計算モデルについて記し、第4章では計算結果および考察を述べる。最後に第5章で結論を述べる。

## 2. 実験体系と実験データ

実験は、高濃縮のUF<sub>6</sub>を充填したモネルスチール製のシリンダー(UF<sub>6</sub>モデル8A)群を配列し、配列の1部を固定し、他方を固定部に近づけることにより臨界に近づけている。実験体系の1例をFig. 1に示す。この例では、3×3の配列のうち2×3の配列を固定し、1×3の配列を動かしている。これらのシリンダーは、スチール製のテーブル上に置かれている。このテーブルは、接合した時には、1.8×3.0mの大きさになり、厚さは、2.5cmである。実験には、反射体を付けたものや、反射体の無いものなど各種あるが、反射体としてはポリエチレンとコンクリートが使用されている。また、プレキシグラスを、中性子減速材として幾つかのケースで使用している。

実験に使用した各物質の組成は以下の通りである。UF<sub>6</sub>のウラン組成はTable 1に示す如くであるが、各シリンダーに充填されているUF<sub>6</sub>の量はそれぞれ異っており、全部で16本のUF<sub>6</sub>充填シリンダーが用意されている。各シリンダー内のUF<sub>6</sub>の量は、X線解析により高さを求め、何回かの測定で平均している。この高さからUF<sub>6</sub>の質量とから密度を求めている。これらの結果をTable 2に示す。KENO-IV計算で使用したUF<sub>6</sub>の各成分の組成は、これらの値を基とした。ただし、水素については、H/U原子数比が上限0.088しか与えられておらず、計算には0.044

## 1. はじめに

原研で開発整備中の臨界安全評価コードシステムのうち、多群定数ライブラリMGCL<sup>1)</sup>とモンテカルロ計算コードKENO-IV<sup>2)</sup>の組合せによる臨界安全計算結果の計算精度を検証するため、現在多くの実験体系に対して、ベンチマーク計算を実施しているが、本報告書ではそのうちのJ. T. Thomas<sup>3)</sup>の行った実験データによりベンチマーク計算を実施した結果を報告する。

この実験は、6フッ化ウラン(97.7wt% <sup>235</sup>U)を充填したシリンダー状の輸送コンテナの配列を扱ったもので、分離したテーブル上に幾つかのシリンダーを並べ、2つのテーブルを接近させることにより臨界に近づけている。実験の目的は、転換工程における高濃縮度の6フッ化ウランの輸送、貯蔵などの際に生じる臨界性についての計算の有効性をチェックするのに有益なデータを供給することにある。

実験の詳細は、第2章以降に譲るが、実験体系には、反射体の無い場合やポリエチレン反射体を付けた場合、さらには、コンクリート反射体を付けた場合など、いくつかのカテゴリーに分類されるが、全部で81ケース報告されている。

第2章では、実験体系と実験データについて、参考文献3に従って記述する。第2章で使用した図および表のうち、Table 1, Table 2, Table 5 ~ Table 20は、参考文献3より引用したものである。また、第3章では計算手法および計算モデルについて記し、第4章では計算結果および考察を述べる。最後に第5章で結論を述べる。

## 2. 実験体系と実験データ

実験は、高濃縮のUF<sub>6</sub>を充填したモネルスチール製のシリンダー(UF<sub>6</sub>モデル8A)群を配列し、配列の1部を固定し、他方を固定部に近づけることにより臨界に近づけている。実験体系の1例をFig. 1に示す。この例では、3×3の配列のうち2×3の配列を固定し、1×3の配列を動かしている。これらのシリンダーは、スチール製のテーブル上に置かれている。このテーブルは、接合した時には、1.8×3.0mの大きさになり、厚さは、2.5cmである。実験には、反射体を付けたものや、反射体の無いものなど各種あるが、反射体としてはポリエチレンとコンクリートが使用されている。また、プレキシグラスを、中性子減速材として幾つかのケースで使用している。

実験に使用した各物質の組成は以下の通りである。UF<sub>6</sub>のウラン組成はTable 1に示す如くであるが、各シリンダーに充填されているUF<sub>6</sub>の量はそれぞれ異っており、全部で16本のUF<sub>6</sub>充填シリンダーが用意されている。各シリンダー内のUF<sub>6</sub>の量は、X線解析により高さを求め、何回かの測定で平均している。この高さからUF<sub>6</sub>の質量とから密度を求めている。これらの結果をTable 2に示す。KENO-IV計算で使用したUF<sub>6</sub>の各成分の組成は、これらの値を基とした。ただし、水素については、H/U原子数比が上限0.088しか与えられておらず、計算には0.044



の値を使用した。UF<sub>6</sub>の組成の個数密度をTable 3に示す。

ポリエチレンとプレキシグラスは、不純物を含まないものとして個数密度を計算した。Table 4にその値を示す。Table 5には、コンクリート反射体の分光学的解析から求めた元素とその個数密度を示す。ただし、Sr, Baに関しては現在の核データライブラリーに含まれていないし、また密度も他の元素と比較して小さいこともあり、今回の計算では無視している。

実験体系は、全部で81ケースあるが、反射体の無い体系、コンクリート反射体付きの体系など、いくつかのカテゴリーに分類される。これらの実験体系をTable 6～Table 20までに示す。これらのテーブルには各々の臨界条件も示してある。また、図中シリンダーのナンバーは、Table 2のシリンダー・ナンバーに対応するものである。Table 6とTable 7に示したのは反射体を付けない体系であり、3×4配列が10ケースで、4×4の配列が6ケースである。Table 8に示すのは、2×2の配列であるが、減速材としてプレキシグラスを用い、反射体には、ポリエチレンを使っている。また、Table 9とTable 10には、ポリエチレン反射体のみ臨界条件を示す。残りのケースは全て反射体にコンクリートを使ったケースである。なお、各ケースで、臨界でのテーブル間隔 (Table Separation At Critical) に横棒が引かれてあるのは、未臨界体系である。

実際にシリンダー群を配置した例をPhoto 1に示す。

以下に、Table 6～Table 20に従って、体系についての簡単な説明をする。

(1) 反射体のない3×4配列 (Table 6)

シリンダーを横3列、縦4列に並べ、可動部の1×4配列を動かし、臨界に近づけている。シリンダー間のピッチを変化させたり、シリンダーを交替したりして計10ケースの実験が行われた。

(2) 反射体のない4×4配列 (Table 7)

(1)のケースより横方向に1列シリンダーを増やしている。スチール製の実験架台の厚さを変えた時の反応度効果を調べている。6ケースの実験が報告されている。

(3) ポリエチレン反射体付きの2×2配列 (Table 8)

2×2配列のシリンダーの上部を除く5面をポリエチレン反射体で囲っている。反射体の厚さは25.3 cmである。各シリンダーの間にプレキシグラスの板を挿入し、厚さを変化させることによる効果を調べている。17～22までの6ケースのうち、臨界に達しているのは№19と№22の2ケースである。

(4) ポリエチレン反射体付きの3×3配列 (Table 9)

反射体の厚さは15.2 cmである。(3)の2×2配列とは異なり、プレキシグラスは挿入していない。シリンダー間のピッチを変えて4ケースの実験を行っている。ただし、№23の1ケースは、№483のシリンダーを取り除いている。

(5) ポリエチレン反射体付きの4×4配列 (Table 10)

上部を除く5面を15.2 cm厚のポリエチレン反射体で囲っている体系を基本とし、上部反射体の架台からの高さを変えている。上部反射体の厚さは15.24 cmである。基本型での実験1ケースと、その他2ケースが報告されている。

(6) コンクリート反射体付き2×2配列 (Table 11)

種々の厚さのコンクリート反射体を用意し、反射条件を変えることによる変化を調べてい

る。10 ケースの実験が報告されているが、そのうち1 ケースは未臨界である。

(7) コンクリート反射体付き  $2 \times 2$  配列 (Table 12)

(6)の実験と同様に、コンクリート反射体による反射条件を変化させて7 ケースの実験を行っている。未臨界のケースが3 ケースある。

(8) コンクリート反射体付き  $3 \times 3$  配列 (Table 13)

$3 \times 3$  配列のシリンダーを囲むコンクリート反射体の条件を変えて、4 ケースの実験を行っている。上部を除く5面の反射体の厚さは20.3 cmに固定されており、上部反射体の厚さを変えたり取り除くことにより条件を変化させている。1 ケースは未臨界である。

(9) コンクリート反射体付き  $1 \times 12$  配列 (Table 14)

12本のシリンダーを横方向に一直列にして並べた配列である。シリンダーを除々に取り除いた時の変化を調べている。4 ケースの実験があり、このうち1 ケースは未臨界である。

(10) コンクリート反射体付き  $1 \times 5$  配列 (Table 15)

5本のシリンダーを横方向に一直列に並べ、反射体の厚さを変えることによる効果を調べている。8 ケースの実験が行なわれたが、このうち2 ケースは未臨界である。

(11) コンクリート反射体付き  $1 \times 4$  配列 (Table 16)

上部を除く5面に反射体を付けた体系を基本としている。実験はこの体系の他に、上部に20.3 cmの反射体を付けた体系と東側の反射体厚を30.5 cmに変化させた体系とで行なわれ、計3 ケース報告されている。

(12) コンクリート反射体付き  $1 \times 3$  配列 (Table 17)

各シリンダーの間にプレキシグラスを仕切板として入れ、さらに、反射体の厚さを変化させて、実験を行っている。5 ケース報告されており、そのうち1 ケースは未臨界である。

(13) コンクリート反射体付き  $2 \times 3$  配列 (Table 18)

この実験は、3個のシリンダー2列の間にコンクリート板を挿入し、このコンクリートによる仕切りの条件を変化させて5 ケースの実験を行っている。

(14) コンクリート反射体付き  $2 \times 3$  配列 (Table 19)

(13)のケース同様に、3個のシリンダーを1組とした2列の間に、仕切板として、コンクリート板を挿入している。ただし、仕切板の条件は固定し、シリンダーの位置を変化させている。実験は3 ケースで、そのうち1 ケースは未臨界である。

(15) コンクリート反射体付き  $2 \times 3$  配列 (Table 20)

上記(13)、(14)と同様な配置であるが、コンクリートの仕切り条件が変わっている。北側あるいは南側の反射体の厚さを変化させ反応度変化を見ている。3 ケースの実験で、そのうち1 ケースは未臨界である。

### 3. 計算手法と計算モデル

#### 3.1 計算手法

臨界計算はモンテカルロ法による計算コードKENO-IV<sup>2)</sup>により行う。モンテカルロ法は、階差近似法やSn法とは異なり、複雑な3次元幾何形状を正確に扱える利点を持っている。

る。10 ケースの実験が報告されているが、そのうち1 ケースは未臨界である。

(7) コンクリート反射体付き  $2 \times 2$  配列 (Table 12)

(6)の実験と同様に、コンクリート反射体による反射条件を変化させて7 ケースの実験を行っている。未臨界のケースが3 ケースある。

(8) コンクリート反射体付き  $3 \times 3$  配列 (Table 13)

$3 \times 3$  配列のシリンダーを囲むコンクリート反射体の条件を変えて、4 ケースの実験を行っている。上部を除く5面の反射体の厚さは20.3 cmに固定されており、上部反射体の厚さを変えたり取り除くことにより条件を変化させている。1 ケースは未臨界である。

(9) コンクリート反射体付き  $1 \times 12$  配列 (Table 14)

12本のシリンダーを横方向に一行にして並べた配列である。シリンダーを除々に取り除いた時の変化を調べている。4 ケースの実験があり、このうち1 ケースは未臨界である。

(10) コンクリート反射体付き  $1 \times 5$  配列 (Table 15)

5本のシリンダーを横方向に一行に並べ、反射体の厚さを変えることによる効果を調べている。8 ケースの実験が行なわれたが、このうち2 ケースは未臨界である。

(11) コンクリート反射体付き  $1 \times 4$  配列 (Table 16)

上部を除く5面に反射体を付けた体系を基本としている。実験はこの体系の他に、上部に20.3 cmの反射体を付けた体系と東側の反射体厚を30.5 cmに変化させた体系とで行なわれ、計3 ケース報告されている。

(12) コンクリート反射体付き  $1 \times 3$  配列 (Table 17)

各シリンダーの間にプレキシグラスを仕切板として入れ、さらに、反射体の厚さを変化させて、実験を行っている。5 ケース報告されており、そのうち1 ケースは未臨界である。

(13) コンクリート反射体付き  $2 \times 3$  配列 (Table 18)

この実験は、3個のシリンダー2列の間にコンクリート板を挿入し、このコンクリートによる仕切りの条件を変化させて5 ケースの実験を行っている。

(14) コンクリート反射体付き  $2 \times 3$  配列 (Table 19)

(13)のケース同様に、3個のシリンダーを1組とした2列の間に、仕切板として、コンクリート板を挿入している。ただし、仕切板の条件は固定し、シリンダーの位置を変化させている。実験は3 ケースで、そのうち1 ケースは未臨界である。

(15) コンクリート反射体付き  $2 \times 3$  配列 (Table 20)

上記(13)、(14)と同様な配置であるが、コンクリートの仕切り条件が変わっている。北側あるいは南側の反射体の厚さを変化させ反応度変化を見ている。3 ケースの実験で、そのうち1 ケースは未臨界である。

### 3. 計算手法と計算モデル

#### 3.1 計算手法

臨界計算はモンテカルロ法による計算コードKENO-IV<sup>2)</sup>により行う。モンテカルロ法は、階差近似法やSn法とは異なり、複雑な3次元幾何形状を正確に扱える利点を持っている。

KENO-IVは多群定数を用いるモンテカルロ計算コードであり、Hansen-Roach 16群核断面積セット<sup>4)</sup>を使用したの計算がこれまで多く報告されている。今回の計算には、原研で開発整備中の多群定数ライブラリ-MGCL<sup>1)</sup>を用いた。MGCLはENDF/B-IV<sup>5)</sup>の中性子核データを、RESEND-D<sup>6)</sup>、SUPERTOG<sup>7)</sup>、PIXSE<sup>8)</sup>等で処理して作成した多群定数であり、マスターライブラリは137群である。MGCLの多群定数はABBNセット<sup>9)</sup>やJAERI-Fast-Set<sup>10)</sup>と同様な表現方式の中性子遮蔽因子 $f(\sigma_0^j, T)$ と無限希釈断面積 $\sigma_\infty^j$ で与えられている。また、標準スペクトルも内蔵しており、このスペクトルを用いて他の任意の群数を持つ群定数へ縮約することも可能である。ただし、この標準スペクトルは核分裂スペクトル、 $1/E$ 、およびマックスウェル分布を用いて作成されたものである。

今回の計算は、基本的には上記マスターライブラリから標準スペクトルで縮約した26群の多群定数を用いた。137群と26群のエネルギー構造をTable 21に示す。

このMGCLを用いて処理コードMAILによりKENO-IV用の巨視的実効断面積セットが作成される。MAILでは、計算対象の各領域の核種個数密度と幾何形状を入力データとして下記の式を用いて巨視的実効断面積 $\Sigma_{\text{eff}}$ を求めている。計算の流れをFig. 2に示す。

$$\sigma_{\text{eff}} = \sigma_\infty^j \cdot f(\sigma_0^j, T)$$

$$\sigma_0^j = \frac{1}{N^j} \left( \sum_{i \neq j} N^i \sigma_i^j + \frac{aG}{\ell} \right)$$

$$\Sigma_{\text{eff}} = \sum_j N^j \sigma_{\text{eff}}^j$$

ここで、 $\ell$  : 燃料ブロックの平均弦長

$G$  : ダンコフ補正因子

$a$  : ベル補正因子

$i, j$  : 核種を示す添字

MGCLの中の散乱マトリックスは高速群についてはSUPERTOGで熱群についてはFLANGE<sup>11)</sup>またはPIXSEで求められており、中性子散乱の角度依存性は散乱断面積をルジャンドル展開したときの $P_0$ 成分まで考慮されている。MAILコードでは、上記の巨視的断面積の1次元データと散乱マトリックスデータをKENO-IV用ライブラリに編集している。

KENO-IVの中では方向余弦を散乱の $P_0$ 成分と $P_1$ 成分から求めている。

以上述べたごとく、我々の手法ではKENO-IV用のデータ・セットは各計算ケースごとに作成する必要がある。オリジナルのKENO-IV計算では、KENO-IV用のデータセット(例えばHansen-Roach断面積セット)は各計算ケース共通に使い、各元素のID番号と個数密度を入力し、計算コード内で巨視的断面積を作成する。ただし、中性子の自己遮蔽効果はポテンシャル断面積で取り入れるため、使用者は前もってポテンシャル断面積を計算し、このポテンシャル断面積に対応する微視的断面積を選択し使用することが必要となる。ただし、非均質効果の計算もコード内では行わないので、非均質効果を考慮する必要がある場合には、あらかじめ計算し、ポテンシャル断面積に取り入れるようにしなければならない。

今回の我々の計算では、前に述べたように非均質効果はMAILコードの処理段階で考慮され

ており、また、バックグラウンド断面積 $\sigma$ についてはコード内で繰返し法により計算され、対応する実効断面積は内挿法で述べられる。

### 3.2 計算モデル

KENO-IVの計算オプションには、幾何形状の表現として、基本形状を用いるものと一般形状を用いるものがある。基本形状としては、直方体、立方体、シリンダーなどを表現するものが用意されている。普通よく現われる体系の計算には基本形状オプションで済む場合が多いが、基本形状で表現し切れない複雑な体系に対しては一般形状オプションを用いる。

ここで取り上げた計算ケースは、全て、基本形状オプションで計算することが可能であるが、そのためには若干のモデル化を必要とする。

UF<sub>6</sub>モデル8Aコンテナは、Fig. 3に示すような形状をしている。この体系を計算に乗せるために、以下のようなモデル化を行った。シリンダー頭部および底部は丸みを帯びており、UF<sub>6</sub>の注入、排出のための弁などが付いているが、この部分は無視した。また、シリンダーの保護のためのスカートがつけられているが、このスカートも寸法などが不明のため無視して計算した。すなわち、このシリンダーは、Fig. 4に示すような形状であると単純化して計算を行った。斜線で示すUF<sub>6</sub>の量は、各シリンダーごとに異っている。

実験架台については、可動部と固定部の関係などが明記されていないため、反射体の無い裸の体系のうち $\#1 \sim \#10$ の10ケースでは、実験架台を無視し、 $\#11 \sim \#16$ では、シリンダーの占めている範囲のみ考慮した。反射体付きの体系では、反射体の外壁までを計算に取り入れ、実験架台は無視した。

以下、第2章の(1)~(5)の各ケースについて、簡単に説明する。

(1)の3×4配列の体系では、上に述べた実験架台は無視している。Table 6の図には、 $\#482$ のシリンダーが用いられているが、Table 2のシリンダーについての記述には、 $\#482$ のシリンダーはない。これは、 $\#483$ の誤りではないかと思われるので、ここでの計算には、 $\#483$ のシリンダーとして計算した。

(2)の4×4配列体系は、(1)と同様裸の体系であるが、実験架台のテーブルの厚さを変化させているため、実験架台も、計算に含めた。ただし、実験架台の配置が分からないため、既に述べたように、シリンダー配列の占めている範囲まで計算に入れた。

(3)~(5)は、ポリエチレン反射体で囲まれた体系で、(3)には、減速材としてのプレキシグラスが各シリンダーの間に挿入されている。実験体系の可動部と固定部の間に位置するプレキシグラスと、可動部および固定部間の空間との関係は明確でなく、どちら側に空間があるのか不明であるため、ここでの計算ではプレキシグラスは可動部に含め、テーブル間の空間は固定部の方にあるとした。また、反射体に関しても、可動部と固定部の間には反射体がないものとした。この点に関しては、(4)、(5)の体系についても同様である。(3)の $\#19$ の計算体系をFig. 5に示す。

(6)~(8)の体系では、反射体がコンクリートになっている他は、基本的には、ポリエチレン反射体の場合と同様である。

(9)~(12)は、横一列に各種シリンダーを並べ、コンクリート反射体で囲っている体系である。(10)では、文献に与えられている横方向反射体の長さ、Table 15の図で示された配置に矛盾がある。東側および西側反射体の横方向の長さが、図に示されるように、 $81.2\text{cm} \times 2$ であるとすれば、この反射体は横方向に長くはなく、シリンダー列を南北からはさむ反射体より内側にあることになる。計算に際しては、 $81.2\text{cm}$ という数値を正しいものと考えFig. 6に示すようなモデル化を行った。

(13)~(15)では3個のシリンダーが2列配置し、間に何枚かのコンクリート板を仕切りとして挿入している。この仕切枚は、厚さ以外の大きさが不明のため、反射体の外壁までの大きさを持ち、外側にはみ出してないとして計算を行った。

なお、KENO-IV計算での中性子数等の条件は、以下のとおりである。

1世代当りの中性子数	: 300
世代数	: 103
スキップ世代数	: 3
初期中性子発生分布	: 一様分布
中性子の平均重み	: 全領域で0.5

## 4. 計算結果および考察

### 4.1 裸の体系

反射体が付いていない裸の体系についての計算結果をTable 22とTable 23に示す。

Table 22に示したのは、実効増倍率の計算値であるが、 $0.99 \sim 1.03$ の範囲に入っている。また、これらのケースの平均値は $1.014 \pm 0.004$ であり、臨界値1.0よりも約1%程大きくなっている。なお、 $k_1 \sim k_{10}$ までの計算には実験架台を含めていないが、 $k_{11} \sim k_{16}$ の計算には含めている。前者の平均値は $1.011 \pm 0.004$ であり、後者の平均値は $1.019 \pm 0.004$ である。両者の差は約1%あり、実験架台の影響は約1%とされるが、各計算結果のばらつきを見ると1%の差を問題にするのは困難であろう。

Table 23に示したのは、体系から失なわれる中性子のうち、漏れによって失なわれる割合と、中性子エネルギーを $16.5\text{MeV} \sim 183\text{keV}$ 、 $183\text{keV} \sim 0.68\text{eV}$ 、それに $0.68\text{eV}$ 以下の3群に分割した時の核分裂の割合( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ )である。(Table 25, Table 27も同じ)

漏れの割合は、約0.52で、この体系では、吸収により失なわれるよりも、漏れによって失なわれる中性子の方が多いことを示している。また、核分裂は $0.68\text{eV}$ 以上のエネルギー領域で起こり、 $0.68\text{eV}$ 以下の熱群では起こらない。Fig. 7に示す裸の体系での中性子スペクトルを見ると、 $1\text{eV}$ 以下には中性子がほとんど存在しないことが分かる。

(9)~(12)は、横一列に各種シリンダーを並べ、コンクリート反射体で囲っている体系である。(10)では、文献に与えられている横方向反射体の長さ、Table 15の図で示された配置に矛盾がある。東側および西側反射体の横方向の長さが、図に示されるように、 $81.2\text{cm} \times 2$ であるとすれば、この反射体は横方向に長くはなく、シリンダー列を南北からはさむ反射体より内側にあることになる。計算に際しては、 $81.2\text{cm}$ という数値を正しいものと考えFig. 6に示すようなモデル化を行った。

(13)~(15)では3個のシリンダーが2列配置し、間に何枚かのコンクリート板を仕切りとして挿入している。この仕切枚は、厚さ以外の大きさが不明のため、反射体の外壁までの大きさを持ち、外側にはみ出してないとして計算を行った。

なお、KENO-IV計算での中性子数等の条件は、以下のとおりである。

1世代当りの中性子数	: 300
世代数	: 103
スキップ世代数	: 3
初期中性子発生分布	: 一様分布
中性子の平均重み	: 全領域で0.5

## 4. 計算結果および考察

### 4.1 裸の体系

反射体が付いていない裸の体系についての計算結果をTable 22とTable 23に示す。

Table 22に示したのは、実効増倍率の計算値であるが、 $0.99 \sim 1.03$ の範囲に入っている。また、これらのケースの平均値は $1.014 \pm 0.004$ であり、臨界値1.0よりも約1%程大きくなっている。なお、 $\mu_1 \sim \mu_{10}$ までの計算には実験架台を含めていないが、 $\mu_{11} \sim \mu_{16}$ の計算には含めている。前者の平均値は $1.011 \pm 0.004$ であり、後者の平均値は $1.019 \pm 0.004$ である。両者の差は約1%あり、実験架台の影響は約1%とされるが、各計算結果のばらつきを見ると1%の差を問題にするのは困難であろう。

Table 23に示したのは、体系から失なわれる中性子のうち、漏れによって失なわれる割合と、中性子エネルギーを $16.5\text{MeV} \sim 183\text{keV}$ 、 $183\text{keV} \sim 0.68\text{eV}$ 、それに $0.68\text{eV}$ 以下の3群に分割した時の核分裂の割合( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ )である。(Table 25, Table 27も同じ)

漏れの割合は、約0.52で、この体系では、吸収により失なわれるよりも、漏れによって失なわれる中性子の方が多いことを示している。また、核分裂は $0.68\text{eV}$ 以上のエネルギー領域で起こり、 $0.68\text{eV}$ 以下の熱群では起こらない。Fig. 7に示す裸の体系での中性子スペクトルを見ると、 $1\text{eV}$ 以下には中性子がほとんど存在しないことが分かる。

#### 4.2 ポリエチレン反射体付き体系

Table 24 と Table 25 に計算結果を示す。

未臨界体系が、№ 17, № 18, № 20, № 21 と 4 ケース含まれているが、未臨界の体系も、№ 17 を除くと、臨界値 1.0 を超えている。また、未臨界体系を除いた結果では、実効増倍率の計算値は 1.01 ~ 1.05 の範囲でばらついている。これらの平均値は  $1.036 \pm 0.005$  であり、裸の体系より約 2% 高い計算値を与える。なお、№ 22 までの  $2 \times 2$  配列体系はプレキシグラスを減速材としてシリンダー間に挿入しているが、このうち、未臨界の 4 ケースを除いた 2 ケースと、プレキシグラスを挿入していない  $3 \times 3$  および  $4 \times 4$  配列の体系を比較すると、前者の方が後者よりも実効増倍率の計算値が約 3% ほど低い。ただし、サンプル数が少ないため確定は出来ない。

Table 25 から、漏れと核分裂の割合を見ると、プレキシグラスを挿入したケース (№ 17 ~ № 22) では、漏れは 1.2% ~ 1.8% と少ない。核分裂の割合も、平均的に見て、16.5 MeV ~ 183 keV 領域では 0.34, 183 keV ~ 0.68 eV 領域では 0.38, 0.68 eV 以下の領域では 0.28 であり、熱領域での核分裂への寄与は約 30% である。一方、プレキシグラスを挿入しないケース (№ 23 ~ № 29) では、漏れは 4 ~ 10% であり、核分裂の割合は 0.44 : 0.40 : 0.16 である。プレキシグラスを挿入した場合より、漏れは 5 ~ 6 倍増加し、核分裂の割合では高速領域の寄与が増加し、熱領域の寄与が減少している。これは、プレキシグラスにより中性子が体系から漏れる前に減速し、吸収される割合が増加するためであろう。

プレキシグラスを挿入した体系での中性子スペクトルを Fig. 8 に示す。裸の体系と比べ 1 eV 以下の熱領域での中性子が増加しているのが分かる。0.25 eV 付近で、スペクトルにくぼみが見られるのは、 $^{235}\text{U}$  の吸収によるためである。

#### 4.3 コンクリート反射体付き体系

Table 26 と Table 27 に、コンクリート反射体付き体系の計算結果を示す。

Table 26 に示したのは、実効増倍率の計算値である。1.00 ~ 1.06 の範囲に分布しており、未臨界体系を除いた平均値は  $1.029 \pm 0.004$  である。この値は、裸の体系とポリエチレン反射体付き体系での値の間に入る。

Table 27 に示した漏れおよび核分裂の割合を見ると、漏れは約 20% ~ 約 40% の間で変化し、核分裂の割合は 0.4 : 0.5 : 0.1 であり 0.68 eV 以上の高速群での核分裂が支配的である。なお、№ 67 ~ № 70 で、他のケースと比べ熱群での核分裂の割合が多くなっているのは、これらのケースではプレキシグラスをシリンダー間に挿入しており、中性子の減速が他のケースよりも大きいことによる。

コンクリート反射体付きの体系を、配列パターンごとに分類し、実効増倍率の計算値の平均値を比べると Table 28 に示すように、5本のシリンダーを横一列に並べたケースが  $1.015 \pm 0.004$  と一番小さく、コンクリート仕切板の付いたケースが  $1.042 \pm 0.005$  と一番大きく、両者の間には 3% 弱の差が見られる。また  $2 \times 2$  配列と  $3 \times 3$  配列を比べると  $3 \times 3$  配列の方が



1%程大きい。

Fig. 9に、コンクリート反射体付き体系の中性子スペクトルの1例を示す。裸の体系よりも低エネルギー部に中性子が存在しているが、ポリエチレン反射体付き体系ほど熱領域の中性子が多くない。

#### 4.4 計算結果のまとめ

26群MGCLとKENO-IVによるUF。充填シリンダーの配列体系の計算では、Fig. 10に示す頻度グラフから分るように、実効増倍率の計算値は臨界値1.0よりも大部分が大きく算出され、平均値は1.027である。

また、裸の体系、ポリエチレン反射体付き体系、コンクリート反射体付き体系を比較すると、裸の体系、コンクリート反射体付き体系、ポリエチレン反射体付き体系となるに従い、つまり、熱領域の中性子が増加するあるいは体系からの漏れが減少するに従い、実効増倍率の計算値は増加する傾向があると思われる。

UF。充填シリンダー配列体系では、高速中性子の核分裂が支配的であることを考えれば、上記の傾向は、高速群での核分裂を過大に評価し、同時に漏れ量も過大に評価していることになると思われる。あるいは、熱領域での核分裂を過大に評価しているとも考えられるが、熱中性子体系での計算では妥当な結果を与えていることを考慮すれば、高速領域での問題と思われる。

26群MGCLでは、1.85 eV以上の高速領域は11群に分割し、1.85 eV以下は15群に分割している。1.0 eV以上のエネルギーを持つ中性子が支配的な今回の計算体系には、この群構造では不十分と思われる。より詳細な群構造を持つ137群のMGCL(1.85 eV以上は92群)を用いた計算結果を次節で述べる。

#### 4.5 137群MGCLによる計算結果

137群による実効増倍率の計算値と26群の計算値とを比較した表をTable 29に示す。また、137群の結果の頻度グラフをFig. 11に示す。

137群の結果は26群と比べ、3~4%低い実効増倍率になり、0.95~1.02の間に分布する。また、裸の体系と反射体付き体系の差も明白になり、0.975以下は裸の体系で、0.975以上は反射体付き体系となって2つに分けられる。裸の体系でピークが2つ現われるのは、実験架台を考慮しているか無視しているかによる違いが現われたためであろう。実験架台を含めた方が1%程上昇している。反射体付き体系のうちポリエチレン反射体付き体系では、平均値が $0.995 \pm 0.004$ である。一方コンクリート反射体付き体系では、平均値が $0.997 \pm 0.004$ である。両者の違いは、26群での違いほど明白ではなくなり、両体系とも臨界値1.0に近づいた。

なお、コンクリート反射体付き体系のうち、No. 71~No. 81の仕切板付きのケースは、他のケースよりも実効増倍率の計算値が大きい傾向にある(26群の計算では2%~3%、137群の計算では1%~2%)。このことは、仕切板で隔てられた2つのシリンダー列の間では吸収が小

さく見積もられているのではないかと思われる。つまり、コンクリート仕切板を透過する中性子が実際よりも多くなっているのではないかと推定される。

参考のために、26群と137群の計算を行った際の中性子スペクトルをFig. 12に示す。137群のスペクトルでは、100 keV近傍の高速領域でも構造が見られるが、26群では、この構造を再現していない。

## 5. 結 論

UF<sub>6</sub> (97.7 wt% <sup>235</sup>U) 充填シリンダー群の配列による臨界体系の26群MGCLおよびKENO-IVコードによる計算からは、以下のことが結論として述べられる。

- (1) 実効増倍率の計算値は、0.995 ~ 1.055 の範囲に入り、平均的にみて臨界値1.0よりも大きめに算出される。
- (2) 裸の体系からコンクリート反射体付き体系、ポリエチレン反射体付き体系へと中性子スペクトルが軟くなり、漏れが減少するに従い実効増倍率は大きく算出される傾向にある。
- (3) コンクリート反射体付き体系のうちでも、コンクリート仕切板で2つのシリンダー列を隔てている体系では、他のケースよりも、実効増倍率が大きく算出され、コンクリートによる仕切効果が実際よりも少ないように思われる。

また、26群より詳細な群構造を持つ137群MGCLによる計算では、次のようなことが判った。

- (4) 実効増倍率の計算値は、26群MGCLによる計算値よりも平均的に3~4%低く0.95~1.02の範囲に入り、その平均値は26群MGCLによる計算よりも臨界値1.0に近くなった。
- (5) 裸の体系と反射体付き体系とは、計算された $k_{eff}$ が0.975を境にして分離され、ポリエチレン反射体とコンクリート反射体による違いは、26群MGCLによる計算ほど明白には現われなかった。
- (6) コンクリート仕切板による仕切効果は、26群MGCLほど顕著ではないが、同様に、実際より少ないのではないかと推定される。

今回の計算の結果を見ると、本計算体系のように高速中性子が支配的な体系では、26群MGCLのように高速領域での群構造が粗いライブラリーで計算するのは不適當であり、137群MGCLのように詳細な群構造を持つライブラリーを用いて計算する必要がある。小数群で計算する場合には、高速領域の群構造をどのようにするかが問題である。

137群MGCLを用いても、裸の体系では、実効増倍率が4~5%程臨界値よりも低く算出されるが、このことも今後に残された問題である。

## 謝 辞

今回のベンチマーク計算には、契約に基づき、日立製作所、住友原子力工業、石川島播磨重工業、日揮、日本原子力事業の各社の御協力を得ており、また動燃事業団にも参加していただ

さく見積もられているのではないかとと思われる。つまり、コンクリート仕切板を透過する中性子が実際よりも多くなっているのではないかと推定される。

参考のために、26群と137群の計算を行った際の中性子スペクトルをFig. 12に示す。137群のスペクトルでは、100 keV近傍の高速領域でも構造が見られるが、26群では、この構造を再現していない。

## 5. 結 論

UF<sub>6</sub> (97.7 wt% <sup>235</sup>U) 充填シリンダー群の配列による臨界体系の26群MGCLおよびKENO-IVコードによる計算からは、以下のことが結論として述べられる。

- (1) 実効増倍率の計算値は、0.995～1.055の範囲に入り、平均的にみて臨界値1.0よりも大きめに算出される。
- (2) 裸の体系からコンクリート反射体付き体系、ポリエチレン反射体付き体系へと中性子スペクトルが軟くなり、漏れが減少するに従い実効増倍率は大きく算出される傾向にある。
- (3) コンクリート反射体付き体系のうちでも、コンクリート仕切板で2つのシリンダー列を隔てている体系では、他のケースよりも、実効増倍率が大きく算出され、コンクリートによる仕切効果が実際よりも少ないように思われる。

また、26群より群細な群構造を持つ137群MGCLによる計算では、次のようなことが判った。

- (4) 実効増倍率の計算値は、26群MGCLによる計算値よりも平均的に3～4%低く0.95～1.02の範囲に入り、その平均値は26群MGCLによる計算よりも臨界値1.0に近くなった。
- (5) 裸の体系と反射体付き体系とは、計算された $k_{eff}$ が0.975を境にして分離され、ポリエチレン反射体とコンクリート反射体による違いは、26群MGCLによる計算ほど明白には現われなかった。
- (6) コンクリート仕切板による仕切効果は、26群MGCLほど顕著ではないが、同様に、実際より少ないのではないかと推定される。

今回の計算の結果を見ると、本計算体系のように高速中性子が支配的な体系では、26群MGCLのように高速領域での群構造が粗いライブラリーで計算するのは不適當であり、137群MGCLのように詳細な群構造を持つライブラリーを用いて計算する必要がある。小数群で計算する場合には、高速領域の群構造をどのようにするかが問題である。

137群MGCLを用いても、裸の体系では、実効増倍率が4～5%程臨界値よりも低く算出されるが、このことも今後に残された問題である。

## 謝 辞

今回のベンチマーク計算には、契約に基づき、日立製作所、住友原子力工業、石川島播磨重工業、日揮、日本原子力事業の各社の御協力を得ており、また動燃事業団にも参加していただ

さく見積もられているのではないかとと思われる。つまり、コンクリート仕切板を透過する中性子が実際よりも多くなっているのではないかと推定される。

参考のために、26群と137群の計算を行った際の中性子スペクトルをFig. 12に示す。137群のスペクトルでは、100 keV近傍の高速領域でも構造が見られるが、26群では、この構造を再現していない。

## 5. 結 論

UF<sub>6</sub> (97.7 wt% <sup>235</sup>U) 充填シリンダー群の配列による臨界体系の26群MGCLおよびKENO-IVコードによる計算からは、以下のことが結論として述べられる。

- (1) 実効増倍率の計算値は、0.995 ~ 1.055の範囲に入り、平均的にみて臨界値1.0よりも大きめに算出される。
- (2) 裸の体系からコンクリート反射体付き体系、ポリエチレン反射体付き体系へと中性子スペクトルが軟くなり、漏れが減少するに従い実効増倍率は大きく算出される傾向にある。
- (3) コンクリート反射体付き体系のうちでも、コンクリート仕切板で2つのシリンダー列を隔てている体系では、他のケースよりも、実効増倍率が大きく算出され、コンクリートによる仕切効果が実際よりも少ないように思われる。

また、26群より群細な群構造を持つ137群MGCLによる計算では、次のようなことが判った。

- (4) 実効増倍率の計算値は、26群MGCLによる計算値よりも平均的に3~4%低く0.95~1.02の範囲に入り、その平均値は26群MGCLによる計算よりも臨界値1.0に近くなった。
- (5) 裸の体系と反射体付き体系とは、計算された $k_{eff}$ が0.975を境にして分離され、ポリエチレン反射体とコンクリート反射体による違いは、26群MGCLによる計算ほど明白には現われなかった。
- (6) コンクリート仕切板による仕切効果は、26群MGCLほど顕著ではないが、同様に、実際より少ないのではないかと推定される。

今回の計算の結果を見ると、本計算体系のように高速中性子が支配的な体系では、26群MGCLのように高速領域での群構造が粗いライブラリーで計算するのは不適當であり、137群MGCLのように詳細な群構造を持つライブラリーを用いて計算する必要がある。小数群で計算する場合には、高速領域の群構造をどのようにするかが問題である。

137群MGCLを用いても、裸の体系では、実効増倍率が4~5%程臨界値よりも低く算出されるが、このことも今後に残された問題である。

## 謝 辞

今回のベンチマーク計算には、契約に基づき、日立製作所、住友原子力工業、石川島播磨重工業、日揮、日本原子力事業の各社の御協力を得ており、また動燃事業団にも参加していただ

いた。ここに謝意を表します。又、日本原子力事業の飯島俊吾氏からは有益なコメントをいただきました。また日本原子力研究所安全解析部長、桂木学氏にも終始貴重な御助言と御協力を得たので感謝いたします。

## 参 考 文 献

1. Y. NAITO et al. to be published
2. L.M.PETRIE and N.F.CROSS, "KENO-IV, An Improved Monte Carlo Criticality Program," ORNL-4938, Oak Ridge National Laboratory (Nov. 1975)
3. J.T.THOMAS, "Critical Experiments with  $UF_6$  Cylinder Model 8A Containers," Y-DR-128, Union Carbide Corporation (Sep. 1974)
4. G.E.HANSEN and W.H.ROACH, "Six and Sixteen Group Cross Sections for Fast and Intermediate Critical Assemblies," LAMS-2543, Los Alamos Scientific Laboratory (1961)
5. M.K.DRAKE, "Data Formats and Procedures for the ENDF Neutron Cross Section Library," BNL-50274, Brookhaven National Laboratory (1970)
6. O.OZER, "Program RESEND," BNL-17134, Brookhaven National Laboratory (1972)
7. R.Q.WRIGHT et al., "SUPERTOG : A Program to Generate Group Constants and Pn Scattering Matrices from ENDF/B," ORNL-TM-2679, Oak Ridge National Laboratory (1969)
8. J.D.MACDOUGALL, "PIXSE," AEEW-M 318, Atomic Energy Establishment, Winfrith (1963)
9. I.I.BONDARENKO et al., "Group Constants for Nuclear Reactor Calculation," Consultants Bureau, New York, (1964)
10. S.KATSURAGI et al., "JAERI Fast Reactor Group Constants System, part 1 and 2," JAERI 1195, Japan Atomic Energy Research Institute (1970)
11. H.C.HONECK and D.R.FINCH, "FLANGE II ; A Code to Process Thermal Neutron Data from an ENDF/B Tape," DP-2179, E.I.Du Pont De Mours & Company (1971)

Table 1 Uranium Isotopic Analysis.

Isotope	wt %
234	0.77
235	97.66
236	0.23
238	1.34

Table 2 Description of UF<sub>6</sub> Cylinders.

Cylinder Number <sup>a</sup>	UF <sub>6</sub> Mass (kg)	Average <sup>b</sup> Height (cm)	Calculated Density (g UF <sub>6</sub> /cm <sup>3</sup> )
460	108.024	72.4	4.60
494	110.178	74.4	4.57
453	111.562	76.0	4.53
451	110.904	79.0	4.33
439	110.904	79.0	4.33
483	110.043	80.3	4.23
437	110.610	81.0	4.21
475	111.313	83.8	4.13
351	111.494	83.8	4.10
438	111.993	85.3	4.05
492	109.589	83.8	4.03
491	110.178	84.6	4.02
468	112.242	89.9	3.85
423	113.353	98.8	3.54
485	110.451	98.0	3.47
462	109.884	103.1	3.23

- a. The average tare weight of the cylinders was  $45.4 \pm 0.2$  kg.  
 b. Height value is the average of 5 readings of X-rays. Density calculated from mass of UF<sub>6</sub>, height, and assumed uniform inside diameter of 20.3 cm.

Table 3 Number Densities of UF<sub>6</sub> Composition  
(10<sup>24</sup> cm<sup>-3</sup>)

cylinder No	Elements					
	<sup>234</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>236</sup> U	<sup>238</sup> U	F	H <sup>a)</sup>
460	6.138×10 <sup>-5</sup>	7.752×10 <sup>-3</sup>	1.818×10 <sup>-5</sup>	1.050×10 <sup>-4</sup>	4.762×10 <sup>-2</sup>	3.492×10 <sup>-4</sup>
494	6.098×10 <sup>-5</sup>	7.701×10 <sup>-3</sup>	1.806×10 <sup>-5</sup>	1.043×10 <sup>-4</sup>	4.731×10 <sup>-2</sup>	3.469×10 <sup>-4</sup>
453	6.045×10 <sup>-5</sup>	7.634×10 <sup>-3</sup>	1.790×10 <sup>-5</sup>	1.034×10 <sup>-4</sup>	4.689×10 <sup>-2</sup>	3.439×10 <sup>-4</sup>
451	5.778×10 <sup>-5</sup>	7.297×10 <sup>-3</sup>	1.711×10 <sup>-5</sup>	9.885×10 <sup>-5</sup>	4.482×10 <sup>-2</sup>	3.287×10 <sup>-4</sup>
439	"	"	"	"	"	"
483	5.644×10 <sup>-5</sup>	7.128×10 <sup>-3</sup>	1.672×10 <sup>-5</sup>	9.657×10 <sup>-5</sup>	4.379×10 <sup>-2</sup>	3.211×10 <sup>-4</sup>
437	5.618×10 <sup>-5</sup>	7.094×10 <sup>-3</sup>	1.663×10 <sup>-5</sup>	9.611×10 <sup>-5</sup>	4.358×10 <sup>-2</sup>	3.196×10 <sup>-4</sup>
475	5.511×10 <sup>-5</sup>	6.960×10 <sup>-3</sup>	1.632×10 <sup>-5</sup>	9.429×10 <sup>-5</sup>	4.275×10 <sup>-2</sup>	3.135×10 <sup>-4</sup>
351	5.471×10 <sup>-5</sup>	6.909×10 <sup>-3</sup>	1.620×10 <sup>-5</sup>	9.360×10 <sup>-5</sup>	4.244×10 <sup>-2</sup>	3.113×10 <sup>-4</sup>
438	5.404×10 <sup>-5</sup>	6.825×10 <sup>-3</sup>	1.600×10 <sup>-5</sup>	9.246×10 <sup>-5</sup>	4.192×10 <sup>-2</sup>	3.075×10 <sup>-4</sup>
492	5.377×10 <sup>-5</sup>	6.791×10 <sup>-3</sup>	1.593×10 <sup>-5</sup>	9.200×10 <sup>-5</sup>	4.172×10 <sup>-2</sup>	3.059×10 <sup>-4</sup>
491	5.364×10 <sup>-5</sup>	6.774×10 <sup>-3</sup>	1.589×10 <sup>-5</sup>	9.178×10 <sup>-5</sup>	4.161×10 <sup>-2</sup>	3.052×10 <sup>-4</sup>
468	5.137×10 <sup>-5</sup>	6.488×10 <sup>-3</sup>	1.521×10 <sup>-5</sup>	8.789×10 <sup>-5</sup>	3.985×10 <sup>-2</sup>	2.923×10 <sup>-4</sup>
423	4.724×10 <sup>-5</sup>	5.965×10 <sup>-3</sup>	1.399×10 <sup>-5</sup>	8.082×10 <sup>-5</sup>	3.664×10 <sup>-2</sup>	2.688×10 <sup>-4</sup>
485	4.630×10 <sup>-5</sup>	5.847×10 <sup>-3</sup>	1.371×10 <sup>-5</sup>	7.922×10 <sup>-5</sup>	3.592×10 <sup>-2</sup>	2.634×10 <sup>-4</sup>
462	4.377×10 <sup>-5</sup>	5.527×10 <sup>-3</sup>	1.296×10 <sup>-5</sup>	7.488×10 <sup>-5</sup>	3.395×10 <sup>-2</sup>	2.490×10 <sup>-4</sup>

a) H/U atomic ratio is assumed to be 0.044.



Table 4 Number Densities of Plexiglas and Polyethylene  
( $10^{-24} \text{ cm}^{-3}$ )

	Plexiglas	Polyethylene
Carbon	$3.570 \times 10^{-2}$	$3.9501 \times 10^{-2}$
Hydrogen	$5.666 \times 10^{-2}$	$7.9002 \times 10^{-2}$
Oxygen	$1.428 \times 10^{-2}$	—

Table 5 Chemical and Spectrographical Analysis of Concrete.<sup>a</sup>

Element	Atom Densities ( $\text{cm}^{-3}$ )	Element	Atom Densities ( $\text{cm}^{-3}$ )
H	$4.24 \times 10^{21}$	Cl	$1.90 \times 10^{19}$
C	$1.13 \times 10^{22}$	K	$3.11 \times 10^{20}$
O	$4.02 \times 10^{22}$	Ca	$7.27 \times 10^{21}$
Na	$7.9 \times 10^{19}$	Ti	$4.0 \times 10^{19}$
Mg	$4.99 \times 10^{21}$	Mn	$1.2 \times 10^{19}$
Al	$3.75 \times 10^{20}$	Fe	$1.29 \times 10^{20}$
Si	$1.93 \times 10^{21}$	Sr	$8.9 \times 10^{18}$
S	$1.00 \times 10^{20}$	Ba	$3.9 \times 10^{18}$

a. Concrete shielding blocks, 10.2 x 20.3 x 40.6 cm, at a density of 2.15 g/cm<sup>3</sup>.

Table 6 Critical Conditions for an Unreflected 3 x 4 Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders.

		Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
	1	22.52	2.56	1	
	2	22.68	0.74	-	
	3	22.73	0.61	-	
	4	22.81	0.12	2	
	5	22.81	0.19	3	
	6	22.81	1.01	4	
	7	22.81	0.13	5	
	8	22.81	1.26	6	
	9	22.81	1.48	7	
	10	22.81	1.21	8	

NOTES:

1. The 3 x 3 array was subcritical. Cylinders are in contact in the 3 x 4 array. Assembly is subcritical with Cylinder 494 removed.
2.  $k_{eff}$  of assembly at table closure was 1.0010.
3. Assembly as in Experiment 4. Cylinder realignment performed.  $k_{eff}$  at table closure was 1.0013.
4. Exchanged Cylinder No. 460 for No. 423.
5. Exchanged Cylinder No. 423 for No. 460.  $k_{eff}$  at table closure was 1.0013.
6. Exchanged Cylinders Nos. 438 and 423.
7. Exchanged Cylinder No. 460 for No. 423.
8. Exchanged Cylinder No. 462 for No. 460.

Cylinder No.	Mass	Density
460	108.0	4.60
438	112.0	4.05
423	113.4	3.54
462	109.9	3.28

Table 7 Critical Conditions for an Unreflected 4 x 4 Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders.

				Experiment	Cylinder	Table		
				No.	Center	Separation	Notes	
					Separation	at Critical		
					(cm)	(cm)		
	483	475	494	423	11	24.50	4.10	1
	468	437	351	460	12	24.82	1.16	-
	492	438	453	491	13	24.91	0.88	-
	462	485	439	451	14	24.96	0.34	2
					15	24.96	1.14	3
					16	24.96	0.33	4

NOTES:

1. Assembly is subcritical upon removal of Cylinder No. 423.
2.  $k_{eff}$  of assembly at table closure was 1.0017.
3. Thickness of steel supporting assembly increased from 2.5 to 3.2 cm, i.e., 0.64-cm-thick steel plate added to table top. Reactivity increase to assembly estimated as 60 cents based upon  $\beta_{eff} = 0.0066$ .
4. Steel plate removed and cylinders reassembled,  $k_{eff}$  at table closure was 1.0014. Comparison of Experiments 14 and 16 is measure of reproducibility of assemblies.

Table 8 Critical Conditions for a 2 x 2 Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders Reflected on 5 Sides by 25.3-cm Thickness of Polyethylene and Moderated by Plexiglas.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
17	22.52	--	1
18	23.66	--	2
19	25.05	1.22	3
20	25.61	--	4
21	26.24	--	5
22	25.13	0.59	6

## NOTES:

1. Assembly subcritical. No Plexiglas moderator, cylinder in contact, and close-fitting reflector on 5 sides.
2. Assembly subcritical. Plexiglas thickness was 1.14 cm and cylinders in contact with reflector and Plexiglas. Height of Plexiglas and reflector was 147.3 cm.
3. Plexiglas thickness increased to 2.5 cm. Cylinders in contact with reflector and Plexiglas.
4. Assembly subcritical. Cylinders spaced 0.32 cm from reflector and Plexiglas.
5. Plexiglas thickness increased to 3.1 cm. Assembly subcritical.
6. Plexiglas thickness decreased to 2.5 cm and spaced 0.16 cm from reflector and Plexiglas.

Table 9 Critical Conditions for a 3 x 3 Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders Reflected on 5 Sides by 15.2-cm Thickness of Polyethylene.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
23	23.56	0.56	1
24	24.17	~10.9	2
25	24.84	~ 7.1	-
26	26.09	0.31	3

Movable → Stationary

NOTES:

1. Cylinder No. 483 removed. Reflector at cell boundary, i.e., one-half cylinder surface separation.
2. Assembly as shown, i.e., cylinder No. 483 added.
3.  $k_{eff}$  at table closure was 1.0015. Assembly reflected on 5 sides; height of reflector in Experiments 23-26 was 146.7 cm.

Table 10 Critical Conditions for a 4 x 4 Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders with Various Polyethylene Reflector Conditions.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation At Critical (cm)	Notes
27	29.19	0.44	1
28	29.19	0.60	2
29	29.59	0.0	3

The diagram shows a 4x4 array of cylinders. The top half is labeled 'Movable' and the bottom half 'Stationary'. A 'Polyethylene' reflector surrounds the array. The cylinders are numbered as follows:

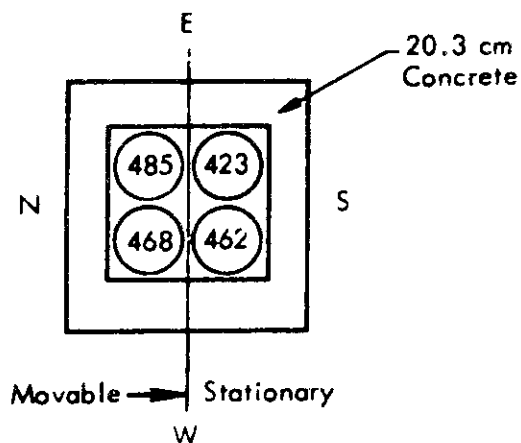
462	451	468	492
485	491	483	475
438	423	351	437
453	494	439	460

NOTES:

1. Assembly reflected on 5 sides by 15.2-cm-thick polyethylene. Height of reflector was 146.7 cm.  $k_{eff}$  of assembly at table closure was 1.0018.
2. Polyethylene reflector, 15.24-cm-thick, placed on top of stationary half of assembly. Reflector height on movable table reduced to 106.0 cm.
3. Assembly reflected on 6 sides. Inside height of reflector cavity was 146.7 cm.  $k_{eff}$  of assembly was 0.9993.

Table 11 Critical Conditions for a 2 x 2 Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders Reflected on 5 Sides by a 20.3-cm Thickness of Concrete and Complete Reflection.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation At Critical (cm)	Notes
30	22.52	0.96	1
31	23.12	--	2
32	23.12	1.52	3
33	23.12	1.86	4
34	23.12	2.01	5
35	23.12	1.65	6
36	22.84	0.18	7
37	22.84	0.12	8
38	22.68	0.54	9
39	22.68	0.62	10



NOTES:

- Concrete reflector (20.3-cm thickness) on bottom and 4 sides. Reflector height was 147.3 cm.
- Assembly subcritical.  $k_{eff}$  at table closure = 0.993.
- Concrete reflector thickness on 4 sides increased to 30.5 cm. Top of array was unreflected.
- Concrete reflector thickness on 3 sides (N, E, S) increased to 40.6 cm. Top of array was unreflected.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was +0.0022.
- Add top reflector of concrete 20.3-cm thick.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was + 0.0015.
- Return concrete reflector thickness on 4 sides to 30.5 cm.  $\Delta k_{eff}$  of top addition to Experiment No. 32 evaluated as +0.0013.
- Assembly reflected on 6 sides by 20.3-cm-thick concrete.  $k_{eff}$  of assembly at table closure was 1.0013.
- Remove top reflector,  $k_{eff}$  at table closure was 1.0010.
- Assembly reflected on 5 sides by 20.3-cm-thick concrete.
- Add 20.3-cm-thick concrete reflector to top.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was +0.0009.

Table 12 Critical Conditions for a 2 x 2 Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders with Various Concrete Reflector Conditions.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
40	25.70	--	1
41	25.70	1.04	2
42	25.70	1.35	3
43	25.70	1.56	4
44	25.70	1.26	5
45	25.01	--	6
46	25.01	--	7

NOTES:

1. Assembly subcritical reflected on bottom and 4 sides by 20.3-cm-thick concrete. Reflector height was 147.3 cm.
2. Assembly reflected on 4 sides by 30.5-cm-thick concrete and on bottom by 20.3-cm thickness.
3. Concrete reflector thickness increased to 40.6 cm on 3 sides (N, E, S) of assembly.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was +0.0021.
4. Add 20.3-cm-thick concrete reflector to top of assembly.  $\Delta k_{eff}$  of top addition +0.0019.
5. Reduced reflector thickness on 4 sides to 30.5 cm. Comparison of Experiments 41 and 44 estimate  $\Delta k_{eff}$  for top reflector as +0.0019.
6. Assembly reflected on 6 sides by 20.3-cm-thick concrete. Assembly subcritical,  $k_{eff} = 0.9987$ .
7. Remove top reflector,  $\Delta k_{eff}$  of perturbation -0.0008.



Table 13 Critical Conditions for a 3 x 3 Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders with Various Concrete Reflector Conditions.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
47	30.78	1.35	1
48	31.18	--	2
49	31.18	2.31	3
50	31.18	1.83	4

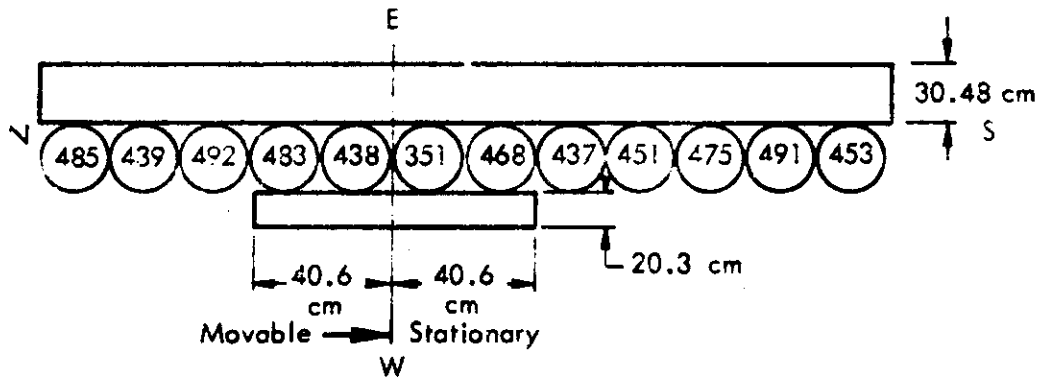
  

NOTES:

1. Assembly reflected on bottom and 4 sides by 20.3-cm-thick concrete. Reflector height was 147.3 cm.
2. Assembly supercritical,  $k = 1.0009$  at table closure.
3. Add top reflector 20.3-cm-thick concrete. Reactivity gap sensitivity measurement extrapolated to closure indicates  $k_{eff} > 1.01$  at table closure.
4. Thickness of top reflector reduced to 10.2 cm.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was  $-0.0021$ .

Table 14 Critical Conditions for a 1 x 12 Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders with Various Concrete Reflector Conditions.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
51	22.52	0.69	1
52	22.52	0.62	2
53	22.52	0.61	3
54	22.52	--	4

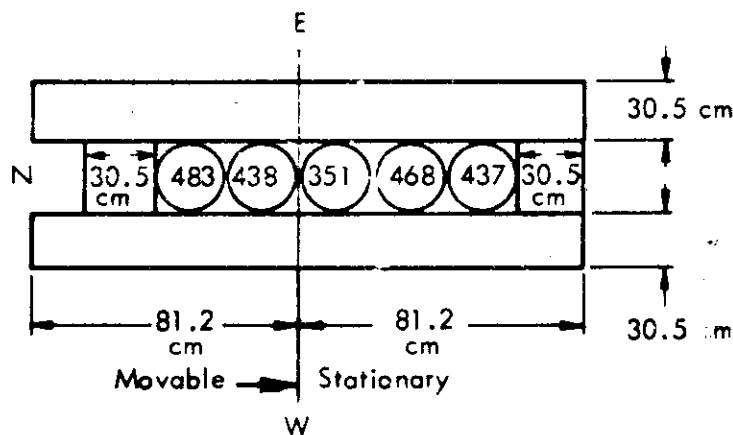


NOTES:

1. Assembly was subcritical reflected on one side by 30.5-cm-thick and by 20.3-cm thickness on bottom. Reflector height was 147.3 cm. Criticality achieved with reflector addition to west side as shown.
2. Removed Cylinder No. 485.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was -0.0006.
3. Removed cylinder No. 453.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was -0.0001.
4. Assembly subcritical upon removing cylinder Nos. 491, 475, 451, and 439. Six cylinders remain in assembly.

Table 15 Critical Conditions for a 1 x 5 Linear Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders with Various Concrete Reflector Conditions.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
55	26.66	--	1
56	26.66	0.00	2
57	26.33	0.38	3
58	26.33	0.72	4
59	26.33	0.94	5
60	26.33	--	6
61	26.33	0.28	7
62	26.33	0.67	8

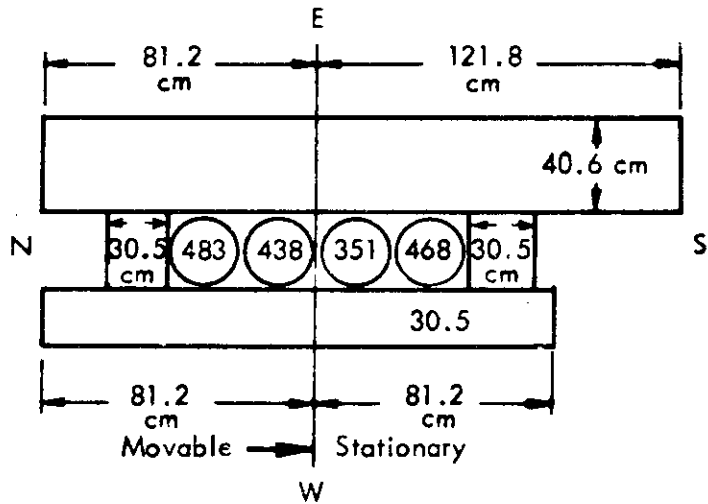


NOTES:

1. Assembly subcritical. Reflected on bottom and 4 sides; height of reflector 147.3 cm. Units in contact with reflector,  $k_{eff} = \sim 0.9997$ .
2. Added 20.3-cm-thick top reflector,  $k_{eff} = 0.9997$ .
3. Assembly supercritical.  $k_{eff} = 1.0018$  at table closure, top and bottom reflector 20.3-cm-thick concrete.
4. Increased reflector thickness on stationary table to 40.6 cm on East side.  $k_{eff}$  at closure = 1.0038.
5. Increased reflector thickness on movable table to 40.6 cm on East side.  $k_{eff}$  at closure = 1.0049.
6. Removed 30.5-cm-thick reflector from North side, i.e., unreflected North end. Assembly subcritical.
7. Added 10.16-cm thickness of concrete to North side of assembly.  $k_{eff}$  at closure = 1.0012.
8. Increase reflector thickness on North side to 20.3 cm.  $k_{eff}$  of assembly at closure = 1.0040.  
Comparison with configuration in Note 3 gives +0.0012 as  $\Delta k_{eff}$  addition due to increasing East reflector thickness from 30.5 to 40.6 cm.

Table 16 Critical Conditions for a 1 x 4 Linear Array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders with Various Concrete Reflector Conditions.

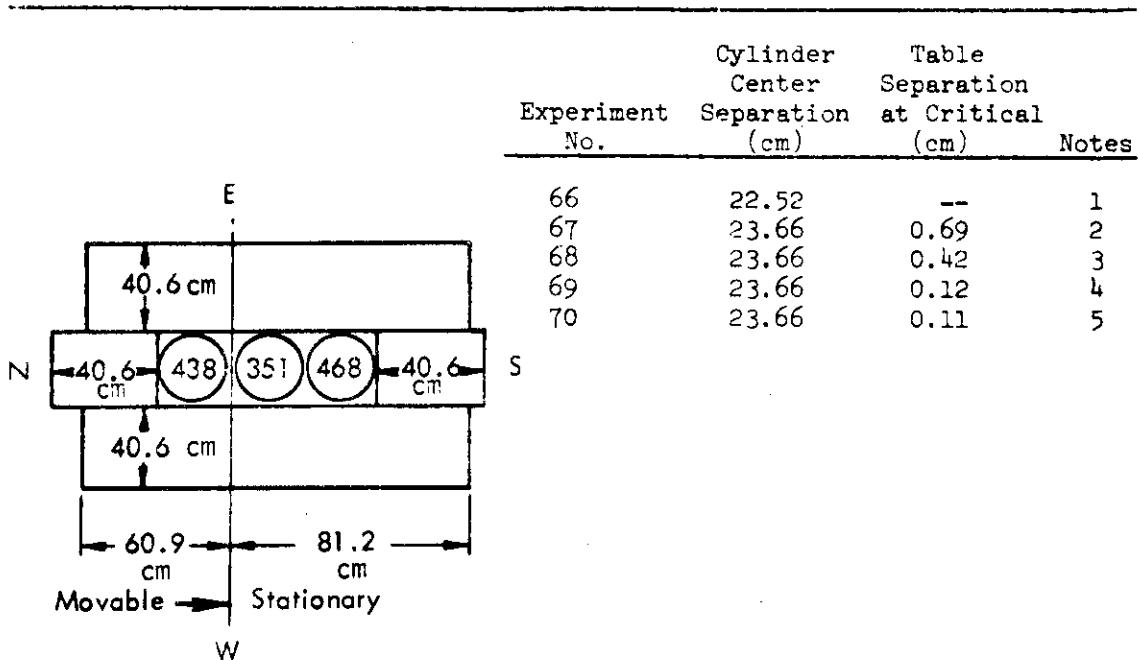
Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
63	24.72	0.56	1
64	24.72	0.65	2
65	24.72	0.23	3



NOTES:

1. Assembly unreflected on top. Bottom reflector was 20.3-cm-thick concrete and height of reflector was 147.3 cm. Cylinders in contact with reflector.
2. Added top concrete reflector 20.3-cm thick.  $\Delta k_{eff}$  of addition was +0.0007.
3. Reduced reflector thickness on East side from 40.6 to 30.5 cm.  $k_{eff}$  of assembly at table closure was 1.0013.

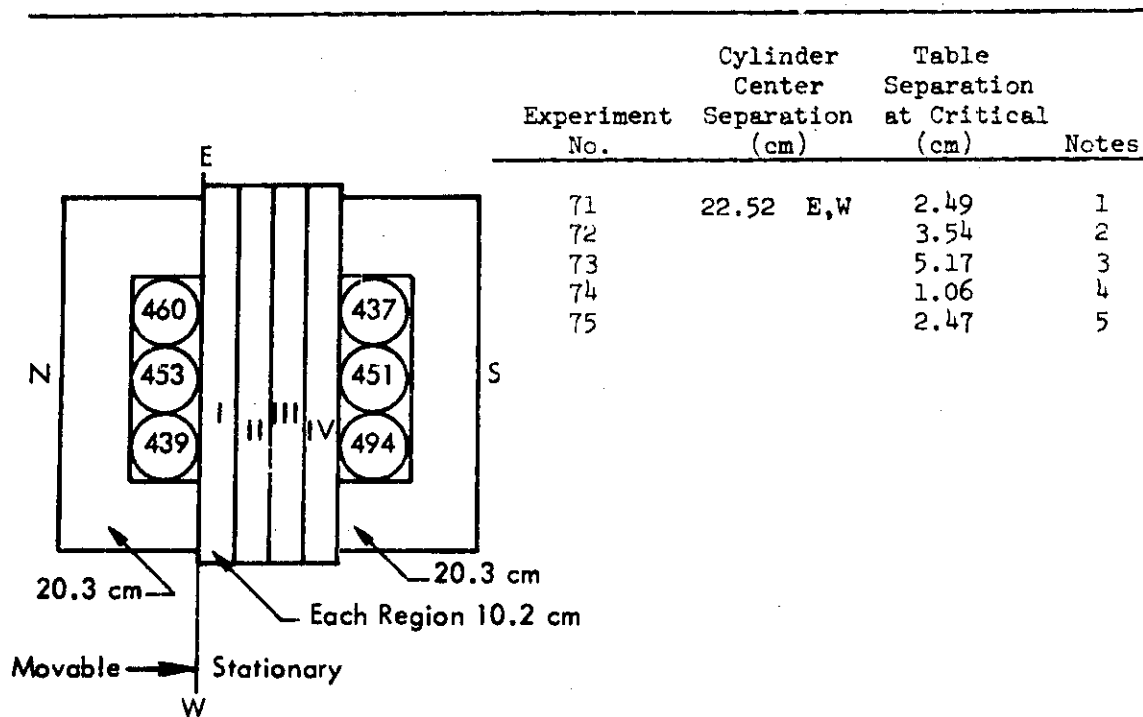
Table 17 Critical Conditions for a 1 x 3 linear array of U(97.7)F<sub>6</sub> Cylinders with Various Reflector Conditions and with Plexiglas Separating the Cylinders.



NOTES:

1. Concrete reflector thickness was 40.6 cm on 4 sides and 20.3 cm on bottom. Cylinders in contact. Reflector was close fitting. Assembly subcritical.
2. Top reflector 20.3-cm-thick concrete added. Two Plexiglas sheets 121.9 x 22.2 x 1.14 cm inserted between cylinders. Reflector in contact with cylinders.
3. Reduced reflector thickness on West side to 30.5 cm.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was -0.0025.
4. Reduced reflector thickness on East side to 30.5 cm.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was -0.0022.
5. Removed top reflector.  $\Delta k_{eff}$  of perturbation was -0.0001.  $k_{eff}$  of assembly at table closure was 1.0008.

Table 18 Critical Conditions for Two Linear Three-Cylinder Arrays with Close Fitting Concrete Reflectors Neutron Coupled through a 40.6-cm Thickness of Concrete.



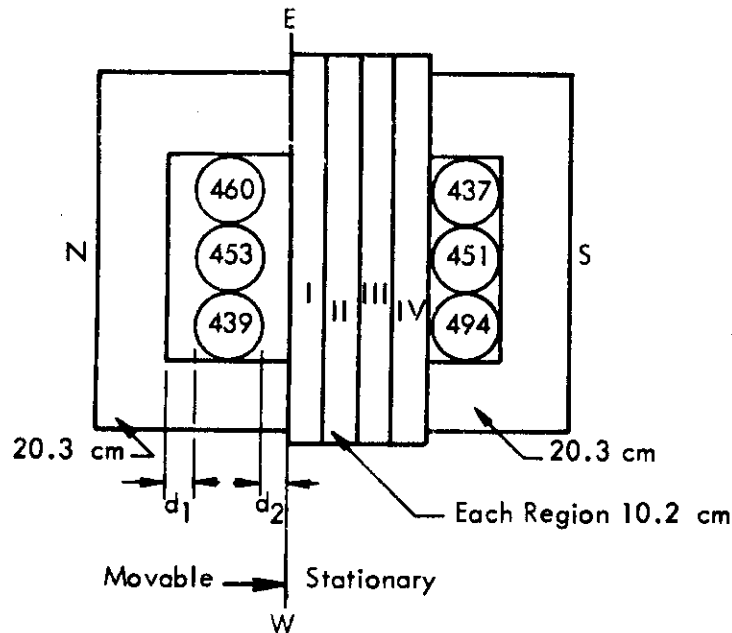
Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
71	22.52 E,W	2.49	1
72		3.54	2
73		5.17	3
74		1.06	4
75		2.47	5

NOTES:

1. Assembly consisted of 2 arrays each containing 3 cylinders in contact as linear array reflected by 20.3-cm-thick concrete on top, bottom, and 3 sides. The other (fourth) side of each array was neutron coupled through 40.6 cm of concrete as 4 regions, 10.2-cm-thick, as shown. Reflector height inside cavities was 147.3 cm. Center separation of the parallel arrays was 63.3 cm at table closure.
2. Concrete of Region I removed.
3. Concrete of Region II removed.
4. Concrete of Region III removed.
5. Replaced concrete in Regions I-III. Difference in table position at critical compared to Experiment 71 was  $7.1 \times 10^{-5}$  in  $\Delta k_{eff}$ .

Table 19 Critical Conditions for Two Linear Three-Cylinder Arrays with Concrete Reflectors Neutron Coupled Through a 40.6-cm Thickness of Concrete.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Reflector Cylinder Separation		Notes
			$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	
76	22.52 E,W	--	1.91	1.91	1
77		0.22	1.27	1.91	2
78		0.13	0.95	2.22	3

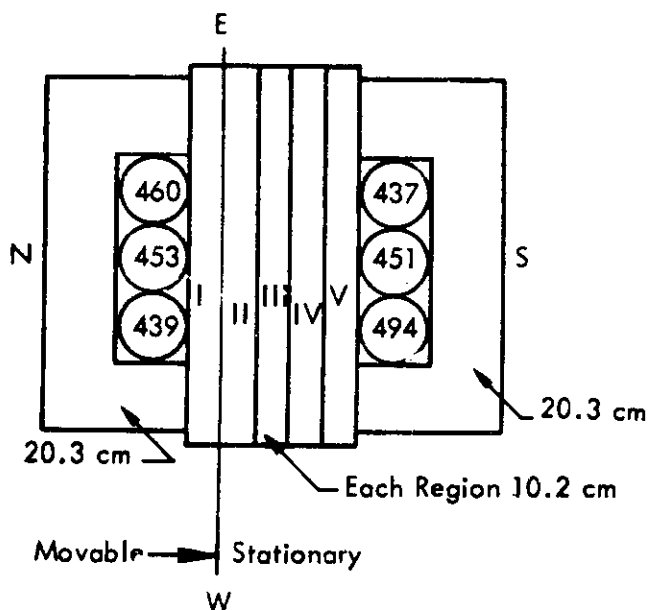


NOTES:

1. Assembly consisted of two parallel linear arrays each containing 3 cylinders in contact. Cylinders in South array were in contact with concrete reflector on lateral sides. Cylinders in North array were in contact with concrete except for surface separations described by  $d_1$  and  $d_2$  shown in diagram. Reflector height inside cavities was 147.3 cm. Center separation of two parallel arrays at table closure was 65.2 cm. The assembly was subcritical but at a high source neutron multiplication.
2. North side reflector moved inward to decrease  $d_1$ .  $k_{eff}$  of assembly at table closure was 1.0005.
3. Cylinders moved in North direction to decrease  $d_1$  and increase  $d_2$ .  $k_{eff}$  of assembly at table closure was 1.0003.

Table 20 Critical Conditions for Two Linear Three-Cylinder Arrays of  $U(97.7)F_6$  with Various Reflector Conditions Neutron Coupled Through a 50.8-cm Thickness of Concrete.

Experiment No.	Cylinder Center Separation (cm)	Table Separation at Critical (cm)	Notes
79	22.52 E,W	--	1
80		0.39	2
81		7.36	3



NOTES:

1. Assembly consisted of two parallel linear arrays each containing 3 cylinders in contact. Concrete reflector is 20.3-cm thick and was in contact with lateral surfaces of cylinders. Arrays were reflected on six sides. Height of reflector cavities was 147.3 cm. Center separation of two parallel arrays at table closure was 73.3 cm. Assembly was subcritical with an apparent neutron source multiplication greater than 5.
2. Reflector thickness on North side increased to 30.5 cm.  $k_{eff}$  of assembly at table closure was 1.0007.
3. Reflector thickness on South side increased to 30.5 cm.



Table 21 Energy Structure of MGCL 137 and MGCL 26

Group No		Upper Energy Boundary	Lethergy width $\Delta U$	Group No		Upper Energy Boundary	Lethergy width $\Delta U$	
<sup>26</sup> Gr.	<sup>137</sup> Gr.			<sup>26</sup> Gr.	<sup>137</sup> Gr.			
1	1	16.487 MeV	0.125	4	38	161.63 keV	0.125	
	2	14.550	0.125		39	142.64	0.125	
	3	12.840	0.125		40	125.88	0.125	
	4	11.331	0.125		41	111.09	0.125	
	5	10.000	0.125		42	98.037	0.125	
	6	8.825	0.125		43	86.517	0.125	
	7	7.788	0.125		44	76.351	0.125	
	8	6.8729	0.125		45	67.379	0.125	
	9	6.0653	0.125		46	59.462	0.125	
	10	5.3526	0.125		47	52.475	0.125	
2	11	4.7237	0.125	5	48	46.309	0.125	
	12	4.1686	0.125		49	40.868	0.125	
	13	3.6788	0.125		50	36.066	0.125	
	14	3.2465	0.125		51	31.828	0.125	
	15	2.8650	0.125		52	28.088	0.125	
	16	2.5284	0.125		53	24.788	0.125	
	17	2.2313	0.125		54	21.875	0.125	
	18	1.9691	0.125		55	19.305	0.125	
	19	1.7377	0.125		56	17.036	0.125	
	20	1.5335	0.125		6	57	15.034	0.25
	21	1.3533	0.125			58	11.709	0.25
	22	1.1943	0.125			59	9.1188	0.25
			60	7.1017		0.25		
3	23	1.0540	0.125	7	61	5.5308	0.25	
	24	930.14 keV	0.125		62	4.3075	0.25	
	25	820.85	0.125		63	3.3546	0.25	
	26	724.40	0.125		64	2.6126	0.25	
	27	639.28	0.125		65	2.0347	0.25	
	28	564.16	0.125		66	1.5846	0.25	
	29	497.87	0.125		67	1.2341	0.25	
	30	439.37	0.125		68	961.12 eV	0.25	
	31	387.74	0.125		69	748.52	0.25	
	32	342.18	0.125		8	70	582.95	0.25
	33	301.97	0.125			71	454.00	0.25
	34	266.49	0.125			72	353.58	0.25
	35	235.18	0.125			73	275.36	0.25
	36	207.54	0.125			74	214.45	0.25
4	37	183.16	0.125					

Table 21 Energy Structure of MGCL 137 and MGCL 26 (continued)

Group No		Upper Energy Boundary	Lethergy width $\Delta U$	Group No		Upper Energy Boundary	Lethergy width $\Delta U$	
<sup>26</sup> Gr.	<sup>137</sup> Gr.			<sup>26</sup> Gr.	<sup>137</sup> Gr.			
8	75	167.02 eV	0.25		111	0.27699 eV	270 m/sec	
10	76	130.07	0.25	18	112	0.25683	270	
	77	101.30	0.25		19	113	0.23742	270
	78	78.893	0.25			114	0.21871	270
	79	61.442	0.25	115		0.20090	270	
	80	47.851	0.25	116	0.18378	270		
	81	37.267	0.25	117	0.16743	270		
10	82	29.023	0.25	20	118	0.15183	270	
	83	22.603	0.25		21	119	0.13700	270
	84	17.603	0.25			120	0.12293	270
	85	13.710	0.25	121		0.10962	270	
	86	10.677	0.25	122	0.09708	270		
	87	8.3153	0.25	123	0.085295	270		
11	88	6.4760	0.25	22	124	0.074274	270	
	89	5.0435	0.25		125	0.064015	270	
	90	3.9279	0.25			126	0.054518	270
	91	3.0590	0.25	23	127	0.045783	270	
	92	2.3824	0.25		128	0.037811	270	
12	93	1.8554	0.125	24	129	0.030600	270	
	94	1.6374	0.125		130	0.024152	270	
	95	1.4450	0.125		131	0.018465	270	
13	96	1.2752	0.125	25	132	0.013541	270	
	97	1.1254	0.125		133	0.009379	270	
	98	0.99312	0.125		134	0.005979	270	
14	99	0.87642	0.125	26	135	0.003341	270	
	100	0.77344	0.125		136	0.001466	270	
15	101	0.68256	0.125		137	0.000352	270	
	102	0.60236	0.125		0.000033	270		
	103	0.53158	0.125					
	104	0.46912	0.125					
16	105	0.41399	270 m/sec					
	106	0.38925	270					
	107	0.36528	270					
17	108	0.34206	270					
	109	0.31961	270					
	110	0.29792	270					

Table 22 Calculated  $k_{eff}$  for Unreflected Arrays.

No	Calculated $k_{eff}$	Comment
1	$0.99965 \pm 0.00449$	$3 \times 4$ Array
2	$1.00726 \pm 0.00404$	"
3	$1.01123 \pm 0.00487$	"
4	$1.01880 \pm 0.00439$	"
5	$1.01478 \pm 0.00434$	"
6	$1.02909 \pm 0.00458$	"
7	$1.01015 \pm 0.00441$	"
8	$1.00293 \pm 0.00481$	"
9	$1.00660 \pm 0.00422$	"
10	$1.01059 \pm 0.00433$	"
11	$1.02817 \pm 0.00463$	$4 \times 4$ Array
12	$1.01860 \pm 0.00427$	"
13	$1.02183 \pm 0.00438$	"
14	$1.01969 \pm 0.00414$	"
15	$1.01830 \pm 0.00437$	"
16	$1.01367 \pm 0.00437$	"

Table 23 Leakage and Fraction of  $\nu$ -Fission for Unreflected Array

No	Leakage ( $L/(L+A)$ )	$F_1$ *)	$F_2$ *)	$F_3$ *)
1	0.52826	0.57	0.43	0.0
2	0.52384	0.56	0.44	0.0
3	0.52190	0.57	0.43	0.0
4	0.51870	0.57	0.43	0.0
5	0.52033	0.57	0.43	0.0
6	0.51388	0.57	0.43	0.0
7	0.52254	0.57	0.43	0.0
8	0.52623	0.57	0.43	0.0
9	0.52448	0.57	0.43	0.0
10	0.52304	0.57	0.43	0.0
11	0.51475	0.57	0.43	0.0
12	0.51860	0.57	0.43	0.0
13	0.51806	0.57	0.43	0.0
14	0.51779	0.57	0.43	0.0
15	0.51959	0.57	0.43	0.0
16	0.52137	0.57	0.43	0.0

\*)  $F_1$  : Fission fraction of fast energy region.  
( $> 183$  keV)

$F_2$  : Fission fraction of intermediate energy region.  
: (183 keV  $\sim$  0.68 eV)

$F_3$  : Fission fraction of thermal energy region.  
( $< 0.68$  eV)

Table 24 Calculated  $k_{\text{eff}}$  for Array  
with Polyethylene Reflector

No	Calculated $k_{\text{eff}}$	Comment
17	$0.96968 \pm 0.00395$	$2 \times 2$ Array (sub critical)
18	$1.01812 \pm 0.00503$	" ( " )
19	$1.01298 \pm 0.00432$	"
20	$1.01921 \pm 0.00472$	" (sub critical)
21	$1.00411 \pm 0.00430$	" ( " )
22	$1.00975 \pm 0.00443$	"
23	$1.04878 \pm 0.00459$	$3 \times 3$ Array
24	$1.03853 \pm 0.00437$	"
25	$1.04925 \pm 0.00424$	"
26	$1.04003 \pm 0.00513$	$4 \times 4$ Array
27	$1.03999 \pm 0.00422$	"
28	$1.04370 \pm 0.00540$	"
29	$1.04526 \pm 0.00491$	"

Table 25 Leakage and Fraction of  $\nu$ -Fission  
for Polyethylene Reflected Array

No	Leakage ( $\frac{L}{L+A}$ )	$F_1$ *)	$F_2$ *)	$F_3$ *)
17	0.01767	0.42	0.38	0.20
18	0.01333	0.36	0.42	0.32
19	0.01415	0.34	0.38	0.28
20	0.01280	0.34	0.38	0.28
21	0.01221	0.33	0.37	0.30
22	0.01300	0.34	0.38	0.28
23	0.06383	0.43	0.40	0.17
24	0.10539	0.44	0.40	0.16
25	0.09505	0.44	0.39	0.17
26	0.06875	0.44	0.40	0.16
27	0.09396	0.45	0.40	0.15
28	0.09054	0.45	0.40	0.15
29	0.04261	0.44	0.40	0.16

\*) Notations are same as in Table 23

Table 26 Calculated  $k_{\text{eff}}$ 's for Array  
with Concrete Reflector

No	Calculated $k_{\text{eff}}$	Comment
30	1.01216 $\pm$ 0.00479	2 $\times$ 2 Array
31	1.01645 $\pm$ 0.00486	" (sub critical)
32	1.03434 $\pm$ 0.00405	"
33	1.02940 $\pm$ 0.00454	"
34	1.04335 $\pm$ 0.00473	"
35	1.03152 $\pm$ 0.00462	"
36	1.01791 $\pm$ 0.00393	"
37	1.01710 $\pm$ 0.00392	"
38	1.02123 $\pm$ 0.00403	"
39	1.01759 $\pm$ 0.00464	"
40	1.01118 $\pm$ 0.00469	" (sub critical)
41	1.03917 $\pm$ 0.00391	2 $\times$ 2 Array
42	1.03039 $\pm$ 0.00466	"
43	1.03374 $\pm$ 0.00403	"
44	1.04364 $\pm$ 0.00466	"
45	1.03200 $\pm$ 0.00432	" (sub critical)
46	1.02502 $\pm$ 0.00481	" (sub critical)
47	1.03120 $\pm$ 0.00500	3 $\times$ 3 Array
48	1.02860 $\pm$ 0.00416	(super critical)
49	1.03994 $\pm$ 0.00448	3 $\times$ 3 Array
50	1.04026 $\pm$ 0.00427	"
51	1.02908 $\pm$ 0.00466	1 $\times$ 12 Linear Array
52	1.02032 $\pm$ 0.00462	"
53	1.03301 $\pm$ 0.00479	"
54	1.02431 $\pm$ 0.00415	" (sub critical)
55	1.02128 $\pm$ 0.00444	1 $\times$ 5 Linear Array (sub critical)
56	1.00793 $\pm$ 0.00377	1 $\times$ 5 Linear Array
57	1.02243 $\pm$ 0.00405	"
58	1.01936 $\pm$ 0.00457	"
59	1.01153 $\pm$ 0.00414	"
60	1.00878 $\pm$ 0.00475	1 $\times$ 5 Linear Array (sub critical)
61	1.01761 $\pm$ 0.00524	"
62	1.01700 $\pm$ 0.00476	"
63	1.02657 $\pm$ 0.00451	1 $\times$ 4 Linear Array

Table 26 (continued)

No	Calculated $k_{eff}$	Comment
64	$1.02316 \pm 0.00420$	1 × 4 Linear Array
65	$1.02024 \pm 0.00447$	"
66	$1.02421 \pm 0.00388$	1 × 3 Linear Array (sub critical)
67	$1.02515 \pm 0.00521$	"
68	$1.02296 \pm 0.00429$	"
69	$1.02990 \pm 0.00429$	"
70	$1.02778 \pm 0.00445$	"
71	$1.04784 \pm 0.00473$	Two Linear Three-Cylinder
72	$1.02862 \pm 0.00486$	"
73	$1.03166 \pm 0.00440$	"
74	$1.04438 \pm 0.00436$	"
75	$1.04136 \pm 0.00439$	"
76	$1.04975 \pm 0.00457$	" (sub critical)
77	$1.03936 \pm 0.00455$	"
78	$1.05052 \pm 0.00514$	"
79	$1.04419 \pm 0.00465$	" (sub critical)
80	$1.05240 \pm 0.00439$	"
81	$1.04575 \pm 0.00456$	"

Table 27 Leakage and Fraction of  $\nu$ -Fission  
for Concrete Reflected Array

No	Leakage	$F_1$ *)	$F_2$ *)	$F_3$ *)
30	0.41137	0.45	0.50	0.05
31	0.40771	0.46	0.50	0.04
32	0.30845	0.42	0.49	0.09
33	0.25375	0.43	0.49	0.08
34	0.23544	0.43	0.49	0.08
35	0.29966	0.43	0.49	0.08
36	0.40006	0.44	0.50	0.06
37	0.40841	0.44	0.50	0.06
38	0.40702	0.45	0.50	0.05
39	0.40264	0.45	0.50	0.05
40	0.41147	0.47	0.48	0.05
41	0.32329	0.44	0.48	0.08
42	0.28617	0.44	0.48	0.08
43	0.26844	0.44	0.48	0.08
44	0.28853	0.44	0.48	0.08
45	0.39365	0.46	0.49	0.05
46	0.40467	0.46	0.48	0.06
47	0.41259	0.47	0.48	0.05
48	0.41346	0.47	0.48	0.05
49	0.38491	0.46	0.49	0.05
50	0.39689	0.46	0.49	0.05
51	0.39309	0.45	0.49	0.06
52	0.39675	0.46	0.48	0.06
53	0.38966	0.45	0.50	0.05
54	0.39180	0.45	0.49	0.06
55	0.32358	0.43	0.49	0.08
56	0.31503	0.43	0.48	0.09
57	0.30757	0.42	0.49	0.09
58	0.29585	0.42	0.49	0.09
59	0.28550	0.42	0.48	0.10
60	0.30776	0.43	0.48	0.09
61	0.27684	0.42	0.49	0.09
62	0.29016	0.43	0.48	0.09
63	0.25774	0.42	0.49	0.09

Table 27 (continued)

No	Leakage	F <sub>1</sub> *)	F <sub>2</sub> *)	F <sub>3</sub> *)
64	0.24994	0.42	0.48	0.10
65	0.28445	0.42	0.48	0.10
66	0.21632	0.41	0.49	0.10
67	0.19905	0.38	0.49	0.13
68	0.23208	0.39	0.49	0.12
69	0.26006	0.39	0.49	0.12
70	0.26593	0.39	0.49	0.12
71	0.31105	0.43	0.48	0.09
72	0.35031	0.44	0.48	0.08
73	0.35815	0.44	0.49	0.07
74	0.35312	0.44	0.49	0.07
75	0.31502	0.43	0.49	0.08
76	0.30384	0.42	0.49	0.09
77	0.31186	0.43	0.48	0.09
78	0.30510	0.45	0.49	0.06
79	0.30179	0.43	0.49	0.08
80	0.27850	0.43	0.49	0.08
81	0.28821	0.43	0.48	0.09

\*) Notations are same as in Table 23

Table 28 Averaged k<sub>eff</sub> 's for Various Array Patterns

Array Pattern	Calculated k <sub>eff</sub>
2 × 2	1.028 ± 0.004
3 × 3	1.038 ± 0.005
1 × 12	1.027 ± 0.005
1 × 5	1.015 ± 0.004
1 × 4	1.023 ± 0.004
1 × 3	1.027 ± 0.005
3 × 2 (with concrete separator)	1.042 ± 0.005



Table 29 Comparison of Calculated  $k_{\text{eff}}$ 's for 26  
Group structure with ones for 137 Group  
structure

No	26 Group	137 Group
1	0.99965 ± 0.00449	0.95476 ± 0.00403
2	1.00726 ± 0.00404	0.95993 ± 0.00426
3	1.01123 ± 0.00487	0.95857 ± 0.00372
4	1.01880 ± 0.00439	0.96728 ± 0.00394
5	1.01478 ± 0.00434	0.95973 ± 0.00402
6	1.02909 ± 0.00458	0.96615 ± 0.00424
7	1.01015 ± 0.00441	0.96945 ± 0.00436
8	1.00293 ± 0.00481	0.95792 ± 0.00396
9	1.00660 ± 0.00422	0.95853 ± 0.00422
10	1.01059 ± 0.00433	0.95265 ± 0.00363
11	1.02817 ± 0.00463	0.97283 ± 0.00437
12	1.01860 ± 0.00427	0.96521 ± 0.00402
13	1.02183 ± 0.00438	0.96904 ± 0.00414
14	1.01969 ± 0.00414	0.96877 ± 0.00426
15	1.01830 ± 0.00437	0.96575 ± 0.00419
16	1.01367 ± 0.00437	0.96398 ± 0.00399
17	0.96968 ± 0.00395	0.96230 ± 0.00379
18	1.01812 ± 0.00503	0.98973 ± 0.00461
19	1.01298 ± 0.00432	0.99005 ± 0.00409
20	1.01921 ± 0.00472	0.97594 ± 0.00375
21	1.00411 ± 0.00430	0.96320 ± 0.00442
22	1.00975 ± 0.00443	0.97939 ± 0.00461
23	1.04878 ± 0.00459	1.00693 ± 0.00428
24	1.03853 ± 0.00437	0.98800 ± 0.00436
25	1.04925 ± 0.00424	0.99337 ± 0.00404
26	1.04003 ± 0.00513	1.01024 ± 0.00452
27	1.03999 ± 0.00422	0.99898 ± 0.00446
28	1.04370 ± 0.00540	0.99600 ± 0.00395
29	1.04526 ± 0.00491	0.99089 ± 0.00406
30	1.01216 ± 0.00479	0.98740 ± 0.00395
31	1.01645 ± 0.00486	0.97926 ± 0.00421
32	1.03434 ± 0.00405	0.99240 ± 0.00424

Table 29 (continued)

No	26 Group	137 Group
33	1. 02940 $\pm$ 0. 00454	0. 99644 $\pm$ 0. 00417
34	1. 04335 $\pm$ 0. 00473	1. 00023 $\pm$ 0. 00430
35	1. 03152 $\pm$ 0. 00462	0. 99601 $\pm$ 0. 00441
36	1. 01791 $\pm$ 0. 00393	0. 97868 $\pm$ 0. 00478
37	1. 01710 $\pm$ 0. 00392	0. 98089 $\pm$ 0. 00440
38	1. 02123 $\pm$ 0. 00403	0. 98599 $\pm$ 0. 00394
39	1. 01759 $\pm$ 0. 00464	0. 98623 $\pm$ 0. 00432
40	1. 01118 $\pm$ 0. 00469	0. 98330 $\pm$ 0. 00417
41	1. 03917 $\pm$ 0. 00391	1. 00132 $\pm$ 0. 00388
42	1. 03039 $\pm$ 0. 00466	0. 99328 $\pm$ 0. 00441
43	1. 03374 $\pm$ 0. 00403	0. 99524 $\pm$ 0. 00446
44	1. 04364 $\pm$ 0. 00466	1. 00649 $\pm$ 0. 00380
45	1. 03200 $\pm$ 0. 00432	0. 99352 $\pm$ 0. 00424
46	1. 02502 $\pm$ 0. 00481	0. 98841 $\pm$ 0. 00411
47	1. 03120 $\pm$ 0. 00500	0. 99745 $\pm$ 0. 00426
48	1. 02860 $\pm$ 0. 00416	0. 99007 $\pm$ 0. 00358
49	1. 03994 $\pm$ 0. 00448	0. 99271 $\pm$ 0. 00453
50	1. 04026 $\pm$ 0. 00427	0. 99893 $\pm$ 0. 00395
51	1. 02908 $\pm$ 0. 00466	0. 99936 $\pm$ 0. 00382
52	1. 02032 $\pm$ 0. 00462	0. 99219 $\pm$ 0. 00379
53	1. 03301 $\pm$ 0. 00479	0. 99964 $\pm$ 0. 00517
54	1. 02431 $\pm$ 0. 00415	0. 99202 $\pm$ 0. 00471
55	1. 02128 $\pm$ 0. 00444	0. 98458 $\pm$ 0. 00457
56	1. 00793 $\pm$ 0. 00377	0. 98168 $\pm$ 0. 00409
57	1. 02243 $\pm$ 0. 00405	0. 98586 $\pm$ 0. 00433
58	1. 01936 $\pm$ 0. 00457	1. 00004 $\pm$ 0. 00433
59	1. 01153 $\pm$ 0. 00414	0. 98922 $\pm$ 0. 00439
60	1. 00878 $\pm$ 0. 00475	0. 97997 $\pm$ 0. 00436
61	1. 01761 $\pm$ 0. 00524	0. 98804 $\pm$ 0. 00384
62	1. 01700 $\pm$ 0. 00476	0. 99199 $\pm$ 0. 00402
63	1. 02657 $\pm$ 0. 00451	0. 99851 $\pm$ 0. 00470
64	1. 02316 $\pm$ 0. 00420	0. 99120 $\pm$ 0. 00445
65	1. 02024 $\pm$ 0. 00447	0. 99637 $\pm$ 0. 00466
66	1. 02421 $\pm$ 0. 00388	0. 99153 $\pm$ 0. 00425

Table 29 (continued)

No	26 Group	137 Group
67	1. 02515 $\pm$ 0. 00521	0. 99966 $\pm$ 0. 00427
68	1. 02296 $\pm$ 0. 00429	1. 00102 $\pm$ 0. 00487
69	1. 02990 $\pm$ 0. 00429	0. 99975 $\pm$ 0. 00404
70	1. 02778 $\pm$ 0. 00445	0. 99647 $\pm$ 0. 00455
71	1. 04784 $\pm$ 0. 00473	1. 00573 $\pm$ 0. 00413
72	1. 02862 $\pm$ 0. 00486	1. 00084 $\pm$ 0. 00424
73	1. 03166 $\pm$ 0. 00440	0. 99666 $\pm$ 0. 00423
74	1. 04438 $\pm$ 0. 00436	1. 00811 $\pm$ 0. 00433
75	1. 04136 $\pm$ 0. 00439	1. 00997 $\pm$ 0. 00410
76	1. 04975 $\pm$ 0. 00457	1. 00733 $\pm$ 0. 00351
77	1. 03936 $\pm$ 0. 00455	1. 01343 $\pm$ 0. 00392
78	1. 05052 $\pm$ 0. 00514	1. 00745 $\pm$ 0. 00501
79	1. 04419 $\pm$ 0. 00465	1. 00615 $\pm$ 0. 00406
80	1. 05240 $\pm$ 0. 00439	1. 01700 $\pm$ 0. 00419
81	1. 04575 $\pm$ 0. 00456	1. 01346 $\pm$ 0. 00451

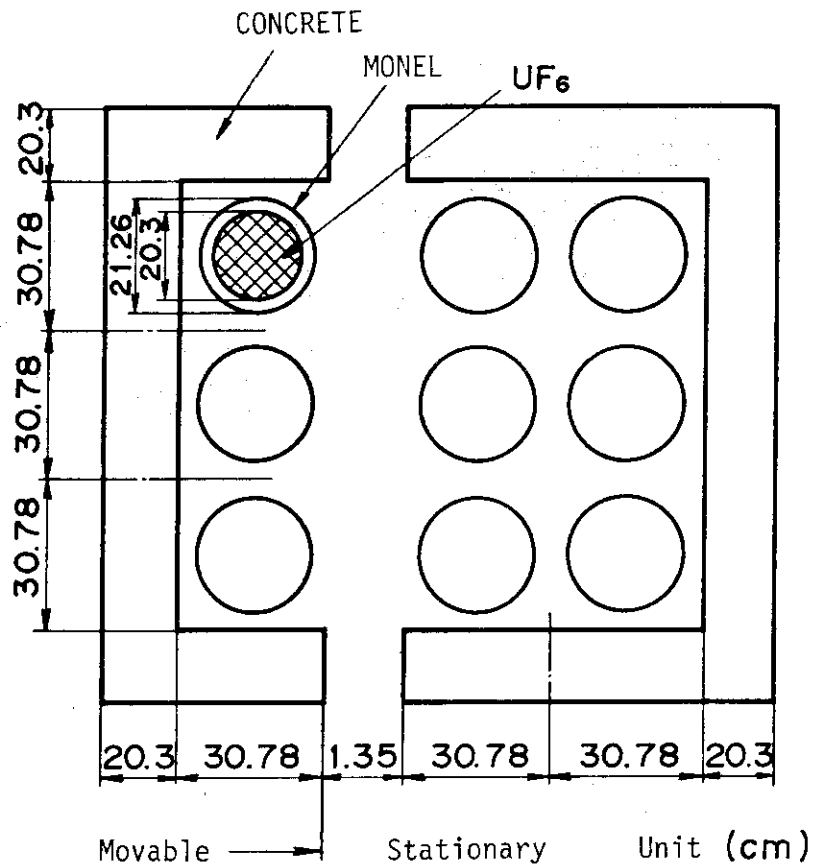


Fig. 1 Example of experimental set up

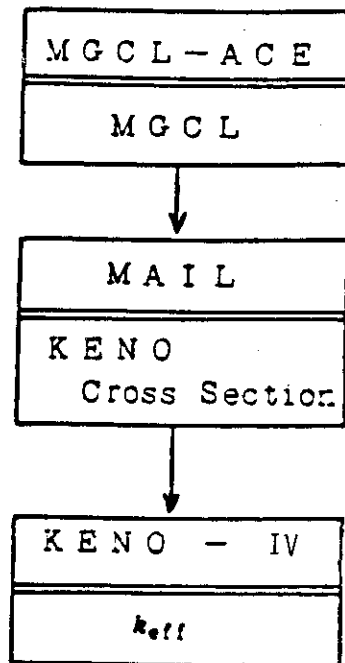
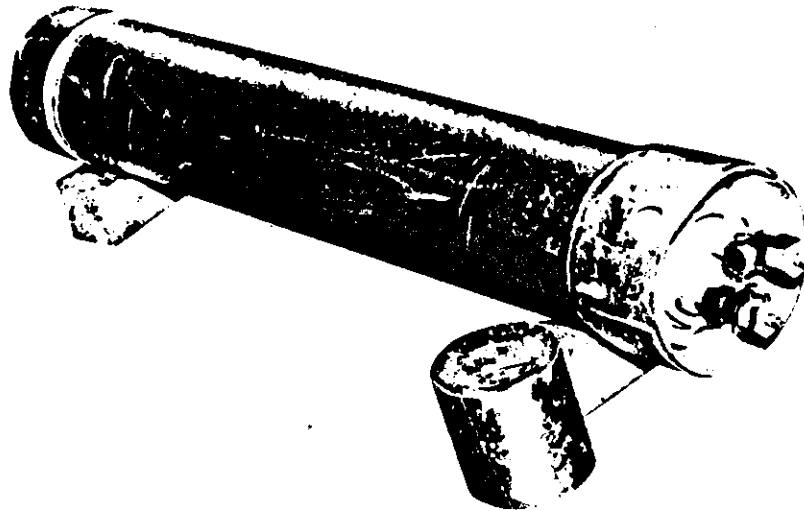


Fig. 2 Flow diagram for KENO calculation



GENERAL DATA

Other Descriptive Terminology Used - 8-inch

ENGINEERING DRAWING  
REFERENCE

UNION CARBIDE CORPORATION,  
ORGDP: D-P 35721-B, REV. 1

Nominal Diameter	8 in.
Nominal Length	56 in.
Wall Thickness	3/16 in.
Nominal Tare Weight	120 lb
Maximum Net Weight	255 lb
Nominal Gross Weight	375 lb (without cap)
Minimum Volume	1.319 cu ft
Basic Material of Construction	Monel
Service Pressure	200 psig
Hydrostatic Test Pressure	400 psig
Isotopic Content Limit	12.5% <sup>235</sup> U max

Valve Used - Superior No. 5665, or equal.

Fig. 3 Description of UF<sub>6</sub> cyclinder model 8A

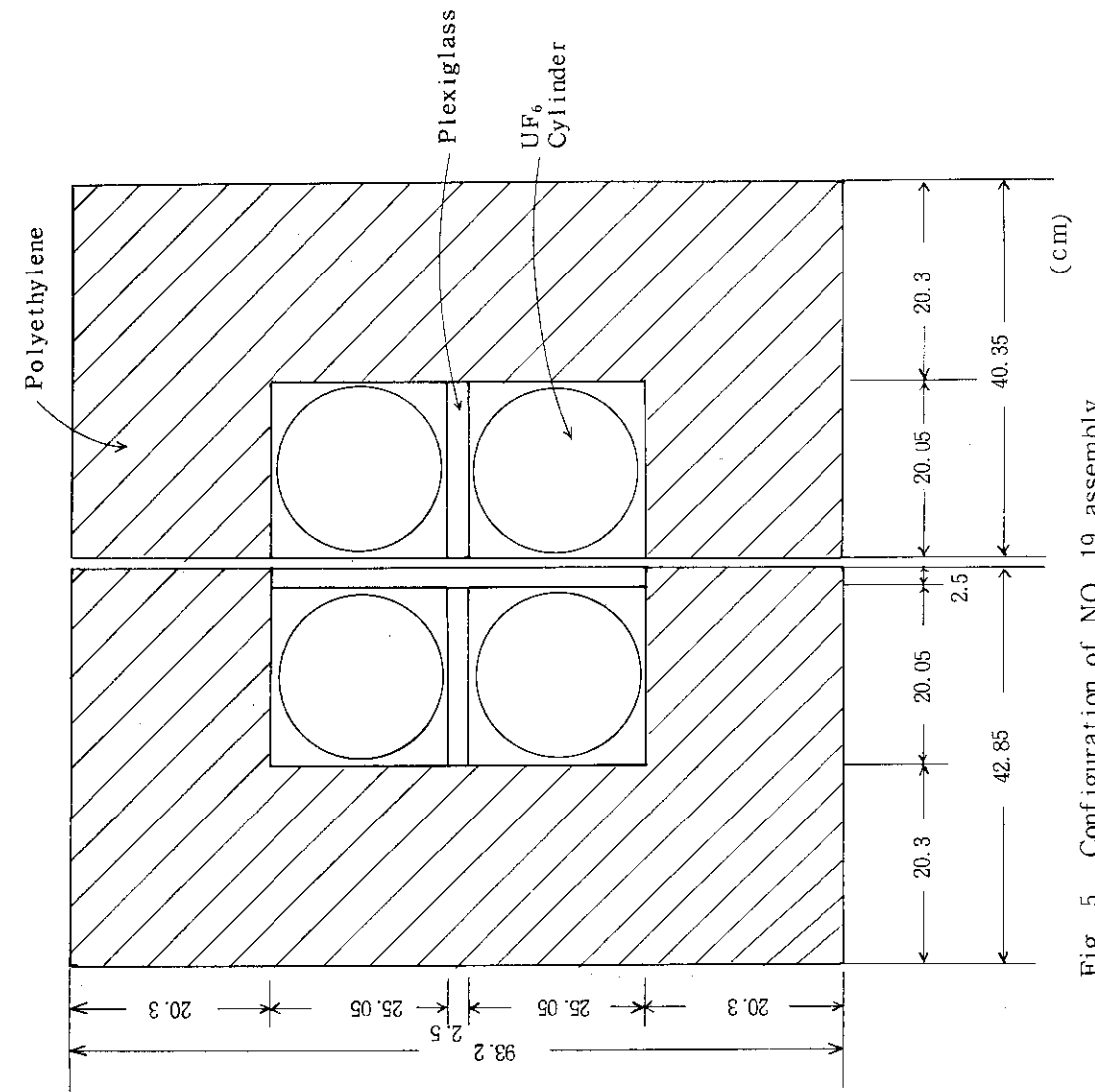


Fig. 5 Configuration of NO. 19 assembly

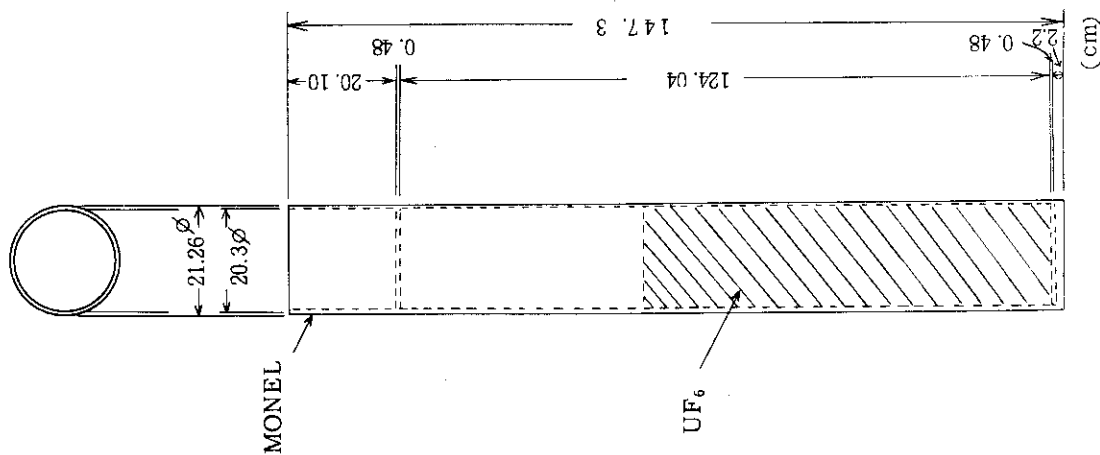


Fig. 4 Modified UF<sub>6</sub> cylinder

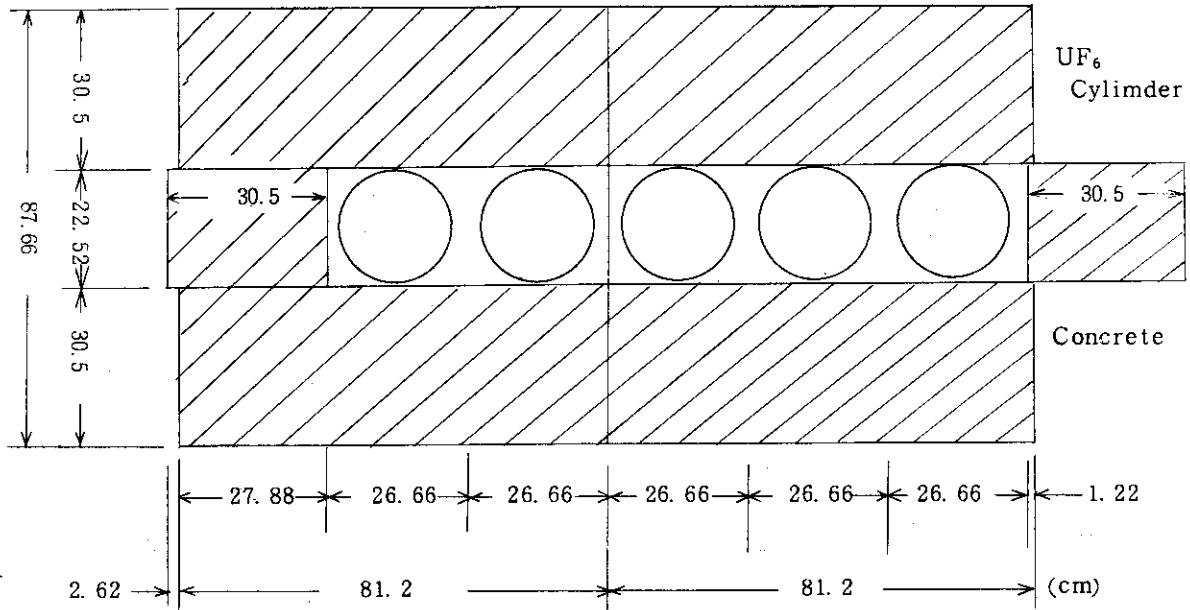


Fig. 6 Configuration of NO. 56 assembly

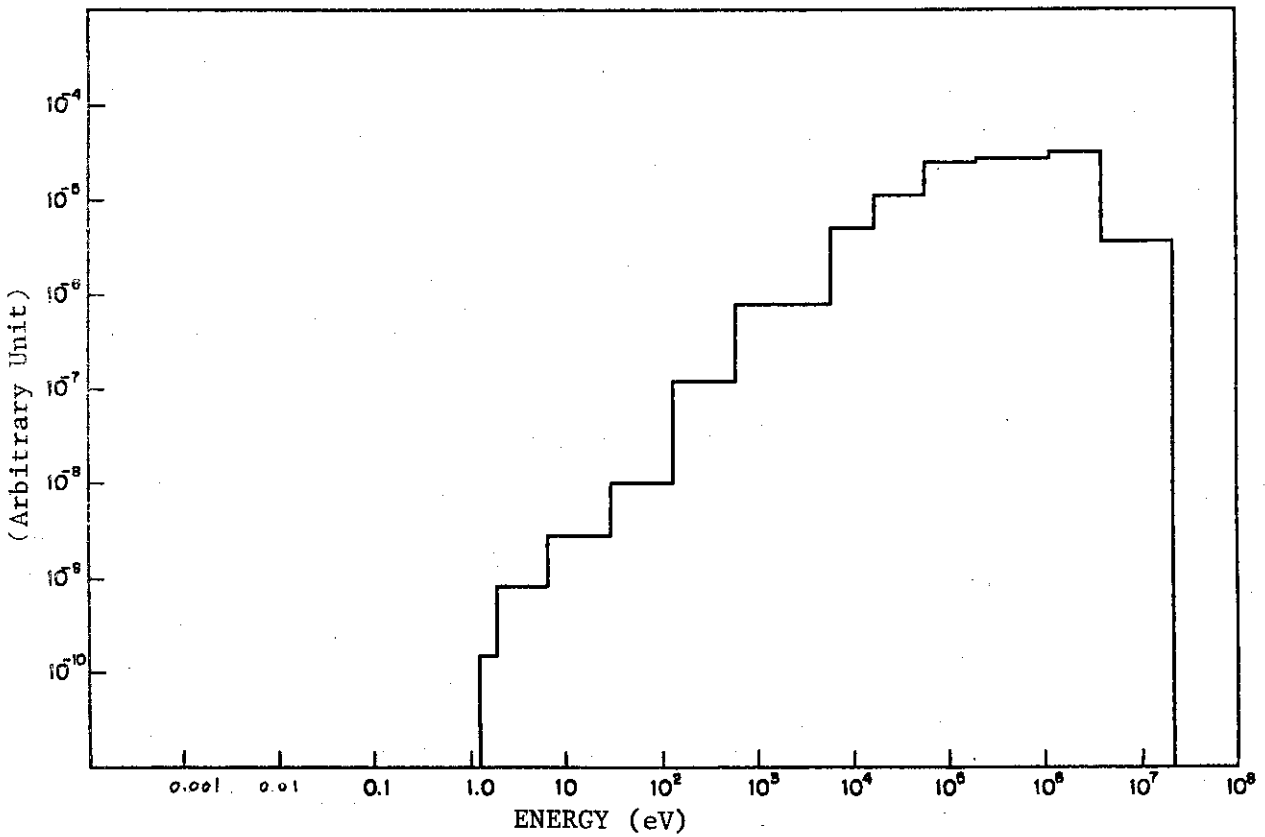


Fig. 7 Typical neutron spectrum of the bare array

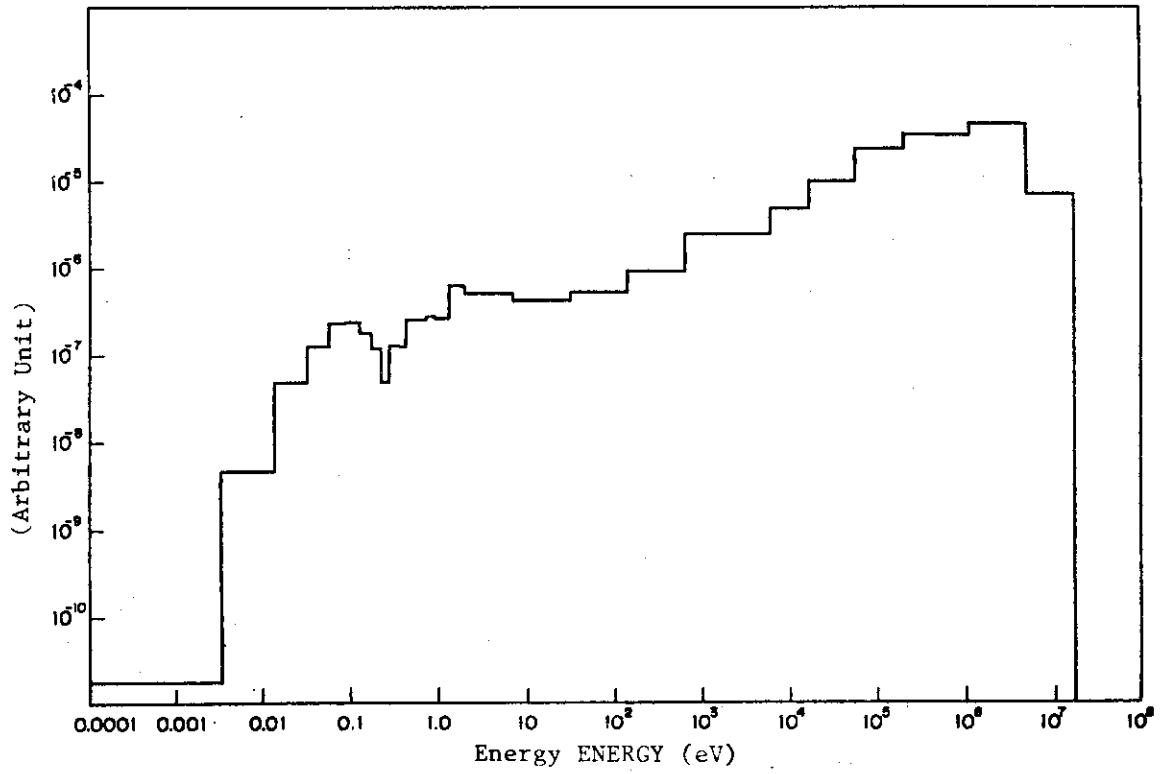


Fig. 8 Typical neutron spectrum of the polyethylene reflected array

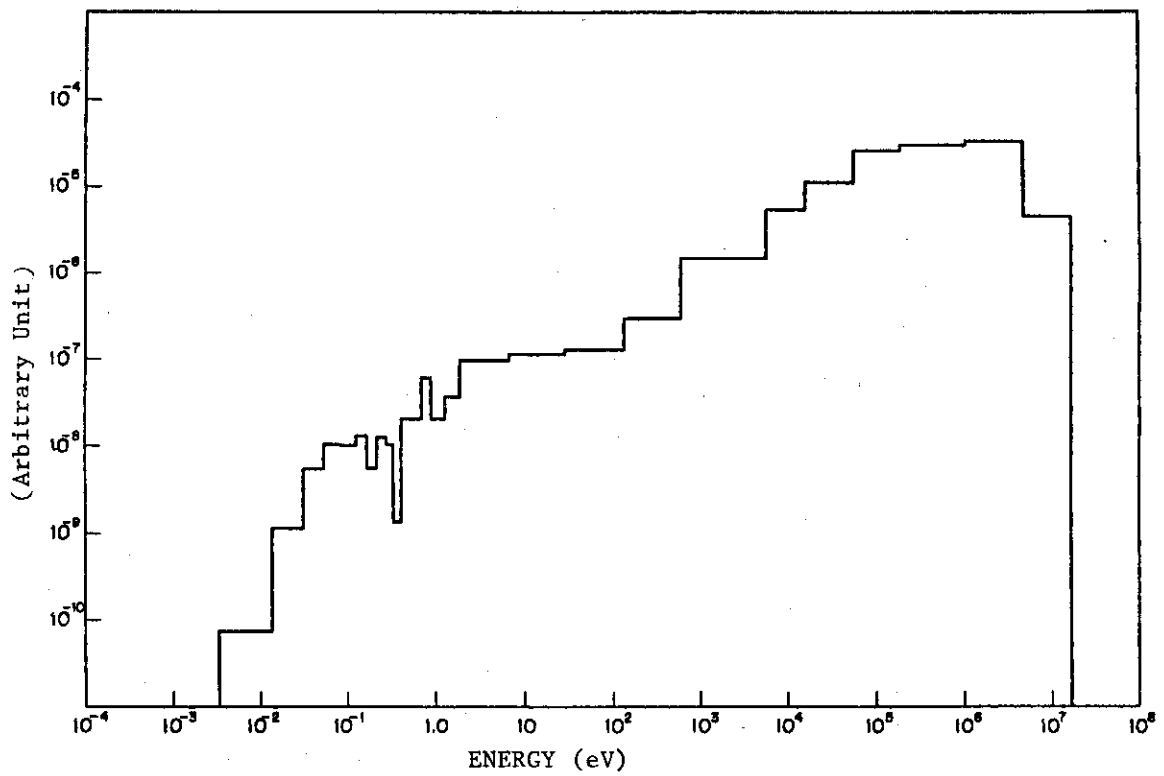


Fig. 9 Typical neutron spectrum of the concrete reflected array



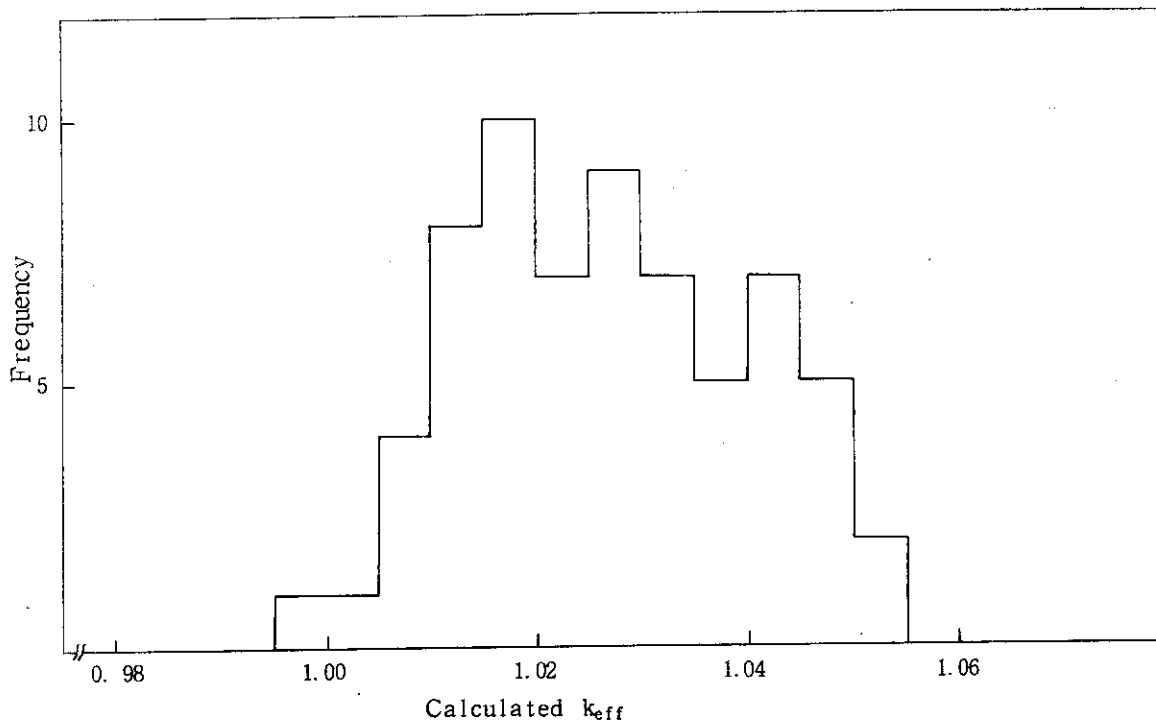


Fig. 10 Histogram of calculated  $k_{eff}$  with 26-group MGCL

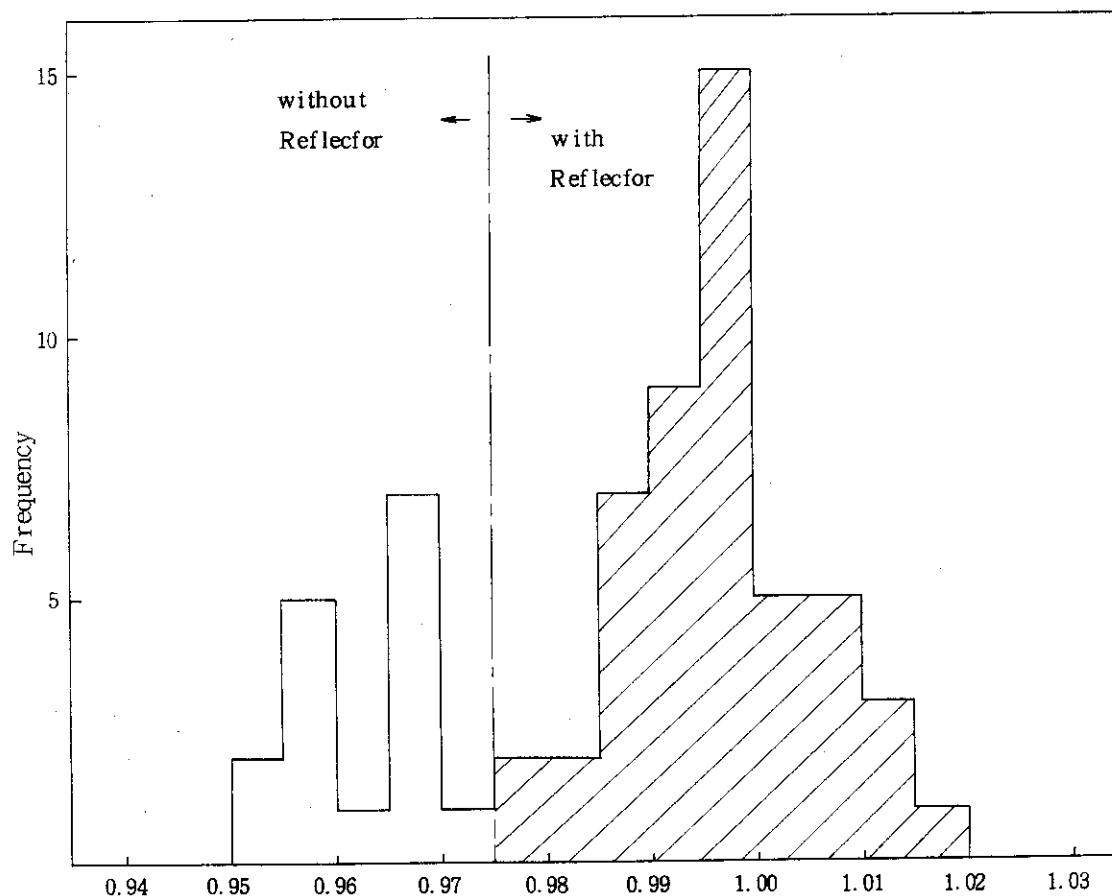


Fig. 11 Histogram of calculated  $k_{eff}$  with 137-group MGCL

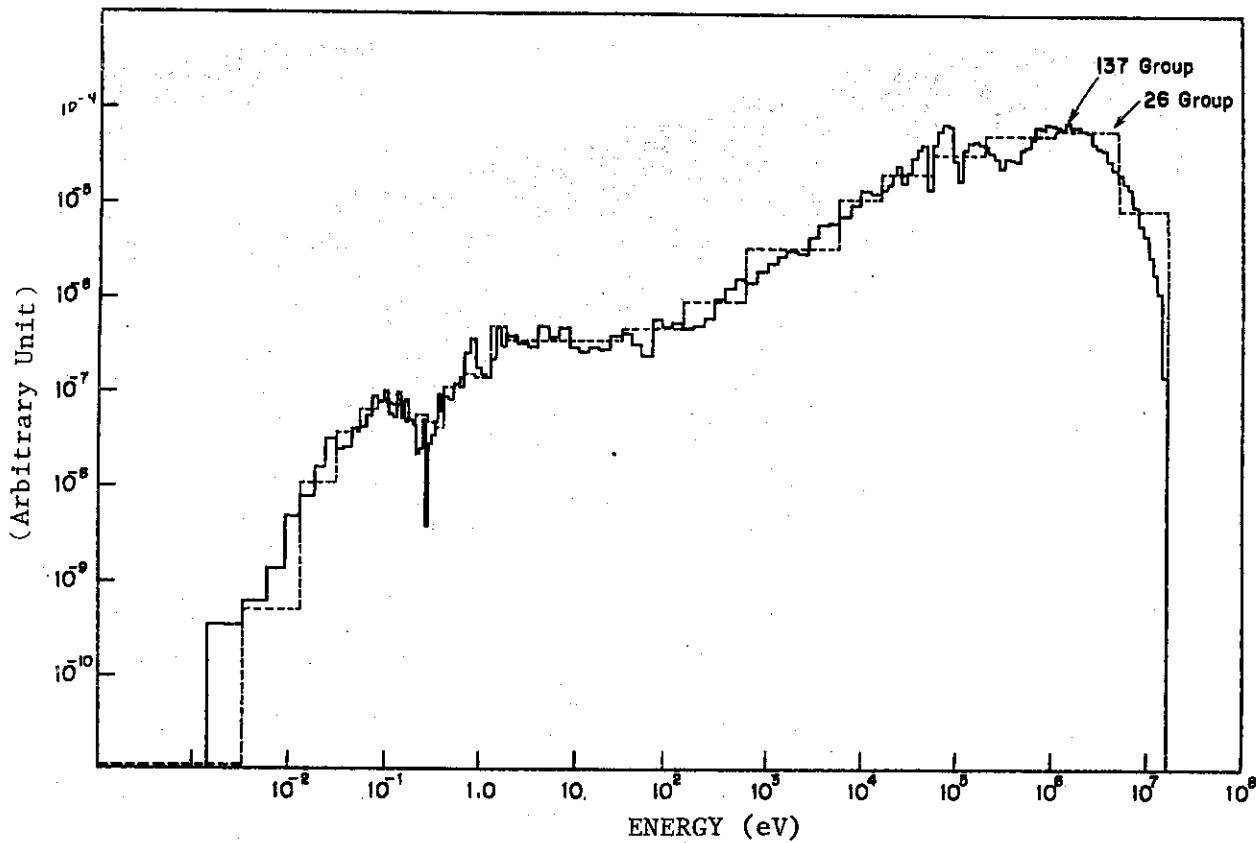


Fig. 12 Difference of neutron spectrum for 26 energy group and for 137 energy group

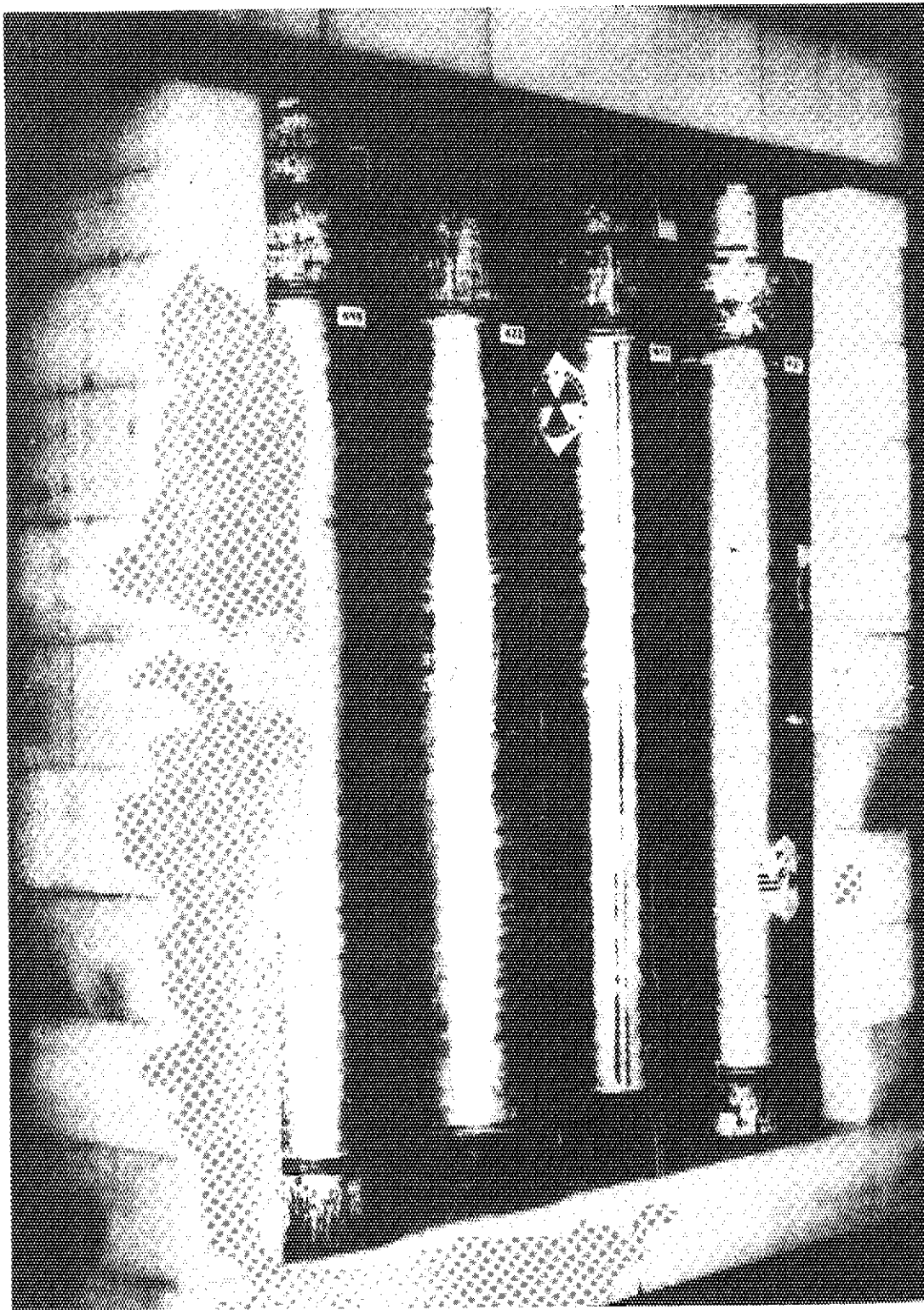


Photo. 1 A View of the Movable Portion of a 15.2-cm-thick Polyethylene Reflected 4 x 4 Critical Assembly.