

JAERI 1069

# JAERI 中性子速度選択器

---

1964 年 12 月

---

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

## JAERI 中性子速度選択器

### 要 旨

さきに製作された JAERI 中性子モノクロメータの使用にあたって、その高次中性子反射の混入を除去することを目的として、JAERI 中性子速度選択器がつくられた。その原理はらせん溝を有する回転体をある回転速度で回転させて、その回転速度に対応するエネルギーの中性子を通り抜けさせるものである。

JAERI 中性子速度選択器はその分解能は約 26% であるが、できるだけ高い中性子強度をとり出せるように考えた。中性子速度選択器の主要部分である回転体は KR Monel 製で長さ 44 cm, 直径 18.6 cm で回転体にはピッチ 10.05 m のらせん溝 80 コがきざまれてある。回転数は 0.1% 以内の安定度で 1,500 rpm から 15,000 rpm まで設定できるが、その際通り抜ける中性子エネルギーは、それぞれ 0.0003 eV および 0.0330 eV である。なお、この中性子速度選択器を用いて、ディスプロシウムの中性子全断面積が上記エネルギー範囲で測定された。

1964 年 8 月

東海研究所物理部原子核物理研究室

岡 本 浩 一

### The Construction and Performance of JAERI Mechanical Neutron Velocity Selector

#### **Summary**

The JAERI Mechanical Neutron Velocity Selector has been constructed to be used in combination with the JAERI Neutron Crystal Monochromator in order to remove the higher order contaminant from the Bragg beam.

This selector is of the helical slot type. While its resolution is approximately 26%, it is designed to have high transmission as 75%. Built of the KR Monel alloy, 80 helical slots are milled on the rotor with the helical pitch of 10 meter, and the effective length of the rotor is 44 cm and the diameter 18.6 cm. The rotor is driven by 400 watt D.C. motor, and the stability of the rotation speed is within 0.1% and the speed is to be continuously variable from 1,500 to 15,000 rpm, corresponding to an energy range from 0.0003 to 0.03 eV.

The total neutron cross section of dysprosium in this energy range has been measured by this velocity selector.

Aug. 1964

KOICHI OKAMOTO

Division of Physics, Tokai Research Establishment

## 目 次

1. 序	1
1. 1 中性子速度選択器の製作の目的	1
1. 2 中性子速度選択器の概要	1
1. 2. 1 ヘリカル溝を有し、中性子速度選択器の回転軸が入射中性子束の中 心線と一致する場合	2
1. 2. 2 溝が直線で、回転軸が入射中性子束の中心線と $\varphi$ の角度をなす場合	2
1. 2. 3 ヘリカル溝を有し、かつ速度選択器の回転軸が入射中性子束の中心 線に対し水平に $\varphi$ だけ回転できる場合	2
2. 中性子速度選択器の分解能	4
2. 1 透過関数	4
2. 2 透過関数の解析	4
2. 2. 1 $\theta_c \lambda < \alpha_0$ の場合	6
2. 2. 2 $\theta_c \lambda \geq \alpha_0$ の場合	6
2. 2. 3 透過関数の計算	6
2. 3 JAERI 中性子速度選択器の透過関数	7
2. 4 装置の分解能	9
3. JAERI 中性子速度選択器の概要と付属装置	10
3. 1 製作にあたって	10
3. 2 溝のねじれ角 $\varphi$ の設定と、回転数-透過中性子波長の間の関係	10
3. 3 回転体と容器	12
3. 4 回転駆動	13
3. 5 計測記録装置と安全装置	14
3. 6 付属機器およびソーラ・コリメータ	14
3. 7 回転テスト	15
4. JAERI 中性子速度選択器の回転制御系	16
4. 1 制御のあらまし	16
4. 2 ディジタル制御	16
4. 3 アナログ制御	17
5. JAERI 中性子速度選択器の放射線遮蔽の問題	19
5. 1 KR モネルの成分	19
5. 2 KR モネル合金の中性子マクロ断面積	19
5. 3 放射線に対する速度選択器回転体の構造	19
5. 3. 1 中性子に対する遮蔽	19
5. 3. 2 ガンマ線に対する遮蔽	20
6. JAERI 中性子速度選択器による実験	21
6. 1 JRR-1 水平熱中性子柱での実験	21
6. 2 JRR-1 水平熱中性子柱からの中性子スペクトラム	21
6. 3 グラファイトなどの切断波長付近の断面積測定値に及ぼす速度選択器の分 解能の影響	23
6. 4 中性子全断面積測定の一例	26
6. 5 速度選択器の回転軸をその中心垂直線のまわりに微小回転させた時の影響	27
参考文献	29
付 錄 $\omega, \lambda, E, V$ 変換図	30

## CONTENTS

1. Introduction .....	1
1. 1 The Purpose of the Construction of the Neutron Velocity Selector...	1
1. 2 General Description of the Velocity Selector.....	1
2. The Resolving Power of the Velocity Selector.....	4
2. 1 Transmission Function of the Velocity Selector .....	4
2. 2 The Analysis of the Transmission Function.....	4
2. 3 The Transmission Function of the JAERI Neutron Velocity Selector.....	7
2. 4 The Instrument Resolution .....	9
3. The Description of the JAERI Neutron Velocity Selector.....	10
3. 1 Design Study.....	10
3. 2 The Relation between $\Phi$ and the Wavelength of the transmitted Neutron.....	10
3. 3 The Rotor and its Case .....	12
3. 4 The Rotor-Drive .....	13
3. 5 The Recording Equipment and the Safety Device .....	14
3. 6 Accessories and Soller Collimator.....	14
3. 7 The Result of the Rotor-Rotating Test .....	15
4. The Rotating Speed Control of the JAERI Velocity Selector .....	16
4. 1 The Out-Line of the Control System.....	16
4. 2 Digital Control System .....	16
4. 3 Analog Control System .....	17
5. The Shielding Effect of The JAERI Velocity Selector .....	19
5. 1 The Composition of the KR Monel Alloy.....	19
5. 2 The Macroscopic Cross Section of the KR Monel Alloy .....	19
5. 3 The Shielding of the Rotor against the Radiation .....	19
6. The Experimental Results by the JAERI Velocity Selector.....	21
6. 1 The Experiment at JRR-1 Horizontal Thermal Column.....	21
6. 2 The Neutron Spectrum from JRR-1 Thermal Column.....	21
6. 3 The Effects of the Instrumental Resolution on the Measured Section Values of Graphite and Beryllium.....	23
6. 4 The Measurement of the Total Neutron Cross Sections of Dysprosium.....	26
6. 5 The Effect of the Angular Displacement $\eta$ arround the Perpendicular Line to the Rotor Axis.....	27
References .....	29
Appendix. The conversion table of V, E, $\lambda$ in function of $\omega$ (rpm) ...	30

# 1 序

## 1. 1 中性子速度選択器の製作の目的

クリスタルモノ・クロメータでは、よく知られているように Bragg の反射法則

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (1)$$

ここで  $d$  : 結晶格子の間隔  
 $n$  : 散乱の次数 (整数)

を利用して、それぞれの反射角度で対応するエネルギーの中性子を得るが、この際、散乱の次数  $n$  により、ある角度  $\theta_0$  で反射される中性子の波長は  $\lambda_0$  のほかに、 $\lambda_0/2$ ,  $\lambda_0/3$ ,  $\lambda_0/4$ , … のごとき高次の、したがって波長の短かい中性子の反射が同時に起こる。

このことは、エネルギーのより高い中性子が、得ようとするエネルギーの中性子束中に混じってくることを意味する。もっとも、それぞれの次数の中性子のモノクロメータ単結晶に対する反射率は高次になるにつれて急激に減少する。HOLM<sup>1)</sup> は Be と NaCl の単結晶について、3 次までの中性子反射率をそれぞれ計算し、また、OHNO 等<sup>2)</sup> は LiF 単結晶について、種々の結晶面に対する反射率の計算をおこなった。

HAAS と SHORE<sup>3)</sup> は結晶の反射率は次数  $n$  が大きくなるに従い、急激に減少することを実験でたしかめているが、それでも第 2 次の反射はかなり効いている。

ところで、単結晶からの中性子の高次反射を除去する方法には、大別して 2 通りある。その 1 つに、いろいろな波長を含む入射中性子束 (Heterochromatic neutron beam) を多結晶物質 (Polycrystalline material) を透過させる方法がある。多結晶物質は、その内部にまったく乱雑な方向を示す多くの単結晶面を有し、中性子束はそれぞれの結晶面で (1) 式をみたす波長に対しては、干渉散乱される。この多結晶物質には、いろいろな結晶の格子間隔  $d$  があり、そのうち最大の  $d_{\max}$  に対して  $\sin\theta = 1$  で散乱されるのが、もっとも長い波長の中性子で、そのときの波長は  $\lambda_m = 2d_{\max}$  となる。 $\lambda_m$  より長い波長の中性子は非干渉散乱 (通常小さい) を除いては散乱されず通り抜ける。ただ、中性子捕獲によって減衰する。クリスタル・モ

ノクロメータでの 2 次以上の中性子反射を除くために、このような多結晶物質をフィルターとして用いる時には、利用し得る透過波長範囲は  $2d_{\max} \leq \lambda \leq 2\lambda_m$  である。この不等式の前半は多結晶物質のカットオフ波長から、後半は二次以上の高次反射中性子除去の理由から決められる。多結晶物質としては、透過させる中性子の波長によって種々のものが用いられるが、4~8 Å の範囲では、Be ( $\lambda_m = 2d = 3.95 \text{ Å}$ ) や BeO ( $\lambda_m = 2d = 4.66 \text{ Å}$ ) が普通用いられる。<sup>4) 5)</sup>

第 2 の方法としては、らせん形の溝 (Helical slots) を有する回転体を回転軸のまわりに回転させ、その回転速度に比例したエネルギーの中性子を溝を通してとり出すものである。この応用として、直線平行溝を有する回転体の回転軸を入射中性子束の方向に対して、ある角度をもたせて回転させてもよい。この第 2 の方法は、古く 1935 年に DUNNING<sup>6)</sup> 等が 2 枚のカドミウムの円盤シャッターを 54cm へだてて回転させ、中性子源から中性子の速度を選択してとり出したのが初めである。

JAERI 中性子速度選択器は上述の第 2 の方法により、JAERI 中性子クリスタル・モノクロメータ<sup>7)</sup>とともに用いて、高次中性子の混入を除くために製作された。第 1 の多結晶物質を用いる方法では、用いる物質により  $\lambda_m$  が定まり、 $2\lambda_m$  以下でなければ用いられない。すなわち、通り抜けさせる中性子波長の上限が定められてしまう。第 2 の方法では、原理的にはこのような制限がないことが有利である。

## 1. 2 中性子速度選択器の概要

速度選択器のパラメータとして次のように定義する。

$L$ : Rotor length	回転体長さ
$R_i$ : Radius of rotor body	回転体の溝までの半径
$R$ : Outer radius of rotor	回転体外半径 (ねね先まで含む)
$R_M$ : Mean radius of rotor	回転体の平均半径, $R_M = \frac{2R_i + h}{2}$

$h$ : Depth of slot	溝の深さ(はねの高さ)
$\phi$ : Aperture of slot	溝の拡がり
$\psi$ : Helical angle of the slot	入射中性子が出ていくまでの回転体の回転角度(溝のねじれ角)
$L$ : Pitch of helical slot	ヘリカル溝のピッチ
$\omega$ : Rotating speed	回転角速度
$\Theta$ : Angle between the helical slot and trajectory of the rotor axis on the periphery	回転体表面でヘリカル溝と軸平行線とのなす角度
$N$ : Numbers of slot	溝の数(はねの数)
$\eta$ : Angle between the rotor axis and the neutron beam	回転体軸と中性子束中心軸とのなす角度

1. 1 の第 2 の方法としては以下のべる 3 つの型がある。

### 1. 2. 1 ヘリカル溝を有し、中性子速度選択器の回転軸が入射中性子束の中心線と一致する場合

Fig. 1 から判るように、通り抜ける中性子速度およ

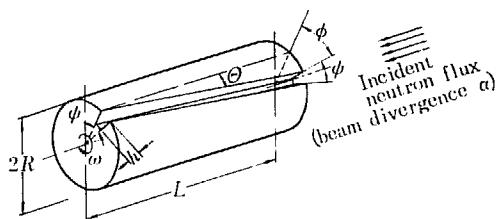


Fig. 1 Schematic of the helical path velocity selector

び波長は次式で与えられる。

$$\lambda_0 = \left( \frac{h}{m\omega} \right) \frac{\phi}{L} \quad (2)$$

ただし、 $m$  : 中性子質量 ( $1.6747 \times 10^{-24}$  g),  $h$  : プランク常数 ( $6.6253 \times 10^{-27}$  erg · sec).

ある回転速度  $\omega$  の時に、実際に透過してくる中性子の速度は (2) 式に与えられる  $V_0$  の周りにある拡がりをもっている。これはヘリカル溝がある幅をもち、かつ入射中性子束が完全な平行束でなくて、ある幾何学的な拡がりをもつためである。高次の中性子反射の混入を除く目的の中性子速度選択器においては、ある波長  $\lambda_0$  の中性子を透過させる際には、 $1/2\lambda_0$  以下の中性子を除去しなくてはならない。この時には、 $\lambda_0$  に対応する中性子速度  $v_0$  に対し、速度選択器を通り抜け得る最大の速度  $V_{\max}$  は次の条件を充さなければならぬ

い。<sup>8)</sup>

$$V_{\max} < 2V_0 \quad (3)$$

$$V_{\max} = \frac{\omega L}{\phi - (\psi + \beta)} = \frac{V_0}{1 - \frac{\psi + \beta}{R}} \quad (4)$$

$$\text{ここで } \beta = \frac{\alpha \cdot L}{R}$$

JAERI 中性子速度選択器はこの場合のものである。1. 2. 1 の場合は Fig. 3 で  $\eta=0$  としたものである。

### 1. 2. 2 溝が直線で、回転軸が入射中性子束の中心線と $\eta$ の角度をなす場合

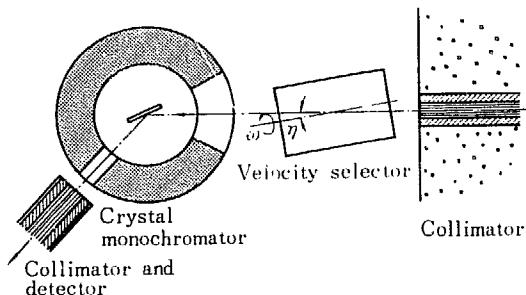


Fig. 2 Schematic setup of the linear path velocity selector

Fig. 2 のように、溝が直線でかつ回転軸に対して平行で、回転体自身を  $\eta$ だけかたむけている。この場合には次の関係が成立する。

$$\tan \eta = \tan \Theta = \frac{R\phi}{L} \quad (5)$$

$\eta$  が小さくて、 $\tan \eta \approx \eta$  したがって  $\tan \Theta \approx \Theta$  と考えられる場合、1. 2. 1 と同様な取り扱いができる。溝をヘリカルに切削することは技術的に容易でないでの、溝を直線に切削し、回転軸を水平面上で傾けると都合がよい。ただし  $\eta$  を変えるための回転台が必要である。この型のものでは DASH と SOMMER<sup>9)</sup> が  $\eta$  が  $0 \sim 10^\circ$  までにわたって可変な速度選択器についてのべている。

### 1. 2. 3 ヘリカル溝を有し、かつ速度選択器の回転軸が入射中性子束の中心線に対し水平に $\eta$ だけ回転できる場合

1. 2. 1 および 1. 2. 2 の場合を兼ねたもので Fig.

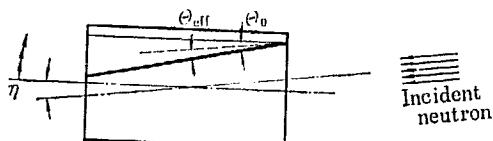


Fig. 3 Arrangement to get more faster neutron with the helical velocity selector

3にしめされる。この場合の利点は回転軸と中性子束とのなす角度 $\gamma$ を、速度選択器の $\theta$ を減らす向きにセットすることにより  $\theta \propto \phi \propto 1/V$  の関係のため、通り抜け得る中性子速度を高い方に延ばすことができる。すなわち、ヘリカル溝を有する速度選択器で、そ

の回転数を一定にしておいても $\gamma$ を変えることにより通り抜ける中性子速度が変わる。<sup>10)</sup>SENCHENKOV<sup>10)</sup>らはこの型に相当するものを考へ、セルシンモータで21コの円盤からなる回転体をその中心を通る垂直軸のまわりに $\gamma$ を変えるようにしている。

## 2 中性子速度選択器の分解能

中性子速度選択器をタイム・オブ・フライト法で用いられるメカニカル・チョッパとその働きをくらべてみると、いわゆるフェルミ型チョッパ<sup>11)</sup>では、短時間  $\delta t$  の間に中性子のバースト (burst) を生じさせるが、その際の中性子速度の拡がり  $\delta V$  は大きくとつてある。中性子速度選択器では、あるきまつた狭い速度範囲以外のすべての中性子を除去するのが主眼であるので、チョッパは厳密な意味で速度選択器とはいえない。<sup>12)</sup> 速度選択器は原理的には、ある距離  $L$  をへだてて 2 つのチョッパがあって、中性子束があるエネルギーのものだけきざみとる (chop) のに似ている。事実 DUNNING や FINK<sup>6)</sup> はこの型のものを考えている。ところで、DUNNING 等の速度選択器では、2 台の回転するカドミウムシャッタの間にはなにもつまっていないのと、シャッタの熱エネルギー以上の中性子 (epithermal neutron) に対する阻止能が充分でないのと、非常に高いバックグランドを生じる。DASH と SOMMER<sup>9)</sup> は溝を円筒に切削して、この点を改良した。

装置の分解能をしらべるには、その透過関数 Transmission Function\* を解析すればよい。透過関数は入射中性子束のうちどれだけが速度選択器を通り抜けるかを示す量で、中性子の速度 (したがって波長) の関数である。この透過関数を波長  $\lambda_0$  をパラメータとして、通り抜けうる波長  $\lambda$  との比  $\lambda/\lambda_0$  を横軸にとって表わすと、波長に依存しない左右対称の曲線が得られる。この半値幅が分解能になる。透過関数の計算にあたっては、以下だいたい BALLY<sup>13)</sup> 等の考え方を採用する。

### 2.1 透過関数

中性子速度選択器を通じて出てくる中性子スペクトル分布  $f(\lambda)$  は、原子炉からコリメータを通じて入る際の中性子分布  $f_0(\lambda)$  と、この中性子速度選択器の透過関数  $\tau(\lambda)$  との積と考えられる。すなわち

$$f(\lambda) = \tau(\lambda) \cdot f_0(\lambda) \quad (6)$$

\* BALLY 等は Resolving Power Function といっている。

で示される。

### 2.2 透過関数の解析

いま、コリメータと速度選択器の軸は、一直線上にある場合についてだけとり扱う。すなわち「1. 序」での  $\eta=0$  の場合である。また、速度選択器の前に取り付けたコリメータには、中性子束が水平面上ある拡がり  $\alpha$  で入り、コリメータ通過後に、速度選択器に入していくものとする。速度選択器の回転体の角速度  $\omega$  のときに、通り抜ける中性子速度  $V_0$  は(2)式で示したよう

$$V_0 = \frac{L\omega}{\phi}$$

$L$  : 回転体長さ

$\phi$  : 溝のねじれ角

である。

回転体の溝の中程 (半径  $R_M$  のところ) での溝の幅 Linear opening of slot は  $R_M \cdot \phi$  で表わされる。ここで  $\phi$  は溝の拡がりである。 $V_0 = L \cdot \omega / \phi$  で溝に入る平行中性子束は、個々の中性子それぞれが溝の壁からの距離を変えないで通り抜ける。したがって入射平行中性子束がすべて  $V_0$  の中性子のみであるとした時、この中性子束の通り抜ける幅は溝の幅  $R_M \cdot \phi$  にひとり。ところで溝の拡がり  $\phi$  が有限の大きさで、また入射平行中性子束が単一エネルギーでないので(2)式において  $V < V_0$ 、または、 $V > V_0$  の速度の中性子が速度選択器を通り抜けられる。しかし、平行中性子束が単一エネルギーでないために、壁にぶつからずに通り抜ける平行中性子束は、 $R_M \cdot \phi$  の幅ではありえない。このため見かけ上、溝の幅が減少したようになる(Fig. 4(1))。

これを時間で表わすと、ある時間  $t_0$  の前後  $t_0 \pm \Delta t$  は  $V \approx V_0$  の速度の中性子が溝を出していく。ここで

$$t_0 = \frac{L}{V_0} = \frac{\phi}{\omega} \quad (7)$$

であり、

$$\Delta t = \frac{\phi}{\omega} \left| \frac{V_0}{V} - 1 \right| \quad (8)$$

である。速度は波長に逆比例するから、(8)式は

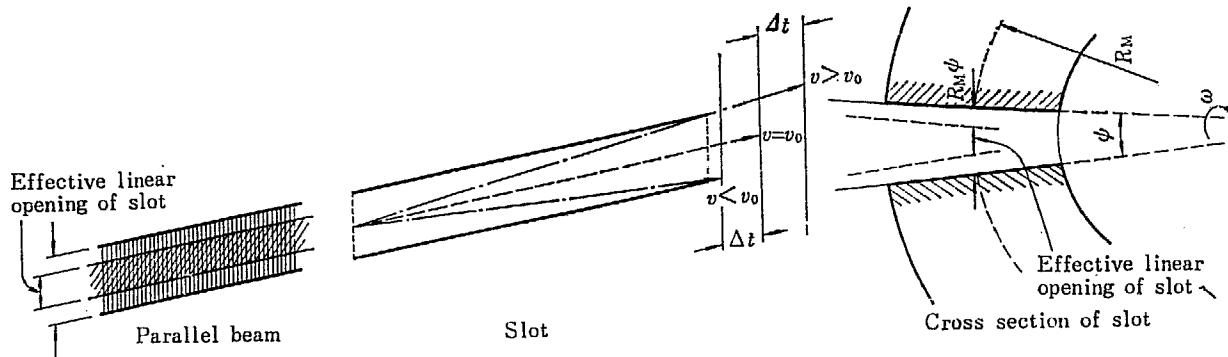


Fig. 4(1) Schematic drawing of the effective linear opening of slot by the neutron time-shift

$$\Delta t = \frac{\phi}{\omega} \left| \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \right| \quad (8')$$

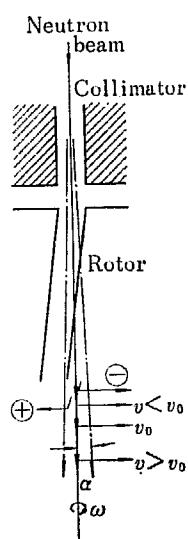
となる。この(8')における時間のずれが溝の幅を実際にへらすこととなり、その減少は

$$|\Delta\phi_1| = R_M \cdot \omega \cdot \Delta t \\ = R_M \cdot \phi \frac{|\lambda - \lambda_0|}{\lambda_0} \quad (9)$$

となる (Fig. 4(1)参照)。ところで、中性子束が中性子速度選択器に入る際、水平面上回軸と  $\alpha$  の角度をなして入射し、かつ、 $\alpha$  が小さくて  $\sin \alpha \approx \alpha$  がなりたてば、溝の幅の減少  $|\Delta\phi_1|$  は次式のように書き替えられる。

$$|\Delta\phi_2| = |R_M \cdot \phi \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} + L\alpha| \quad (10)$$

ここで  $\alpha$  の符号について Fig. 4(2) に示す。  
波長  $\lambda$  の中性子が中性子速度選択器の回軸に対し  $\alpha$  の角度で入射する時、その波長の中性子に対して有

Fig. 4(2) The direction of neutron beam in the case of beam divergence  $\alpha$ 

効な速度選択器の横断面を  $S_{\lambda\alpha}$  で示すと、溝の深さ  $h$  を乗じて

$$S_{\lambda\alpha} = h [R_M \cdot \phi - |\Delta\phi_2|] \\ = h \left[ R_M \cdot \phi - |R_M \cdot \phi \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} + L\alpha| \right] \quad (11)$$

となり、変換をおこなって

$$S_{\lambda\alpha} = h R_M \cdot \phi \left[ 1 - \frac{|\phi_1 + \alpha|}{r} \right] \quad (12)$$

$$\text{ここで } r = \frac{R_M \cdot \phi}{L}$$

$$\phi_1 = R_M \phi (|\lambda - \lambda_0| / \lambda_0) L^{-1}$$

で表わされる。

いま、中性子速度選択器にソーラ・コリメータを含めた体系を考え、透過関数を表わしてみる。この場合ソーラ・コリメータの幾何学的拡がり  $\alpha_0$  と、コリメータの壁を作っている物質の中性子に対する全反射臨界角  $\theta_c^\lambda$  が関係する。速度選択器の透過関数は、まず中性子がコリメータを通り抜ける確率を  $p(\alpha)$  とする

$$\tau(\lambda, \alpha) = \frac{N}{2\pi R_M \cdot h} \cdot p(\alpha) \cdot S(\lambda, \alpha) \quad (13)$$

で与えられる。ここで  $N$  は溝の数を示す。臨界角  $\theta_c^\lambda$  は確率  $p(\alpha)$  に関係する。<sup>14)</sup> すなわち、臨界角  $\theta_c^\lambda$  がコリメータの幾何学的拡がり  $\alpha_0$  より小さい時 ( $\theta_c^\lambda < \alpha_0$ )、 $\theta_c^\lambda$  より小さい角度で入射するすべての中性子は、コリメータを通り抜け、 $\alpha_0$  と  $\theta_c^\lambda$  の間の角度で入射する中性子は、ふつうの三角形強度分布に従って通り抜けれる。もし、臨界角  $\theta_c^\lambda$  が  $\alpha_0$  より大きい時 ( $\theta_c^\lambda > \alpha_0$ )、 $\theta_c^\lambda$  以下の角度で入射する中性子はすべて通り抜け、 $\theta_c^\lambda$  より大きい角度で入射する中性子は全然通り抜けない。この臨界角  $\theta_c^\lambda$  については次式が成立つ。

$$\theta_c^\lambda = \lambda (Na/\pi)^{1/2} \quad (14)$$

ここで  $N$ : 単位体積当りのコリメータ壁物質の原子数  
 $\alpha$ : 中性子干涉平均散乱振幅

## 2. 2. 1 $\theta_c^{\lambda} < \alpha_0$ の場合 (コリメータの幾何学的拡がりが臨界角よりも大きい時)

$\alpha_0$  をコリメータの幾何学的拡がりとすると

$$\alpha_0 = s/l \quad (15)$$

$s$ : コリメータ壁間の距離

$l$ : コリメータ長さ

である。コリメータの幾何学的拡がりが、コリメータ壁物質の臨界角よりも大きい時には、コリメータを通り抜けられる中性子の確率  $p(\alpha)$  は

$$p(\alpha) = 1 - \frac{|\alpha|}{\alpha_0} \quad (16)$$

であり、したがって、 $\lambda$  と  $\alpha$  の関数としての透過関数  $\tau(\lambda, \alpha)$  は

$$\begin{aligned} \tau(\lambda, \alpha) &= \frac{N}{2\pi R_M \cdot h} \cdot p(\alpha) \cdot s(\lambda, \alpha) \\ &= \frac{N\phi}{2\pi} \left(1 - \frac{|\alpha|}{\alpha_0}\right) \left[1 - \frac{|\phi_{\lambda} + \alpha|}{r}\right] \end{aligned} \quad (17)$$

と表わされ、したがって

$$\frac{f(\lambda)}{f_0(\lambda)} = \tau(\lambda) = \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} \tau(\lambda, \alpha) d\alpha / \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} d\alpha$$

TABLE 1, 2 The results obtained after integration of the equations (18), (20)<sup>13)</sup>

TABLE 1

	$\phi_{\lambda}$	$(f(\lambda)/f_0(\lambda))(4\pi/N\phi)$
$\frac{\alpha_0}{r} \leq \frac{1}{2}$	$ \phi_{\lambda}  < \alpha_0$	$ \phi_{\lambda} ^3/3\gamma\alpha_0^2 - \phi_{\lambda}^2/\gamma\alpha_0 + (3\gamma - \alpha_0)/3\gamma$
	$\alpha_0 \leq  \phi_{\lambda}  \leq \gamma - \alpha_0$	$1 -  \phi_{\lambda} /\gamma$
	$\gamma - \alpha_0 \leq  \phi_{\lambda}  \leq \gamma$	$ \phi_{\lambda} ^3/6\gamma\alpha_0^2 + (\phi_{\lambda}^2/2\gamma\alpha_0)(1 - \gamma/\alpha_0) - ( \phi_{\lambda} /\alpha_0)(1 + [\alpha_0^2 - \gamma^2]/2\gamma\alpha_0) + (\alpha_0 + \gamma)/2\alpha_0 + (\alpha_0^3 - \gamma^3)/6\alpha_0^2\gamma$
	$\gamma \leq  \phi_{\lambda}  \leq \gamma + \alpha_0$	$- \phi_{\lambda} ^3/6\gamma\alpha_0^2 + (\phi_{\lambda}^2/2\gamma\alpha_0)(1 + \gamma/\alpha_0) - ( \phi_{\lambda} /\alpha_0)(1 + [\alpha_0^2 + \gamma^2]/2\gamma\alpha_0) + (\alpha_0 + \gamma)^3/6\gamma\alpha_0^2$
$\frac{1}{2} \leq \frac{\alpha_0}{r} \leq 1$	$ \phi_{\lambda}  \leq \gamma - \alpha_0$	$ \phi_{\lambda} ^3/3\gamma\alpha_0^2 - \phi_{\lambda}^2/\gamma\alpha_0 + (3\gamma - \alpha_0)/3\gamma$
	$\gamma - \alpha_0 \leq  \phi_{\lambda}  \leq \alpha_0$	$ \phi_{\lambda} ^3/2\gamma\alpha_0^2 - (\phi_{\lambda}^2/2\gamma\alpha_0)(1 + \gamma/\alpha_0) - ( \phi_{\lambda} /\alpha_0)(1 - [\alpha_0^2 + \gamma^2]/2\gamma\alpha_0) + (\alpha_0 + \gamma)/2\alpha_0 - (\alpha_0^3 + \gamma^3)/6\gamma\alpha_0^2$
	$\alpha_0 \leq  \phi_{\lambda}  \leq \gamma$	$ \phi_{\lambda} ^3/6\gamma\alpha_0^2 + (\phi_{\lambda}^2/2\gamma\alpha_0)(1 - \gamma/\alpha_0) - ( \phi_{\lambda} /\alpha_0)(1 + [\alpha_0^2 - \gamma^2]/2\gamma\alpha_0) + (\alpha_0 + \gamma)/2\alpha_0 + (\alpha_0^3 - \gamma^3)/6\gamma\alpha_0^2$
	$\gamma \leq  \phi_{\lambda}  \leq \gamma + \alpha_0$	$- \phi_{\lambda} ^3/6\gamma\alpha_0^2 + (\phi_{\lambda}^2/2\gamma\alpha_0)(1 + \gamma/\alpha_0) - ( \phi_{\lambda} /\alpha_0)(1 + [\alpha_0^2 + \gamma^2]/2\gamma\alpha_0) + (\alpha_0 + \gamma)^3/6\gamma\alpha_0^2$
$1 \leq \frac{\alpha_0}{r} \leq 2$	$ \phi_{\lambda}  \leq \alpha_0 - \gamma$	$ \phi_{\lambda} ^3/3\gamma\alpha_0^2 - \phi_{\lambda}^2/\alpha_0^2 + \gamma(3\alpha_0 - \gamma)/3\alpha_0^2$
	$\alpha_0 - \gamma \leq  \phi_{\lambda}  \leq \gamma$	$ \phi_{\lambda} ^3/2\gamma\alpha_0^2 - (\phi_{\lambda}^2/2\gamma\alpha_0)(1 + \gamma/\alpha_0) - ( \phi_{\lambda} /\alpha_0)(1 - [\alpha_0^2 + \gamma^2]/2\gamma\alpha_0) + (\alpha_0 + \gamma)/2\alpha_0 - (\alpha_0^3 + \gamma^3)/6\gamma\alpha_0^2$
	$\gamma \leq  \phi_{\lambda}  \leq \alpha_0$	$ \phi_{\lambda} ^3/6\gamma\alpha_0^2 - (\phi_{\lambda}^2/2\gamma\alpha_0)(1 - \gamma/\alpha_0) - ( \phi_{\lambda} /\alpha_0)(1 - [\alpha_0^2 - \gamma^2]/2\gamma\alpha_0) + (\alpha_0 + \gamma)/2\alpha_0 - (\alpha_0^3 - \gamma^3)/6\gamma\alpha_0^2$
	$\alpha_0 \leq  \phi_{\lambda}  \leq \alpha_0 + \gamma$	$- \phi_{\lambda} ^3/6\gamma\alpha_0^2 + (\phi_{\lambda}^2/2\gamma\alpha_0)(1 + \gamma/\alpha_0) - ( \phi_{\lambda} /\alpha_0)(1 + [\alpha_0^2 + \gamma^2]/2\gamma\alpha_0) + (\alpha_0 + \gamma)^3/6\gamma\alpha_0^2$

$$= \frac{N\phi}{4\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_0} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} \left[1 - \frac{|\alpha|}{\alpha_0}\right] \cdot \left[1 - \frac{|\phi_{\lambda} + \alpha|}{r}\right] d\alpha \quad (18)$$

となる。

## 2. 2. 2 $\theta_c^{\lambda} \geq \alpha_0$ の場合 (コリメータの幾何学的拡がりが臨界角よりも小さい時)

$\theta_c^{\lambda} \geq \alpha_0$  の時には、コリメータを通り抜けられる中性子束の拡がりは  $\theta_c^{\lambda}$  で決められる。波長  $\lambda$  の中性子がソーラ・コリメータを通り抜ける確率は

$$\begin{aligned} p(\alpha) &= 1 & 0 \leq \alpha \leq \theta_c^{\lambda} \\ p(\alpha) &= 0 & \alpha > \theta_c^{\lambda} \end{aligned} \quad (19)$$

で透過関数は

$$\frac{f'(\lambda)}{f_0(\lambda)} = \tau'(\lambda) = \frac{N\phi}{2\pi} \cdot \frac{1}{2\theta_c^{\lambda}} \int_{-\theta_c^{\lambda}}^{\theta_c^{\lambda}} \left[1 - \frac{|\phi_{\lambda} + \alpha|}{r}\right] d\alpha \quad (20)$$

となる。

## 2. 2. 3 透過関数の計算

(18)式および(20)式は DASH と SOMMER<sup>9)</sup> および BALLY<sup>13)</sup> 等によって積分式が解かれているが、BALLY 等による結果を TABLE 1, 2 に記す。

TABLE 2

	$\phi_\lambda$	$(f'(\lambda)/f_0(\lambda))(2\pi/N\phi)$
$\frac{\theta_c^2}{r} \leq \frac{1}{2}$	$ \phi_\lambda  \leq \theta_c^2$	$((2\gamma - \theta_c^2)/2\gamma)[1 - \phi_\lambda^2/\theta_c^2(2\gamma - \theta_c^2)]$
	$\theta_c^2 \leq  \phi_\lambda  \leq \gamma - \theta_c^2$	$1 -  \phi_\lambda /\gamma$
	$\gamma - \theta_c^2 \leq  \phi_\lambda  \leq \gamma + \theta_c^2$	$((\gamma + \theta_c^2)^2/4\theta_c^2\gamma)[1 -  \phi_\lambda /(\gamma + \theta_c^2)]^2$
$\frac{1}{2} \leq \frac{\theta_c^2}{r} \leq 1$	$ \phi_\lambda  \leq \gamma - \theta_c^2$	$((2\gamma - \theta_c^2)/2\gamma)[1 - \phi_\lambda^2/\theta_c^2(2\gamma - \theta_c^2)]$
	$\gamma - \theta_c^2 \leq  \phi_\lambda  \leq \theta_c^2$	$(\gamma/2\theta_c^2)(1 - [(\theta_c^2 - \gamma -  \phi_\lambda )/\sqrt{2}\gamma]^2)$
	$\theta_c^2 \leq  \phi_\lambda  \leq \gamma + \theta_c^2$	$((\theta_c^2 + \gamma)^2/4\gamma\theta_c^2)[1 -  \phi_\lambda /(\gamma + \theta_c^2)]^2$
$1 \leq \frac{\theta_c^2}{r}$	$ \phi_\lambda  \leq \theta_c^2 - \gamma$	$r/2\theta_c^2$
	$\theta_c^2 - \gamma \leq  \phi_\lambda  \leq \theta_c^2$	$(\gamma/2\theta_c^2)(1 - [(\theta_c^2 - \gamma -  \phi_\lambda )/\sqrt{2}\gamma]^2)$
	$\theta_c^2 \leq  \phi_\lambda  \leq \theta_c^2 + \gamma$	$((\theta_c^2 + \gamma)^2/4\gamma\theta_c^2)[1 -  \phi_\lambda /(\gamma + \theta_c^2)]^2$

## 2.3 JAERI 中性子速度選択器の透過関数

JAERI 中性子速度選択器の透過関数を計算する際に必要な諸数値を TABLE 3 にまとめておく。これらの諸数値を用いて計算した結果を Fig. 5 に示す。また、Fig. 6 にはコリメータの幾何学的拡がり  $\alpha_0$  を種々変えた時の透過関数を示してある。

$\alpha = 0$  すなわち完全な平行中性子束が、速度選択器に入射した時の速度選択器の透過関数は、 $\lambda = \lambda_0$  の中性子に対して

$$\begin{aligned} \tau_{\alpha=0}^{v.s.}(\lambda) &= \frac{N R_M \phi}{2\pi R_M} = \frac{N\phi}{2\pi} \\ &= 0.745 \quad (\text{JAERI 中性子速度選択器のばい}) \end{aligned}$$

で、これを特に透過度 Transparency という。JAERI 速度選択器の場合には、約75%の透過度であ

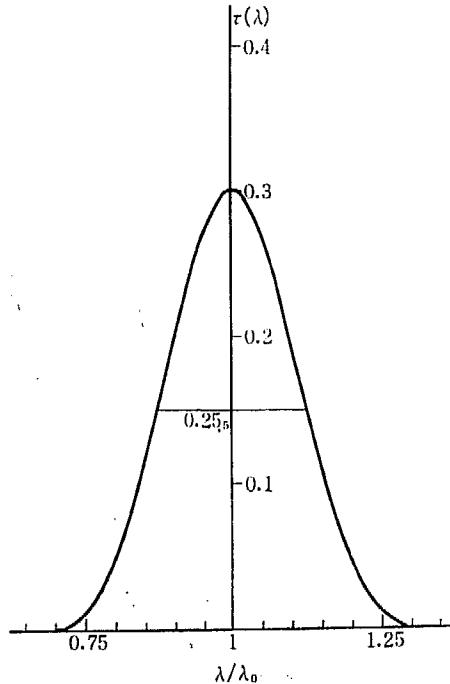


Fig. 5 Transmission function of JAERI velocity selector with its Soller collimator

TABLE 3 Dimensions of the JAERI velocity selector

$R = 9.30\text{cm}$	
$R_M = 7.15\text{cm}$	$R_M = (R + h)/2$
$L = 44.0\text{cm}$	
$h = 4.3\text{cm}$	
$\phi = 0.2750\text{rad} = 15^\circ 45' 24''$	
$N = 80$	$\psi = 0.05854\text{rad} = 3^\circ 21' 12''$
$s = 0.275\text{cm}$	
$t = 50\text{cm}$	
	$r = \frac{R_M \phi}{L} = 9.51_2 \times 10^{-3}$
	$\alpha_0 = \frac{s}{t} = 5.5_0 \times 10^{-3}$
	$\phi_\lambda = \frac{R_M \phi}{L} \frac{ \lambda - \lambda_0 }{\lambda_0} = 4.46_9 \times 10^{-2} \frac{ \lambda - \lambda_0 }{\lambda_0}$
	$\frac{\alpha_0}{r} = 0.578_2 > \frac{1}{2}$

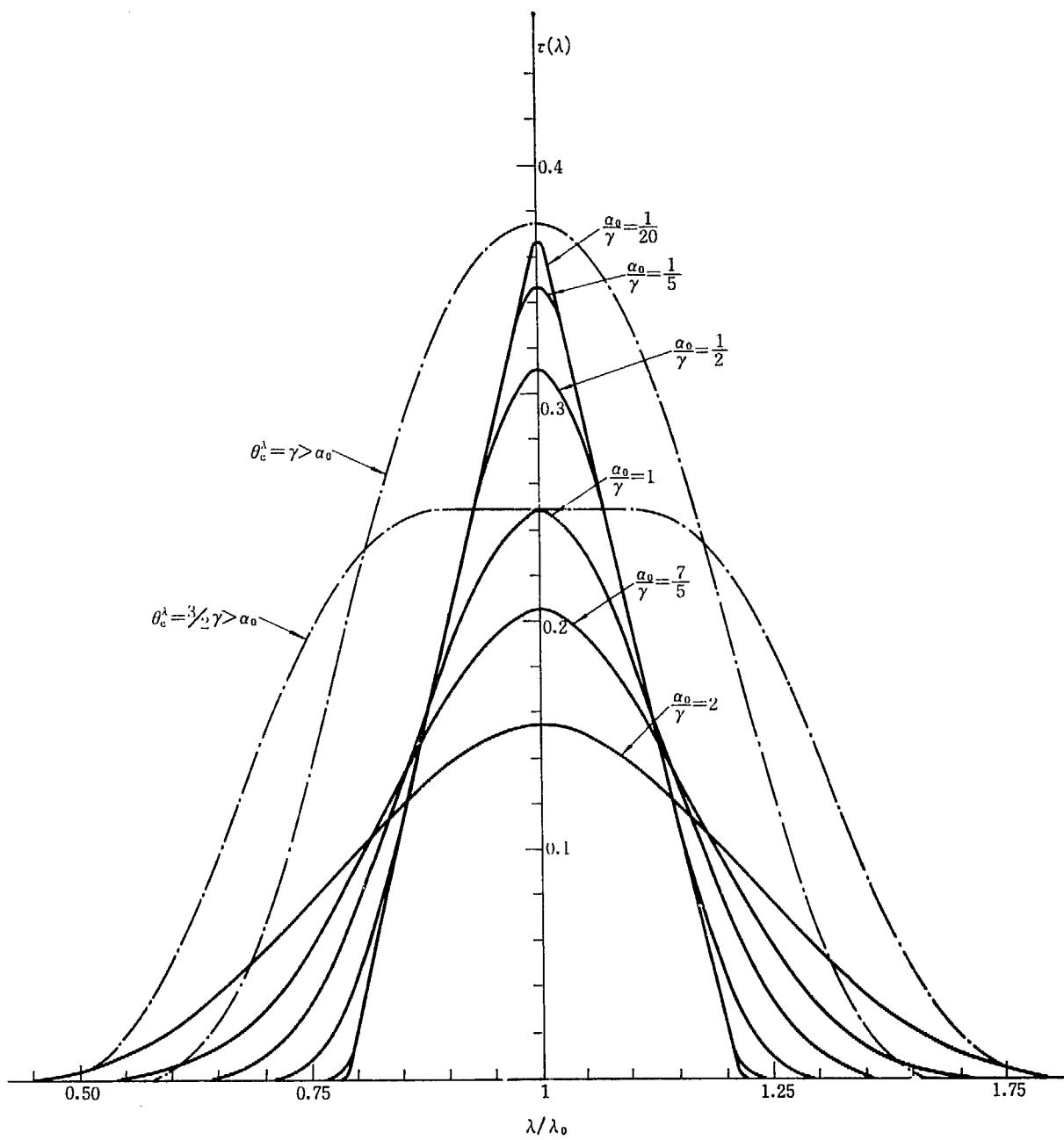


Fig. 6 Transmission function for various values of  $\alpha_0$

$\alpha_0 = s/l$  : Geometrical divergence of the collimator

$\gamma = R_M \phi / L$  : Geometrical divergence of the rotor slot assuming as  
the straight slot line

$\frac{\lambda}{\lambda_0}$  is taken as the abscissa

ことになる。<sup>\*1</sup>

## 2.4 装置の分解能

装置の分解能  $F$  は

$$F = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \quad (21)$$

で定義される。<sup>\*2</sup>

ここで  $\Delta\lambda$  は透過関数の半値幅である。Fig. 6 あるいは、(18), (20)式より  $\alpha_0/\gamma$  または、 $\theta_c^1/\gamma$  の値を適当にとった時の JAERI 速度選択器の分解能曲線を Fig. 7 に示す。

$\alpha_0 = 0$  (すなわち無限に長いソーラコリメータを用いた) の際の分解能は

$$F_{ideal} = -\frac{\psi}{\phi} \quad (22)$$

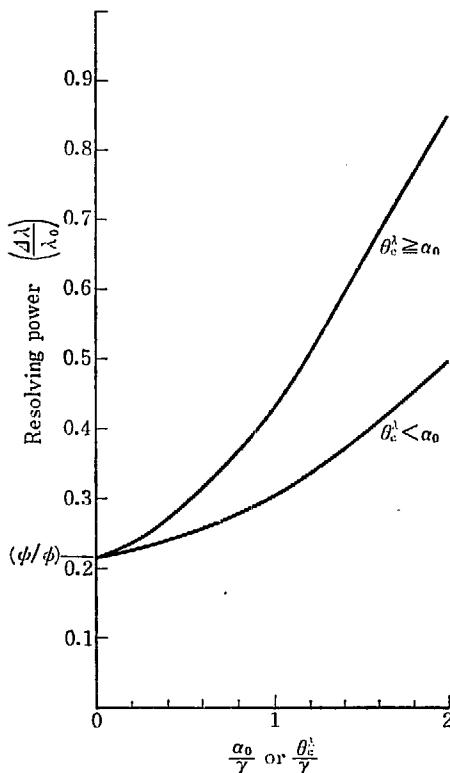


Fig. 7 The resolving power of the JAERI velocity selector and the collimator system, as the function of the collimator divergence

で JAERI 速度選択器の数値を入れると、 $F_{ideal} = 0.21$  である。また、 $\alpha_0$  として JAERI 速度選択器に使用するソーラコリメータの値  $\alpha_0 = 5.5 \times 10^{-3}$  をとると、Fig. 5 から

$$F_{JAERI} = 0.26$$

となる。

Fig. 7 より明らかなように、入射中性子束がある拡がりを持っている時、 $\theta_c^1 < \alpha_0$  すなわち、臨界角  $\theta_c^1$  がコリメータの幾何学的拡がり  $\alpha_0$  より小さい場合の方が、 $\theta_c^1 \geq \alpha_0$  の場合にくらべて分解能がよいことがわかる。<sup>\*3</sup> ふつう、ソーラコリメータは鋼 (steel) でつくられるが、大きな波長の中性子に対しては(14)式から臨界角が大きくなり、したがって、Fig. 7 でわかるように  $\theta_c^1 \geq \alpha_0$  の方の分解能のわるい曲線になる。そのため、分解能を波長の長い中性子に対しても、より良くするには  $\theta_c^1 < \alpha_0$  の条件がみたされるよう、(14)式において、中性子干渉平均散乱振幅  $a$  が負であるか、正であっても  $\theta_c^1 < \alpha_0$  の条件をみたすほど、充分小さいものでなければならない。そのような値の  $a$  を有する物質でコリメータ壁が覆われるとよい。この物質による被覆の厚さは、その物質中の中性子の平均透過自由行程 Mean free path より厚くする必要がある。

JAERI 中性子速度選択器に使用するソーラ・コリメータは比較的、 $a$  の値の小さいカドミウムでその壁が鍍金されている。その厚さは  $\frac{5}{100}$  mm である。なお、カドミウムの  $a$  値は  $(0.58 \pm 0.03) \times 10^{-12} \text{ cm}^{15)}$  で、中性子波長約 7 Å までは、 $\theta_c^1 < \alpha_0$  の条件を充す。

---

\*1 Fig. 6 で無限に長いコリメータ、すなわち  $\alpha_0$  が 0 に近づいた極限の時には  $\tau_{\alpha=0}^{v,s}$  の半分の値を示す。

\*2 [注意] 装置の分解能  $\Delta\lambda/\lambda_0$  と回転の stability  $|\Delta\omega/\omega| = |\Delta\lambda_0/\lambda_0|$  とを混同してはならない。 $\Delta\lambda_0/\lambda_0$  は JAERI velocity selector の場合 0.6% 以下にとっている。

\*3 もっとも intensity は後者の方が良いことは明らかである。

### 3 JAERI 中性子速度選択器の概要と付属装置

#### 3. 1 製作にあたって

HOLT<sup>8)</sup> は Brookhaven 研究所で、速度選択器を中性子クリスタル・モノクロメータの後に設置して、結晶からの高次反射を除去するのに用いた。よく知られているように、単結晶にはモザイク構造による格子面の乱れがあり、そのために、たとえ平行中性子束が結晶面に入射しても、反射された中性子束は拡がりを有する。中性子速度選択器は、ソーラ・コリメータとともに用いられ、それ自体コリメータの働きも兼ねる。JAERI速度選択器での TABLE 3 に示された  $\gamma = R_M \phi / L = 9.51_2 \times 10^{-3}$  は、そのヘリカル溝に等しい長さと拡がりを持った直線状溝の幾何学的拡がりを意味する。したがって、HOLT 等が、速度選択器をモノクロメータの回転アーム上に据付けて用いたのに反し、JAERI速度選択器は、クリスタル・モノクロメータ単結晶の前に設置される。

このことは、速度選択器がモノクロメータでの高次反射の中性子の除去を目的とする時には、中性子強度はできるだけ減らさず、一方、分解能については、「1. 序」に述べたように、必要な中性子波長  $\lambda_0$  に対して、 $\lambda_0/2$  の波長の中性子が除去できればよいので、この目的で作られた速度選択器自体はクリスタル・モノクロメータの分解能にくらべて、波長の短かい中性子をとり出すときに劣る。したがって、分解能の良いクリスタル・モノクロメータ単結晶の前に設置するのが望ましいと考えた。この考え方のために、JAERI 中性子速度選択器は日本原子力研究所JRR-2原子炉(CP-5型、10MW出力)のNo. 11水平実験孔(7½")に挿入して、使用することとなった。よって、中性子速度選択器の大きさは、原子炉実験孔プラグで制限されて、長さ 550mm、直径 360mm がその容器をも含んだ大きさとしておさえられ、したがって、回転体の半径長さも制限される。

速度選択器の回転の安定度は 1%以下とし、装置の分解能については、上記のような考え方から 20~30%と考えた。稼働は一週間の約半分、24時間連続運転と

考える。また、前述の中性子速度選択器に用いるコリメータの幾何学的拡がりは約 20' である。JAERI中性子速度選択器の炉内配置図は Fig. 8 のとおりである。

#### 3. 2 溝のねじれ角 $\phi$ の設定と、回転数—透過中性子波長の間の関係

(2) 式において、 $L$  を 44cm とした時に、回転数ととり出せる中性子の波長との関係を、溝のねじれ角  $\phi$  をパラメータにして Fig. 9 に示す。

JAERI 中性子速度選択器では、 $\phi$  を 0.275rad ( $\approx 16'$ ) にとってある。また、中性子速度選択器に入る中性子は、その前に通ってくるソーラ・コリメータの幾何学的拡がり  $\alpha_0$  によって影響されることは前述したが、われわれの場合、 $\alpha_0 = 0.005_5 \text{ rad} \approx 20'$  とし、速度選択器回転体のヘリカル溝の数は 80 とした。また、「はねの板厚」を考えて、溝の拡がり  $\psi$  を 0.0585<sub>4</sub> rad ( $\approx 3.5'$ ) と決めた。

回転体の長さ  $L$  は 44cm であるが、(4)式で  $R = R_i = 5.0 \text{ cm}^*$  として、 $V_{\max}/V$  を長さ 44, 46, 50cm のそれぞれの場合に計算して Fig. 10 に示す。「1. 序」でも述べたように、 $V_{\max}/V = 2$  になる臨界みぞねじれ角  $\phi_{\text{critical}}$  以上では、2 次すなわち  $\lambda_0/2$  の波長の中性子が混入してくることになり、高次反射を除去する目的には使用できなくなる。

回転体長さと  $\phi_{\text{critical}}$  の関係は  $R_i$  を 5.0cm として TABLE 4 に参考までに示しておく。

TABLE 4 The relations between the rotor length  $L$  and the critical helical angle of the slot  $\phi_{\text{critical}}$  ( $V_{\max}/V = 2$ ), for  $R_i = 5.0 \text{ cm}$

$L(\text{cm})$	44.0	46.0	48.0	50.0
$\phi_{\text{critical}}(\text{rad})$	0.222 <sub>7</sub>	0.227 <sub>5</sub>	0.232 <sub>3</sub>	0.237 <sub>1</sub>

Fig. 9, 10, TABLE 4 からわかるように、回転速度を

\*  $R$  として  $R = R_M = 7.15 \text{ cm}$  とするべきであるが、ここでは溝底までの径をとってある。

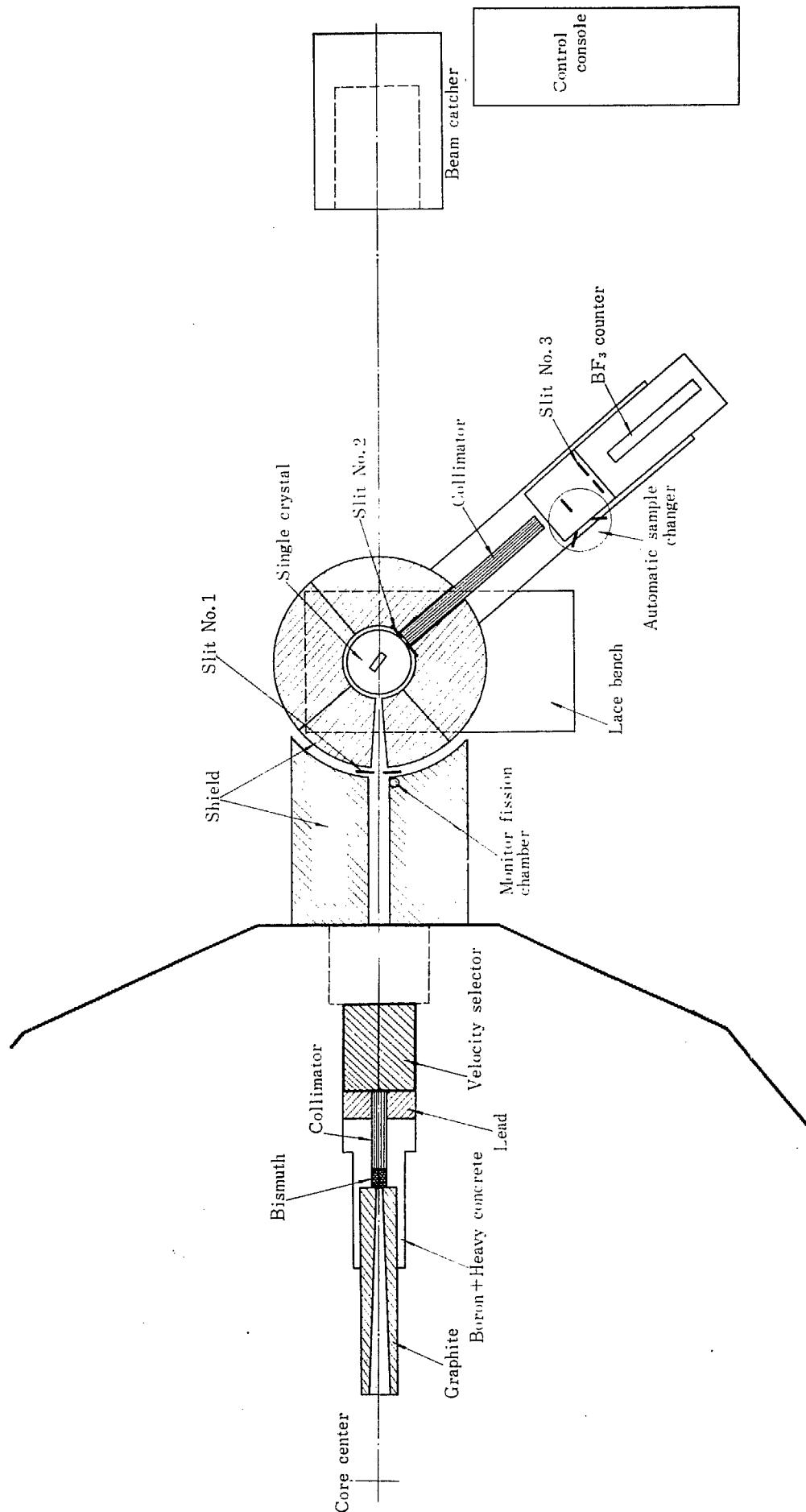


Fig. 8 Experimental arrangement of JAERI velocity selector together with JAERI crystal monochromator.

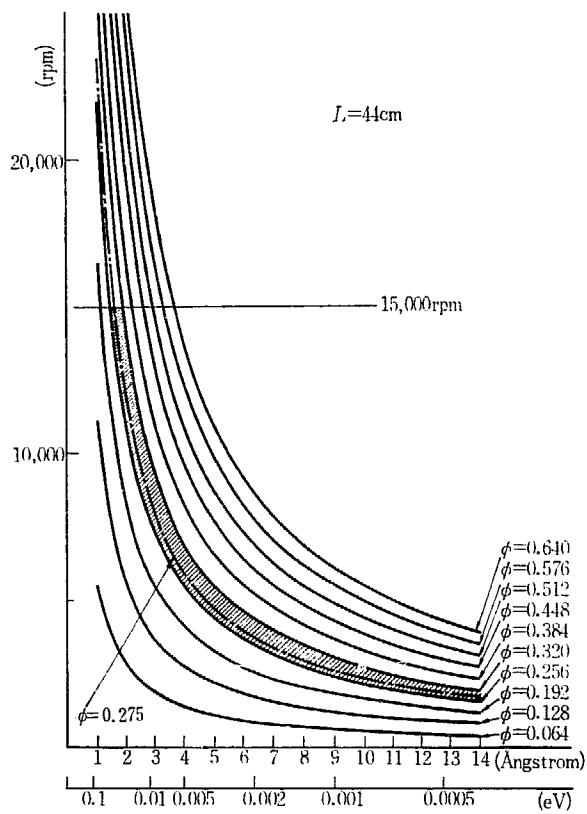


Fig. 9 The relation between the rotating speed and the wave length of the transmitted neutron as the parameter  $\phi$  being 0.0640~0.640.

できるだけおさえて、エネルギーの高いところまで狙うことと、二次以上の高次反射の混入成分除去のため  $V_{\max}/V$  をできるだけ低くおさえることは、互いに相反するので適当な点で妥協が必要である。

$L=44.0\text{cm}$  で  $\phi=0.275\text{rad}$  の JAERI 速度選択器のときの、回転数と透過中性子速度およびエネルギーとの関係を

$$\omega(\text{rpm}) = 21.70 \times \phi(\text{rad}) \times V(\text{m/sec})$$

を用いて、付録に示す。

### 3. 3 回転体と容器\*

中性子速度選択器の回転体全体は 52S アルミニウム製のタンク内に収められ、高速回転での空気の摩擦をへらすため、真空  $10^{-2}\text{mmHg}$  で常用され、その回転軸は ウィルソンシールによって真空が保たれる。このケース内には、さらに、振動検出用のピック・アップ

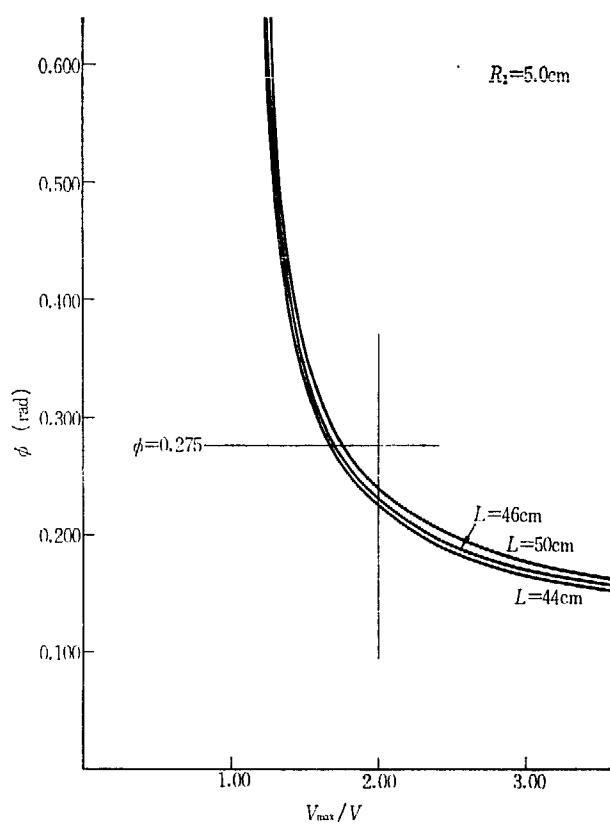


Fig. 10 The value of  $\phi$  versus  $V_{\max}/V$  as the parameter of the rator length  $L$ .

があり、熱電対温度計がモータ、回転体軸受、潤滑油ケースにそれぞれ取り付けられる。この全体が CP-5 型原子炉の実験孔プラグに挿入される。

回転速度の検出として回転体主軸 1 回転で 30 コの光パルスを生じるようにしてある。

長さ 44.0cm、直徑 18.6cm の回転体は KR モネル合金製で、ヘリカル溝は削り出して作る。この時、ヘリカル溝のピッチは 10.05m である。Fig. 11 は回転体部の写真で、Fig. 12 はその横断面の模式図である。

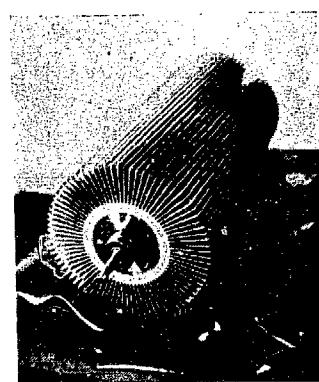


Fig. 11 The rotor of the JAERI velocity selector.

\* 制御系を含めて、製作は三菱電機研究所である。

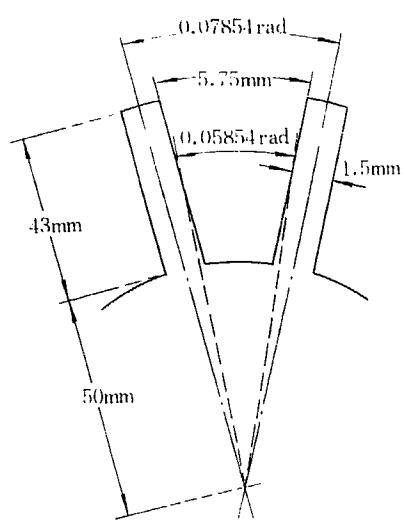


Fig. 12 Schematic cross section of the rotor slot

回転体が高速回転をする時、遠心力による高い応力は、溝と溝にはさまれた“はね”の根本と回転体中心部に生じると考えてよい。さらに、“はね”的根本に半径方向の引張りによる集中応力、また、“はね”的曲げによる曲げ集中応力も考えねばならぬ。HAGIWARA<sup>16)</sup> 等による計算結果は、遠心力による“はね”的根本への応力が最大で、18,000 rpm の場合、 $11.6 \text{ kg/mm}^2$  であった。

また応力の組合せを考え、疲労限としての安全度を 18,000 rpm の場合について考えると、

$$n = \frac{1}{\sigma_0/\sigma_y + \sigma_a/\sigma_e}$$

ここで  $\sigma_0 = 17.3 \text{ kg/mm}^2$  定常応力  
 $\sigma_y = 59 \text{ kg/mm}^2$  降伏点  
 $\sigma_a = 1.5 \text{ kg/mm}^2$  変動応力  
 $\sigma_e = 20 \text{ kg/mm}^2$  疲労限

の関係式より、 $n \approx 2.7$  となり、十分安全であるという結果が出た。

JAERI 中性子速度選択器の  $V_{\max}/V$  は 1.68 にと

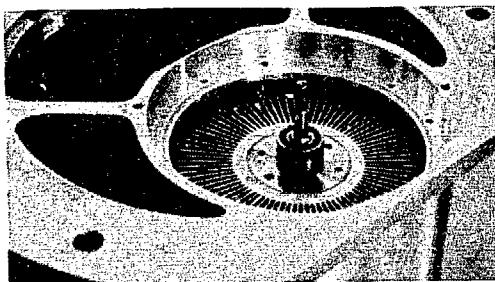


Fig. 13 The photograph of the rotor in the vacuum case.

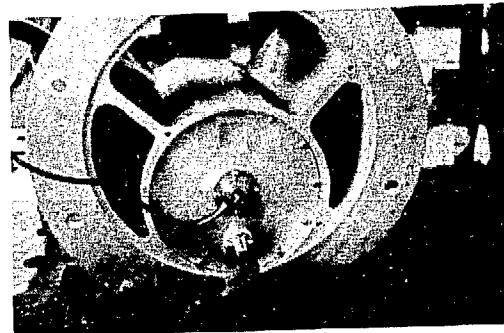


Fig. 14 The rotor-case  
(The set-up position is up-side down)

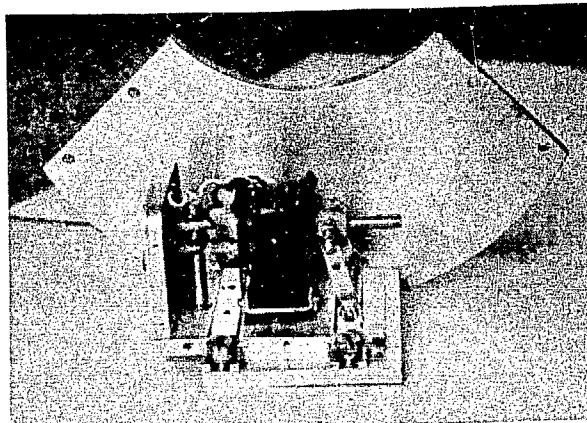


Fig. 15 The pickup of the vibroscope

ってある。また、中性子束が完全に平行線束のとき、回転角速度  $\omega$  で、透過する波長  $\lambda_0$  の中性子に対しての透過度  $\tau_{n=0}^{v,s}$  は 0.74<sub>5</sub> である。

Fig. 13, 14, 15 はそれぞれ、回転体、真空ケース、および振動計ピック・アップを示す。

### 3. 4 回転駆動

中性子速度選択器の回転体は、100 V, 400 W の直流モータで駆動される。この回転体の回転速度制御が装置の性能に非常に効いてくるが、次章にのべる、回転数の安定度については、(2)式より

$$\left| \frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0} \right| = \left| \frac{\Delta \omega}{\omega} \right| \quad (23)^*$$

で与えられる。JAERI 中性子速度選択器では、この回転速度の安定度は  $\pm 0.6\%$  以内であり、昼夜連続運転においてもこの精度が保たれる。

回転体部はアンギュラーコンタクト型超精密級玉軸

\* 分解能の  $\frac{\Delta \lambda}{\lambda_0}$  と混同せぬこと。

受 2 コ 1 組のものでそれぞれ両端が支持され、真空容器内で、ブリにかけた V 型ベルトを直流モータで加速する。Fig. 16 は駆動部を前面よりみたところで、上部ブリには 1 回転 30 の光パルスを生じさせるための穴が 30 あけてある。

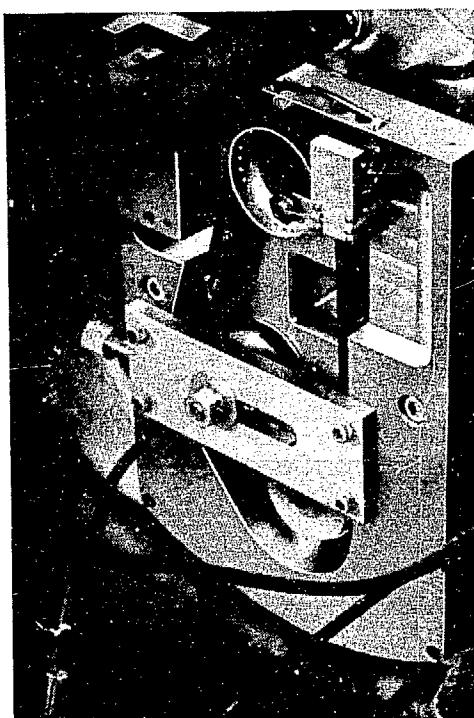


Fig. 16 The rotor-drive by the v belt.

The holes on the upper pulley produce 30 photopulses per revolution.

回転数の設定範囲は、1,500rpm から 15,000rpm で、それに対応する中性子エネルギーは 0.00033eV と 0.0330<sub>3</sub>eV であり、その間の任意の値に設定できる。回転体自体は強度計算によると、最高回転数 24,000rpm まで可能である。

JAERI 中性子速度選択器では、付表にして、回転数と中性子速度、エネルギー、波長との関係を数値を入れてまとめてあるが、それとの間の関係式は(24)式に示すとおりである。

$$\begin{aligned} V(\text{m/sec}) &= 1.676 \times 10^{-1} \omega(\text{rpm}) \\ E(\text{eV}) &= 1.468 \times 10^{-10} \omega^2 (\text{rpm}^2) \quad (24) \\ \lambda(\text{\AA}) &= 2.360 \times 10^4 \omega^{-1} (\text{rpm}^{-1}) \end{aligned}$$

### 3.5 計測記録装置と安全装置

回転数はディジタルに 10 進 4 衔で rps 表示により、制御盤に小数点以下 1 衔まで示される。同時に、

回転数はまた、アナログ表示でも表わされる。

真空度はサーミスタ型真空計で表わされる。振動は振動計ピックアップより増幅器を通し、また、各部温度は銅・コンスタンタン熱電対からいずれも打点式記録計で常時記録される。記録計は 6 打点式で、(1)(2)回転体軸受温度（前後）(3)回転体回転数（Tacho-Generator 出力）、(4)軸受油循環部温度、(5)主モータ温度、(6)振動計出力（回転体振動）の 6 項目について記録し、おのおのの設定値を超えると警報動作の接点が ON となり、出力増幅器の電源が切れる。

安全装置としては、これに加えて、回転体振動計増幅器の保護接点が動作した時、真空系増幅器の保護接点が動作した時、主モータ過電流リレー動作した時、および、“ストップ”で制動減速をおこない、モータ速度が零になり、零速度リレーが動作した時の合計 5 つを考え、運転中にこの状態になった時は、直ちに出力増幅器の電源を切り、同時に警報がなる。

### 3.6 付属機器およびソーラ・コリメータ

付属機器としては、真空ポンプ系と循環系があり、

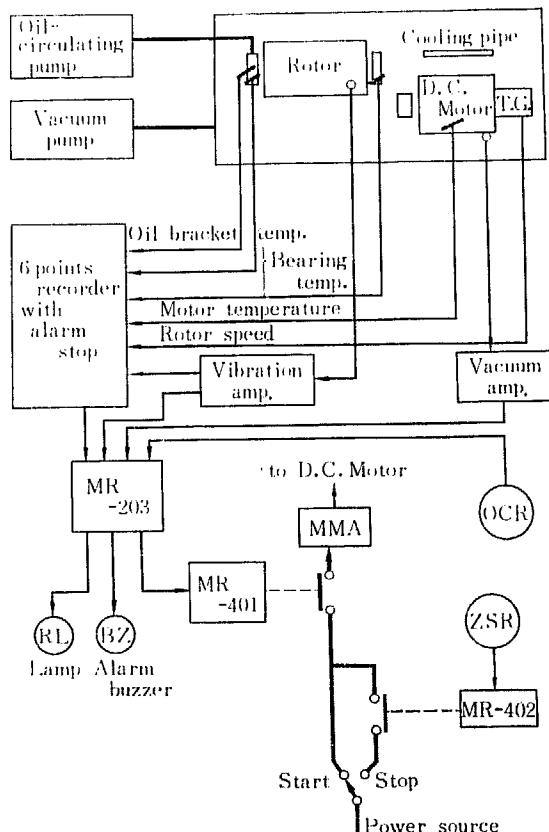


Fig. 17 Accessories and safety device

前者は回転体ケース内を  $10^{-2}$  mmHg 程度の真空中にして回転体の“はね”への抵抗を減じさせ、後者は、回転体軸受けに、潤滑油を循環させて、高速度回転の際のベアリングの焼付けを防ぐ。また、主モーターは温度上昇をおさえるために水冷される。付属機器および安全装置は Fig. 17 に図示してある。Fig. 18 は真空ポンプ系と油循環系を示す。

JAERI 中性子速度選択器の前に設置されるソーラ・コリメータは Fig. 19 の写真に示される。このソーラ・コリメータは全体の寸法が  $100\text{mm} \times 70\text{mm} \times 500\text{mm}$  で、断面  $35\text{mm} \times 30\text{mm}$  のコリメータ部分は、 $0.4\text{mm}$  の鋼の薄板を  $2.75\text{mm}$  のスペーサで、はさん

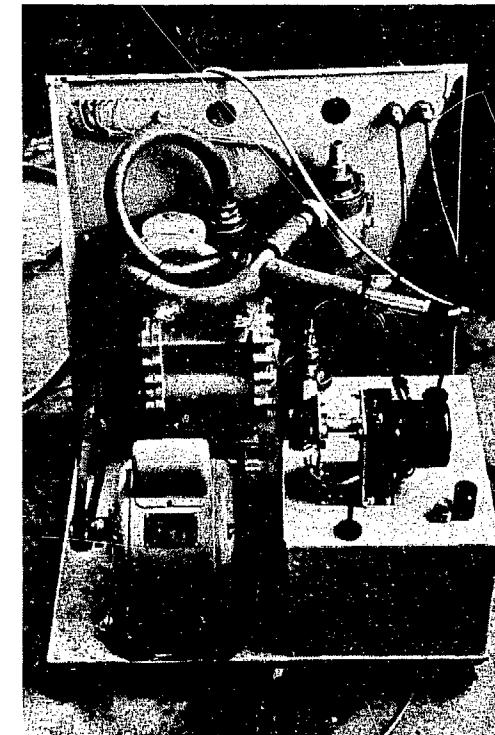


Fig. 18 Accessories; the vacuum pump and the oil circulating pump to the rotor bearing.

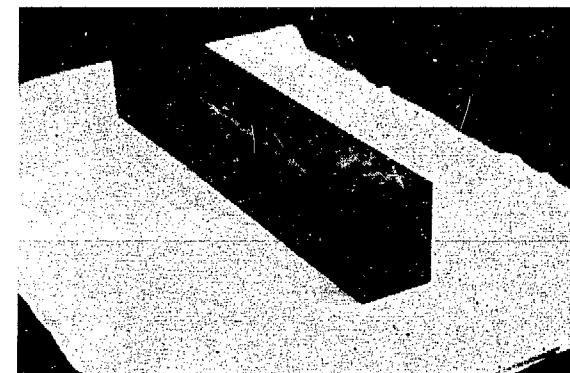


Fig. 19 The Soller-collimator

でいる。コリメータ壁は  $5/100\text{mm}$  のカドミウムメッキがされている。

### 3. 7 回転テスト

15,000rpmまで回転数を上げていく時に、ある特定の回転数で振動の共鳴が生じる。速度選択器の回転体は、両端支持の回転振動をおこなうが、真空ケース、さらに全体が実験孔類似の収納ケースに入れられているので、その共鳴振動は簡単ではない。この場合での回転テストでは、約15,000, 7,000, 4,000rpmの付近でそれぞれの振幅約  $3\mu$ ,  $2\mu$ ,  $1\mu$  程度の共鳴振動を生じた。

これ以外での回転数では、振幅  $1\mu$  位以下である。収納ケースをいかに支持するかで、共鳴回転数とその振動振幅が多少異なる。

12,000rpm 10 時間連続運転時における回転体軸受部の温度上昇は約  $20^{\circ}\text{C}$  で、駆動直流モータ冷却水の循環が止らなければ、温度上昇については問題はない。また、真空中は回転中ほぼ一定して  $0.022\text{mmHg}$  であった。ただ真空保持用の回転軸シールは、一定時間運転後の交換が必要である。

## 4 JAERI 中性子速度選択器の回転制御系

### 4. 1 制御のあらまし

制御には後述のように 3 位置 ON-OFF のデジタル制御とそのバックアップとしてのアナログ制御の両方を使用し、任意に切りかえられるようになっている。制御盤の外観は Fig. 20 に示してあるが、制御部分はトランジスタ化されている。Fig. 21 に制御系のブロック図を示す。

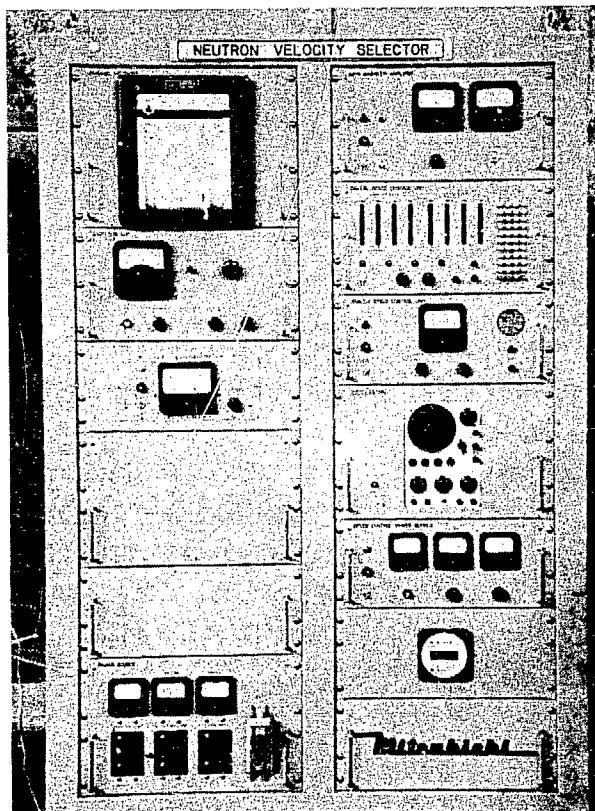
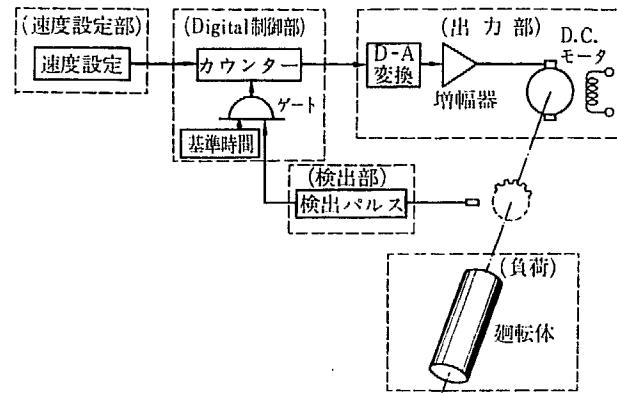


Fig. 20 Control-console of the JAERI velocity selector

### 4. 2 デジタル制御

主制御系のかんたんな概念図は、次のようにある。

ここで制御系の中心は “Error Register” で、回転体 1 回転あたり 30 コの周波数パルスは水晶発振器を基にした基準時間間に通過し、回転速度設定値と比較され、その差が “Error” として D-A 変換器でアナログ量に変換される。このアナログ量が増幅されて負荷である回転体が駆動される。回転体駆動の D.C. モータはこのアナログ量で制御され、つねに設定値の回転速度に一致するような制御がおこなわれる。400W D.C. モータの出力増幅器として磁気増幅器が用いられる。

JAERI 速度選択器では、負荷である回転体の慣性が大きいので D-A 変換器には簡単化した 3 位置 ON-OFF 制御方式を採用した。2 位置 ON-OFF 制御では、モータは全出力かゼロ出力かのいずれかであるが、3 位置 ON-OFF 制御では増幅器出力の中間にさらにレベル A を設け誤差が 0 の時にはこのレベルの増幅器出力で回転する (Fig. 22 参照)。この出力 A がその時の回転損失と合っていれば、常時は A レベルの出力で動作し、誤差の範囲を外れた時だけ制御動作がおこなわれて、誤差を 0 に近づけるように働く。

ここでさらに A レベルとして、粗い制御をおこなった量を作り、アナログ・サーボ系を構成させて、フィードバック制御をおこなわせ、デジタル系制御のバックアップをさせる。

回転体からの 1 回転 30 コのフォト・パルスは  $1/3$  秒計数される。したがって 10 進スケーラにカウントされるパルスの数は 1 秒 1 回転あたり  $1/3 \times 30 = 10$  で丁度 rps 回転数の 10 倍になる。スケーラ容量は 10

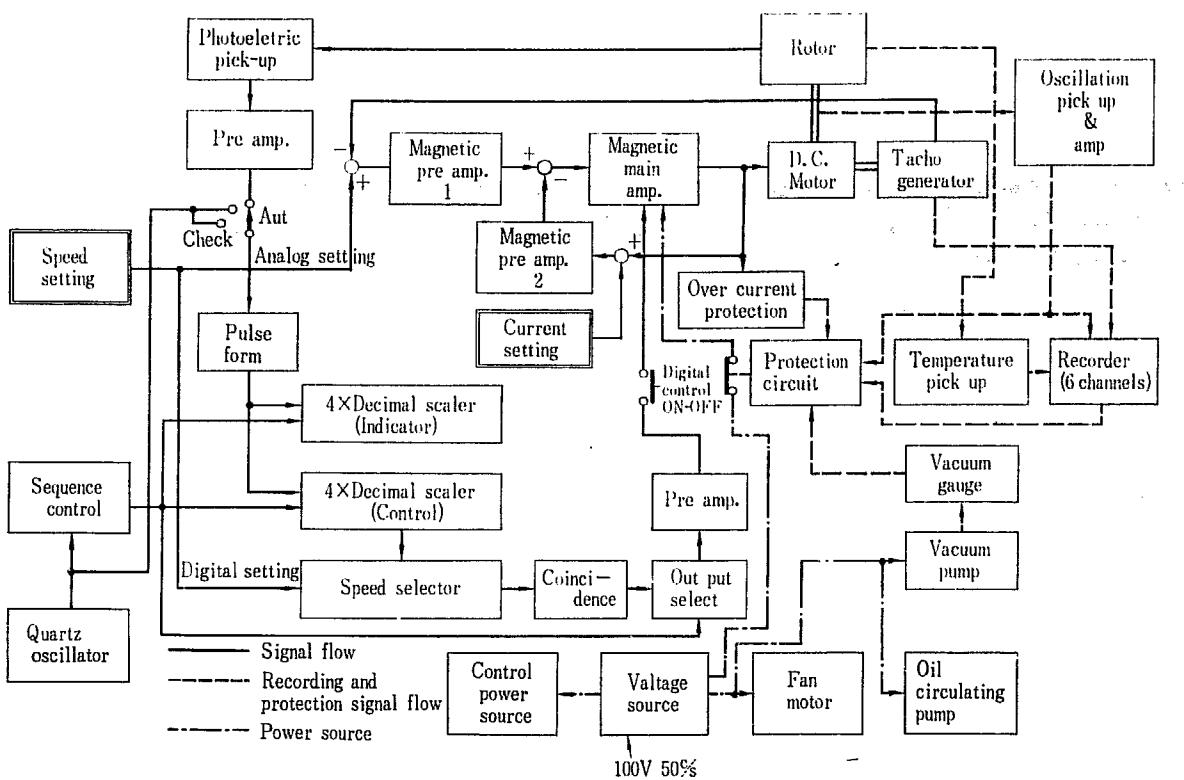


Fig. 21 V.S. control circuit block diagram

Out put of mag. amp.

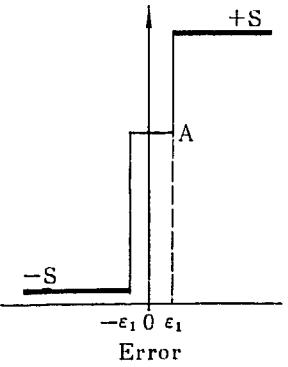


Fig. 22 3 position "ON-OFF" control

進4桁で 15,000rpm まで含まれ、最下位の1は 0.1 rps=6rpm で、1,500 rpm と 15,000 rpm でそれぞれ 0.4% および 0.04% の誤差になる。制御のためのタイム・シーケンスは 12.288KC のトランジスタ式水晶発振器の出力を 9段のフリップ・フロップでおとしして最小単位 24c/s の正確な矩形波を得、4段のフリップ・フロップで、1/12, 1/6, 1/3, 2/3 秒の矩形波をつくる。表示用としては、制御用の計数 2回につき 1回の割合で動作させて、よみとりの表示時間は約 1 秒になっている。また速度設定は選択プッシュ・ボタンによりおこなわれる。

#### 4. 3 アナログ制御

アナログ制御はディジタル制御部の3位置ON-OFF

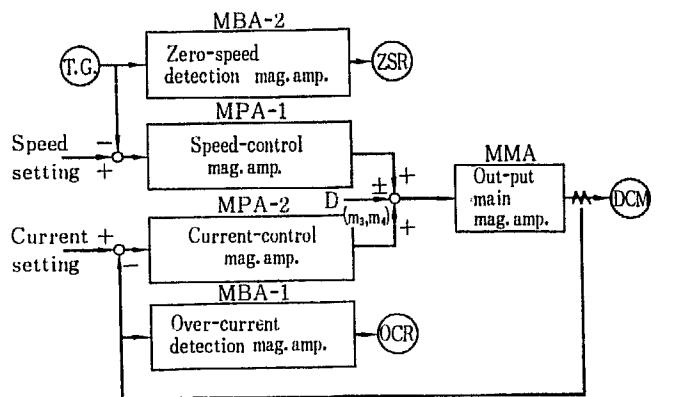


Fig. 23 Analog control block diagram

T.G. : Tachogenerator

ZSR : Zero suppression relay

OCR : Over current relay

MMA : Main magnetic amplifier

DCM : D.C. motor

制御の中間 A レベルの自動設定（4.2 参照）のほかに、ディジタル制御のバックアップとして起動停止を有効におこなうための加減速制御にも用いられる。また、補助的役割として、零速度の検出、過電流の保護もおこなう。Fig. 23 はアナログ制御のブロック図で直接に制御ループに関係するのは、MPA-1（速度制御）、MPA-2（電流制御）、および MMA（主磁気増幅器）の 3 つの磁気増幅器である。

アナログ部の回転速度設定はディジタル部速度設定の選択ボタンを利用し、その高位 2 枝（10.0 rps および、100.0 rps の枝）を用いて、0~29 の 30 段の設定電圧を得るが、ディジタル制御の A レベル設定用としては十分である。

特に、アナログ部のみで制御をおこないたい時には、別のポテンショメータから設定電圧を得ることもできる。

ところで、モータ速度が 0 になった時、主磁気増幅器出力による電流が流れているので、ただちに回路を断たないと、モータは逆転を始める。これを検出するのが、Fig. 23 の零速度検出磁気増幅器と ZSR リレーである。これがモータの“ストップ”時に働いて零速度を検出し、主磁気増幅器の電流を断って、モータの完全停止をさせる。Fig. 23 の OCR は過電流リレーで、このリレーが動作されると 3. 5 および、Fig. 17 に述べたように、出力増幅器の電源は切られる。

## 5 JAERI 中性子速度選択器の放射線遮蔽の問題

JAERI 中性子速度選択器の回転体は KR モネル合金を用い、これにヘリカル溝が切削してある。KR モネルを用いた理由は加工性および、高速度回転に対する機械的強度の点からのほかに、中性子およびガンマ線に対する吸収の大きいことのためである。

### 5. 1 KR モネルの成分

KR モネルの成分は TABLE 5 に示すとおりである<sup>17)</sup>。KR モネルの比重は 8.46 で TABLE 5 には成分の分子量もまとめてある。

TABLE 5 Composition of KR monel

	Composition (weight %)	Mol. weight	Weight ratio /Mol. weight
Ni	63.0~70.0	58.71	~0.0114
Cu	Remainder	63.54	0.0039
Al	2~4	26.98	~0.0011
Fe	2.00max	55.85	0.00036
Mn	1.50max	54.94	0.00027
C	0.20~0.30	12.01	~0.00021
Si	1.00	28.09	0.00036
Ti	0.25	47.90	0.00014

### 5. 2 KR モネル合金の中性子マクロ断面積

いま比重  $\rho$  の合金の成分重量率が  $P_1, P_2, P_3, \dots$  であり、それぞれのある中性子エネルギーに対する断面積が  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$  分子量が  $M_1, M_2, M_3, \dots$  である時、この合金のその中性子エネルギーに対するマクロ断面積  $\Sigma$  は、よく知られているように、

$$\Sigma = N_0 \rho \left( \frac{\sigma_1}{M_1} P_1 + \frac{\sigma_2}{M_2} P_2 + \dots \right) \quad (25)$$

である。KR モネルの場合、比重  $\rho$  が 8.46 故に  $N_0 \rho = 5.10 \times 10^{24}$  である。KR モネルの回転体のヘリカル溝はカドミウムでめっきされているが、カドミウムの比重は 8.64<sub>2</sub> である。

### 5. 3 放射線に対する速度選択器回転体の構造

放射線に対して、回転体のヘリカル溝を切っていないままである部分は問題にならないほどよい遮蔽になっているので、ここでは回転体のヘリカル溝によりできる“はね”の部分について考える。水平面上、回転体の回転軸に平行に入射する放射線束はヘリカル溝を斜めに横切っていく。Fig. 24 は回転体部を示すが、 $\tan \theta$

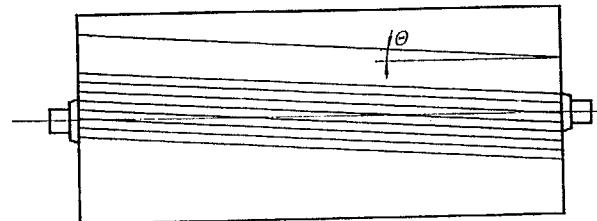


Fig. 24 The sketch of the rotor

= 0.0581<sub>3</sub> であり、放射線がよぎる回転体の“はね”的数は  $0.2750/0.07854 = 3.5$  である。“はね”的 KR モネルの厚さ 1.4mm、めっきしているカドミウムの厚さは両面合せて 0.1mm (片面 5/100mm のめっき) であるから、放射線束が横切る有効厚さ  $t_{eff}$  はモネル部分の“はね”に対して

$$t_{eff}^{(I)} = \frac{0.14}{\tan \theta} \times 3.5 = 7.95\text{cm}$$

カドミウムめっきの部分で

$$t_{eff}^{(II)} = \frac{0.01}{\tan \theta} \times 3.5 = 0.59\text{cm}$$

である。

放射線遮蔽の問題として、回転体静止の場合の透過と、回転中に回転速度に対応して選択されたエネルギーの中性子以外の透過中性子を考えることになる。後者は当然、中性子透過関数への影響を与えることになる。ガンマ線の遮蔽の問題では、再生係数 Buildup factor は 1 として考える。

#### 5. 3. 1 中性子に対する遮蔽

0.025eV から 10eV までのエネルギーの中性子線束が、水平面上回転軸に平行に入射した時、回転体によ

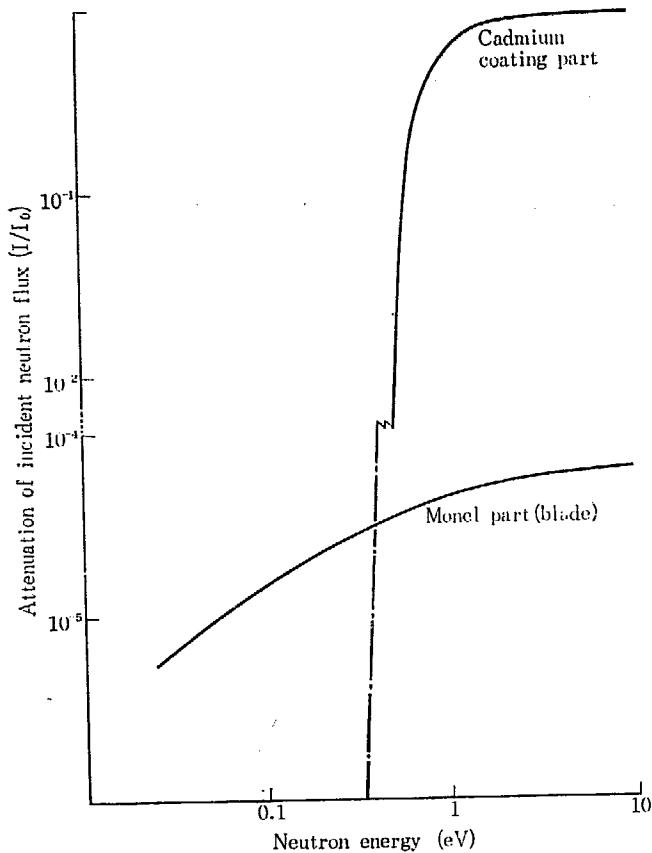


Fig. 25 The shielding effect for the neutron beam

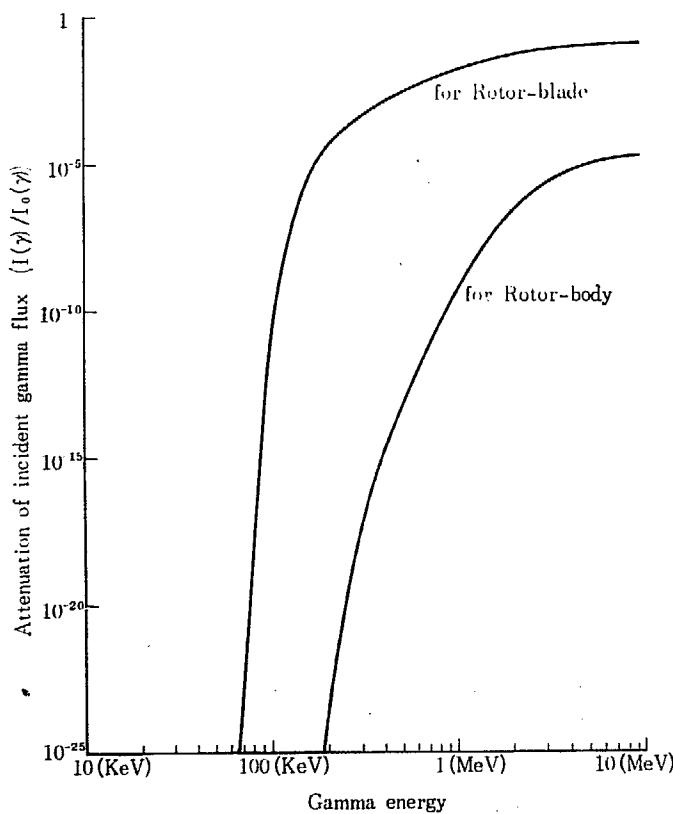


Fig. 26 The shielding effect for the gamma beam

る遮蔽の効果を Fig. 25 に示す。回転体が回転しても  $V_{\max}/V_0 = 1.68$  の条件故に、 $2V_0$  より速い（すなわち、クリスタル・モノクロメータでの 2 次以上のプラグ反射による）中性子は、ヘリカル溝にあたり、平均して 3.5 枚の KR モネルの“はね”を横切って通り抜けなければならない。

原子炉からの中性子スペクトラムは波長約  $1.5\text{\AA}$  以上のおそい中性子領域では、波長の約  $4 \sim 5$  乗に逆比例して強度が減少する。たとえば、中性子速度選択器を  $5,900\text{rpm}$  で回転して約  $4\text{\AA}$  の中性子を得ようとする時、クリスタルモノクロメータでの 2 次プラグ反射の中性子にあたる波長  $2\text{\AA}$  の中性子は KR モネルの“はね”を通り抜ける際に約  $10^{-34}$  減衰する。 $4\text{\AA}$  に対して  $2\text{\AA}$  の中性子は、そのスペクトラム強度が  $(4/2)^{4 \sim 5}$  倍となり、結局この場合に通り抜け得る約  $2\text{\AA}$  の中性子は  $4\text{\AA}$  の中性子に対して、 $10^{-34} \times 2^{4 \sim 5}$  の割合でしか含まれないことになる。

Fig. 25 から明らかなように、エネルギーの低い中性子に対しては、“はね”にめっきされたカドミウムの遮蔽の効果が大きいし、エネルギーが約  $0.5\text{eV}$  以上の中性子に対しては、“はね”自体のモネル成分による効果がきいている。

### 5. 3. 2 ガンマ線に対する遮蔽

モネルの質量吸収係数としては鉄の値<sup>18)</sup>を用いて、回転体の“はね”的部分と“溝を切っていない、つまりた”部分についての入射ガンマ線の減衰曲線を Fig. 26 に示す。

## 6 JAERI 中性子速度選択器による実験

### 6. 1 JRR-1 水平熱中性子柱での実験

JRR-2実験孔に挿入し、クリスタル・モノクロメータと共に用しての実験をおこなう前に、JAERI 中性子速度選択器を JRR-1 水平熱中性子柱 No. 11 に設置して、2, 3 の実験をおこなった。Fig. 27, Fig. 28 はその設置した状況と炉との関係位置を示す。中性子はソーラ・コリメータを通ってから速度選択器に入る。速度選択器より出る単色中性子は、直径約 9 mm の孔をもつ厚さ 3 mm のカドミウムで前面を覆われ、側面を約 20cm のパラフィンでシールドされた  $\text{BF}_3$  比例計数管で検出される。この配置の状態で回転数 1,500 rpm および、15,000 rpm の時、それぞれバックグラウンド約 30 cpm を差引いて約 50 cpm および 20,000 cpm の計数があった。

また、JRR-1 原子炉が 40kW で運転された時、装置の周囲の放射線の洩れは Fig. 29 のとおりである。

炉壁側シールドの上部でガンマ線および中性子の洩れが多少認められるが（サーベイ位置 No. 1, 2），この洩れはその後シールドをわずか積み加えたことにより減少した。水平熱中性子柱のガンマ線は炉心を約 20 cm のビスマスがおおってあるためにもともと少ないが、ソーラ・コリメータの出口で約 60 mR/hr と測定されたガンマ線が速度選択器を通過したところで約 0.5 mR/hr に減ずることから、中性子速度選択器自体のガンマ線シールド率は約  $10^{-2}$  であることが確認された。これは「5 JAERI 速度選択器の放射線遮蔽の問題」での遮蔽計算（ガンマ線エネルギーを 2 MeVとした時）の推定とほぼ一致する。

### 6. 2 JRR-1 熱中性子柱からの中性子スペクトラム

JRR-1 水平熱中性子柱からのスペクトラムを測定した結果を Fig. 30 に示す。図のスペクトラムは、JAERI 1030 の (24) 式を用いて計数管の効率の補正

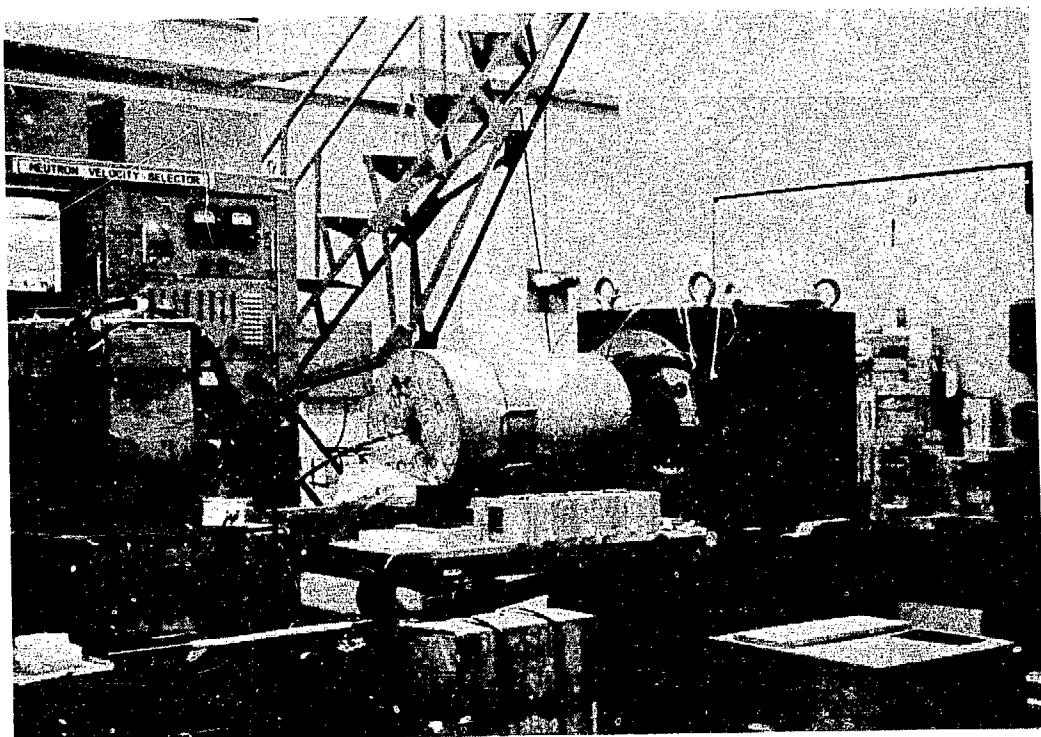


Fig. 27 The JAERI neutron velocity selector at JRR-1

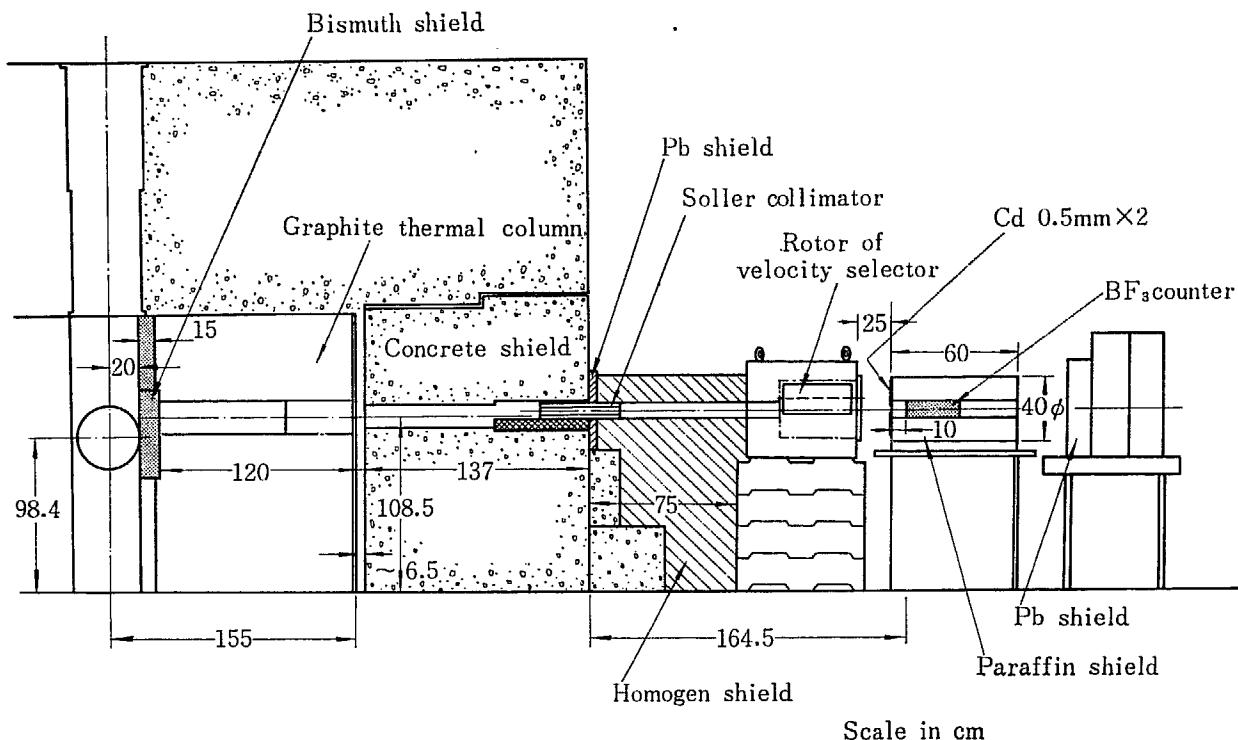
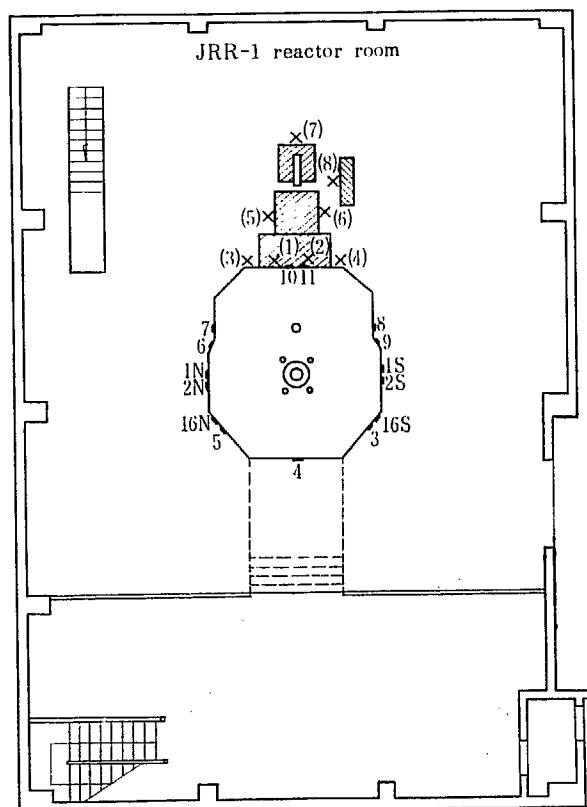


Fig. 28 Experimental arrangement of JAERI neutron velocity selector  
(at JRR-1 thermal column)



$\gamma$ (mR/hr)	$n_t$ (n/cm <sup>2</sup> ·sec)	$n_{th}$ (n/cm <sup>2</sup> ·sec)
(1) 5.4( $\gamma_Q$ )	20	60
(2) 1.6(")	10	10
(3) 0.5( $\gamma_G$ )	—	—
(4) 0.4(")	5	8
(5) 0.7(")	5	10
(6) 1.6(")	5	8
(7) 0.7(")	5	6
(8) 0.36(")	2	6

Fig. 29 JRR-1 Area radiation distribution around the JAERI velocity selector at 40kW reactor operation. The shaded parts in the figure are velocity selector and its shield. (by T. SHIRAISHI. Health Physics Division, April 1963)

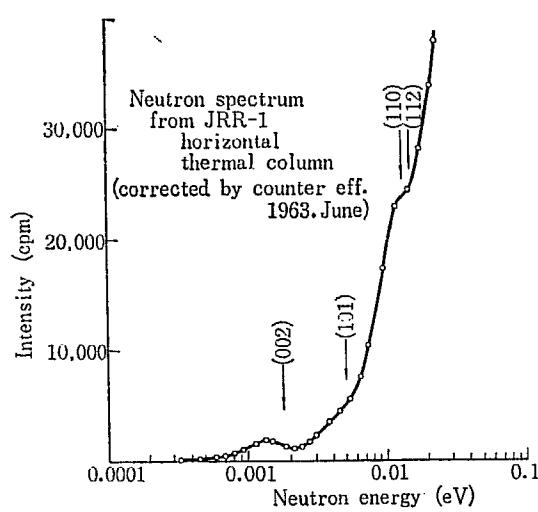


Fig. 30 The neutron spectrum from JRR-1 horizontal thermal column.  
The "arrows" show the MILLER indices of graphite crystal plane.

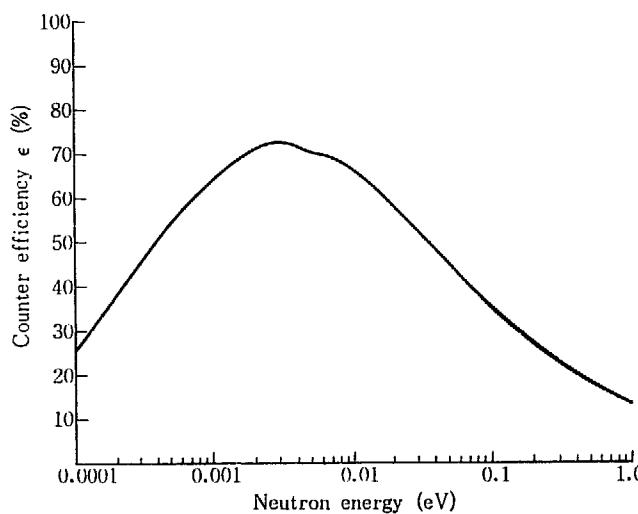


Fig. 31 The efficiency curves of the enriched  $\text{BF}_3$  counter, where the dead space length  $t_2$ , the effective length  $t_3$  are 2 and 24cm respectively

をしている。すなわち、

$$\epsilon(E) = \exp\left[-\left(\sum t_i + Nt_2C/\sqrt{E}\right)\right] \cdot \{1 - \exp(-Nt_3C/\sqrt{E})\} \quad (26)$$

において、

$$\begin{aligned} t_1 &= 0.4\text{cm} & N &= 5.42 \times 10^{19} \\ t_2 &= 2\text{cm} & C &= 117 \times 10^{-24} \\ t_3 &= 24\text{cm} \end{aligned}$$

をそれぞれ、代入して計算し Fig. 31 のグラフとして示す。Fig. 30 から明瞭にわかるように、0.0018, 0.0050, および約 0.014eV に、それぞれスペクトラムの "段" が生じている。これは JRR-1 原子炉の熱中

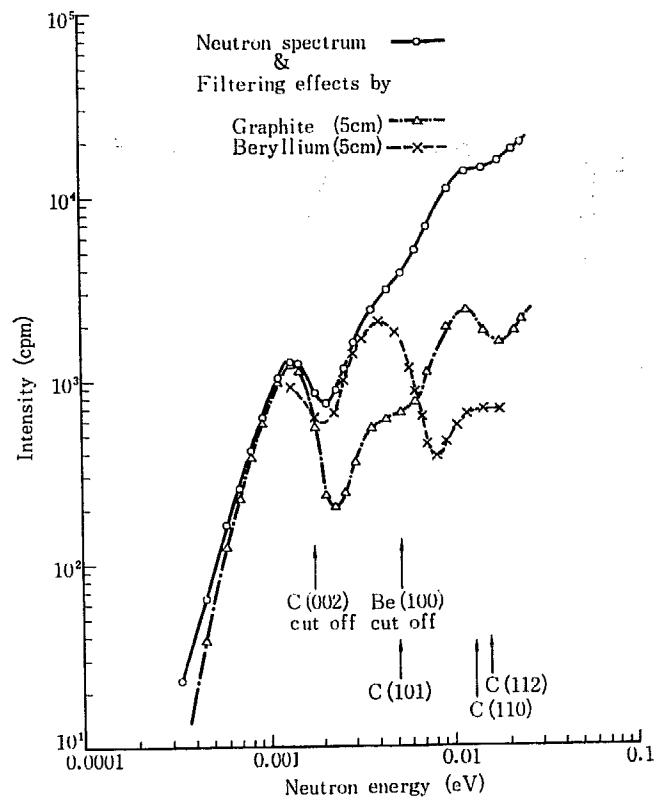


Fig. 32 The neutron spectrum from the JRR-1 horizontal thermal column, through the graphite and beryllium filter block. The arrows show the MILLER indices of the crystalline planes of the graphite and beryllium

性子柱に使用している約 1m 20cm のグラファイト減速材によるものと思われ、その確認のためにさらに速度選択器の後に置いたグラファイト・プロック約 5cm を透過したスペクトラムを測定した (Fig. 32)。次節 6. 3 の  $\sigma_{coh}$  の計算からも明らかなように、これらの "段" はグラファイトの

$$\begin{aligned} (002) &\dots\dots\dots 0.0018\text{eV} = 6.69\text{\AA} \\ (101) &\dots\dots\dots 0.0050\text{eV} = 4.05\text{\AA} \\ (110) \} &\dots\dots\dots \sim 0.014\text{eV} \approx 2.4\text{\AA} \\ (112) \} &\dots\dots\dots \end{aligned}$$

に対応している

スペクトラムでその強度と波長との間に  $I \propto \lambda^{-x}$  の関係が成立つとして、波長を横軸に log-log 曲線にかいてみると Fig. 33 に示すように、4\AA まで  $X=2$ , 20\AA 位まで  $X=5.7$  の関係になっている。

### 6. 3 グラファイトなどの切断波長付近の断面積測定値に及ぼす速度選択器の分解能の影響

約 5 cm のグラファイトおよび、ベリリウムを透過

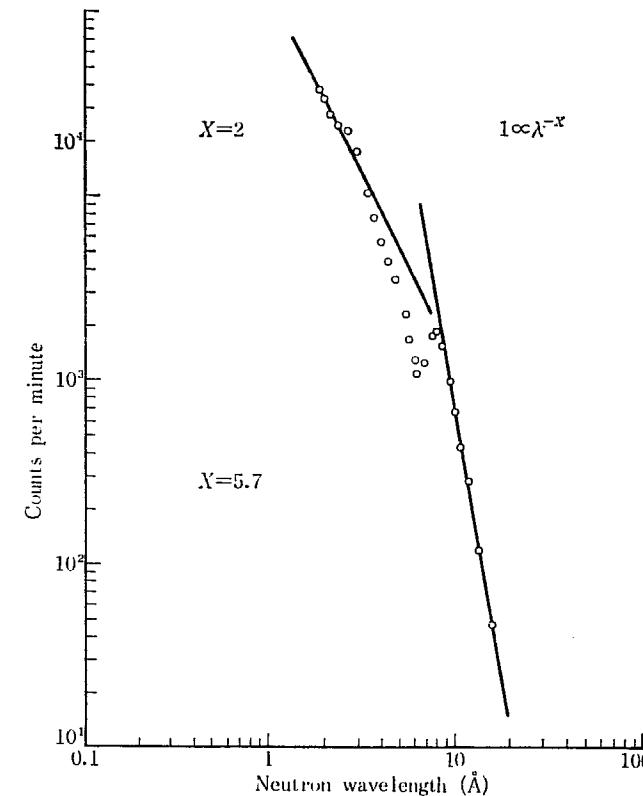


Fig. 33 The experimental neutron intensity  $I$ , plotted as a function of neutron wave length  $\lambda$ . The inclination of the solid lines shows  $X=2$ , and  $5.7$ , respectively.

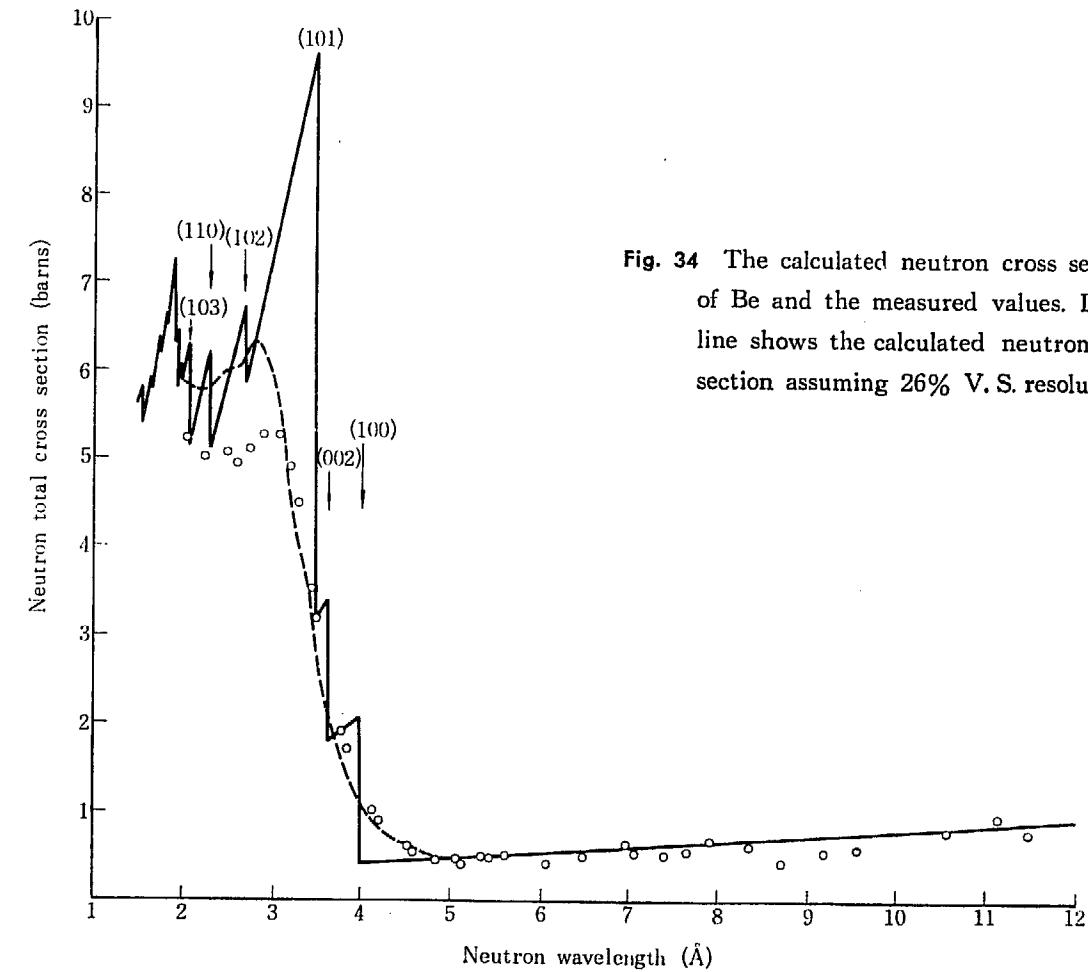


Fig. 34 The calculated neutron cross section of Be and the measured values. Dotted line shows the calculated neutron cross section assuming  $26\%$  V.S. resolution

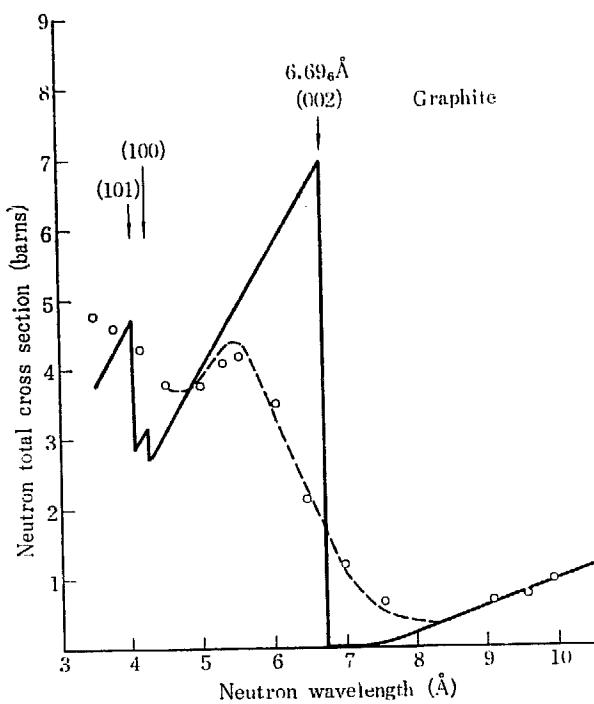


Fig. 35 The calculated neutron cross section of graphite and the measured values. Dotted line shows the calculated cross section assuming 26% V. S. resolution.

した中性子スペクトラムは Fig. 32 に示されるが、いま、中性子干渉断面積を理論式より計算し、それに三

角形型の分解能関数（半値幅 26 %）を考慮した時の中性子断面積を算出し、実験から得られた値と比較してみた。

よく知られているように、中性子干渉断面積は次式で示される。<sup>19)</sup>

$$\sigma_{hkl} = -\frac{1}{Z} \cdot \frac{\lambda^2 N}{2} \left( |F|^2 \cdot M \cdot \frac{d}{n} \right)_{hkl} e^{-2M_{hkl}} \quad (27)$$

ここで

$Z$ : 結晶単位胞当たりの原子数

$\lambda$ : 中性子波長

$N$ : 1cm<sup>3</sup>中の単位胞の数

$F$ : 構造因数

$M$ : Multiplicity

$d$ : 結晶面間距離

$e^{-2M_{hkl}}$ : デバイウォーラー因数

また

$$2M_{hkl} = \frac{12h^2}{mk\Theta} \left( \frac{n}{2d_{hkl}} \right)^2 \left[ \frac{1}{4} + \left( \frac{T}{\Theta} \right)^2 Q\left(\frac{\Theta}{T}\right) \right]$$

$$Q(Z) = \int_0^Z \frac{xdx}{e^x - 1} = Z - \frac{Z^2}{4} + \frac{Z^3}{6 \times 3!} - \frac{Z^5}{30 \times 5!} - \frac{Z^7}{42 \times 7!} + \frac{Z^9}{30 \times 9!} - \dots$$

$h$ : プランク常数  $6.624 \times 10^{-27}$  erg · sec

$k$ : ボルツマン常数  $1.380 \times 10^{-16}$

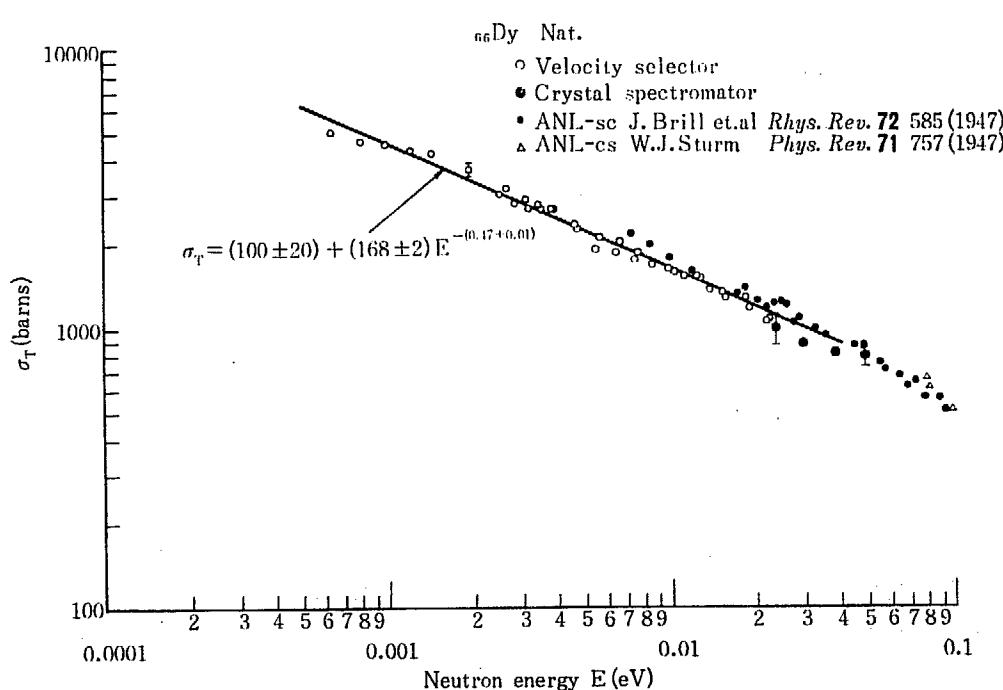


Fig. 36 The total cross sections of dysprosium

$m$ : 原子質量

グラファイトおよび、ペリリウムのデバイ温度は  $420^{\circ}\text{K}$  および  $1,160^{\circ}\text{K}^{20}$  にとった。また、ペリリウムの非弾性散乱断面積は POLEVSKY<sup>21)</sup> 等の値を用いて算出した。結果を Fig. 34, 35 に実験値と一緒に示す。JAERI中性子速度選択器の分解能は「2 中性子速度選択器の分解能」における計算では 26% の値が得られたが、この値が合理的な値に近いことがわかった。

#### 6. 4 中性子全断面積測定の一例

JRR-1 水平熱中性子柱で中性子全断面積のエネルギー変化を 2, 3 の希土類元素について測定した。ここでその一例として Dy の場合について述べる。Dy のサンプルとしては、その酸化物  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  を 60% 重硝酸 - 重水溶液（重水濃度 99.5%）に溶かし、内寸法  $10 \times 20 \times 50 \text{ mm}$  の石英容器に入れたものを用いた。なお、透過度計算のため、同容器に重硝酸 - 重水溶液のみを入れたものも用いた。Dy サンプルの厚さは  $0.177 \text{ g/cm}^2$  および  $0.104 \text{ g/cm}^2$  である。その純度は 99.9% で、添付成分分析票によれば、不純物としては  $\text{Ho}_2\text{O}_3$  ; 0.054%,  $\text{Tb}_2\text{O}_7$  ; 0.05%,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  ; 0.011%，および  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ; 0.005% で、それ以外は“根跡”程度であり、全断面積の結果には無視できるほど少ない。得られた結果を Fig. 36 に示す。この値は BRILL 等や STURM<sup>22)</sup> による結果と一致、かつ、その延長上有る。図中には  $1/V$  法則との比較のために、その傾斜も示す。

JAERI中性子速度選択器の分解能 (26%) による真の全断面積とその測定値の差異をしらべた。計算をかんたんにするため、Dy の中性子全断面積が  $1/V$  法則に従うとし、“うすいサンプル”，“あついサンプル”的それについて透過度  $T$  を計算した。この時サンプルのあつさにより、それぞれ次の関係が成立つ。

$$\log_{10} T = -440.4 V^{-1} \quad (\text{うすいサンプル})$$

$$\log_{10} T = -750.9 V^{-1} \quad (\text{あついサンプル}) \quad (28)$$

さらに、半幅幅 26% の三角形型・分解能関数を考慮した時、透過度  $T$  の変動、したがって全断面積へおよぼす変化をしらべ、その結果を Fig. 37 に示す。ここで計算に用いたサンプルのあつさは、

うすいサンプル；

$$0.104 \text{ g/cm}^2 = 2.86 \times 10^{20} \text{ atoms Dy/cm}^2$$

あついサンプル；

$$0.177 \text{ g/cm}^2 = 6.58 \times 10^{20} \text{ atoms Dy/cm}^2$$

である。Fig. 37 より透過度曲線の変曲点付近で、

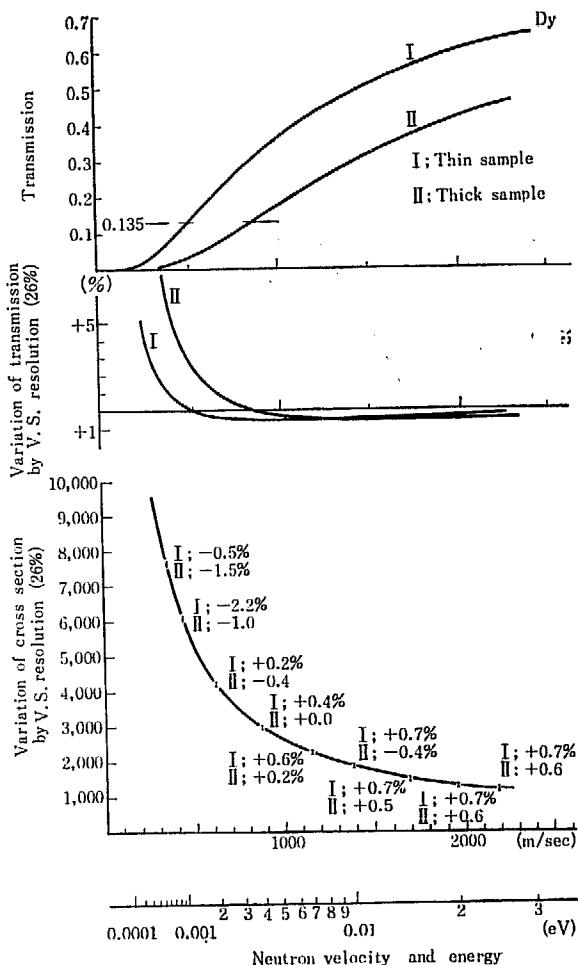


Fig. 37 The effect of thickness into the transmission and the cross section as the function of neutron energy (Thin sample and thick sample are  $2.680 \times 10^{20}$  atoms Dy/cm<sup>2</sup>,  $6.580 \times 10^{20}$  atoms Dy/cm<sup>2</sup> respectively)

速度選択器の分解能による透過度の変化が 0 になる。この変曲点は

$$T = e^{-\frac{C}{V}} \text{ として}$$

$$\frac{d^2 T}{d V^2} = 0 \quad \text{より} \quad \frac{C}{V} = 2$$

$$\therefore T = e^{-2} = 0.135$$

で示される。Fig. 37 より、透過度が約 0.135 より大きい場合には、その速度選択器による変化はわずかである。さらに、この場合、中性子全断面積は 1% 以下ではあるが、みかけ上増加してみえる。逆に、透過度が 0.135 よりもはなはだしく小さい時（すなわち  $N\sigma \gg 2$ ，ここで  $N$  はサンプルの厚さ， $\sigma$  は中性子全

断面積)は急激に、速度選択器の分解能によって、測定中性子全断面積と真の値の差が著しくなる。したがって、われわれの実験で用いた Dy サンプルの場合の全断面積測定値において、速度選択器分解能による誤差は 1% 以下である。

#### 6. 5 速度選択器の回転軸をその中心垂直線のまわりに微小回転させた時の影響

「1 序」に述べたように、回転軸に対する入射平行中性子束の角度  $\eta$  を 0 から変えることにより、あるきまった溝ねじれ角  $\phi$  の速度選択器の可能なエネルギー範囲を変えることができる。Fig. 3 において

$$\tan \theta \approx \theta \text{ とすれば}$$

$$\theta \approx \frac{R\phi}{L} = 5.81 \times 10^{-2} = 3^\circ 19' 36''$$

$$\text{また } V(\text{m/sec}) = \frac{9.73 \times 10^{-3}}{\tan \theta} \omega (\text{rpm}) \quad (29)$$

$$E(\text{eV}) = \frac{4.95 \times 10^{-13}}{\tan^2 \theta} \omega^2 (\text{rpm}^2)$$

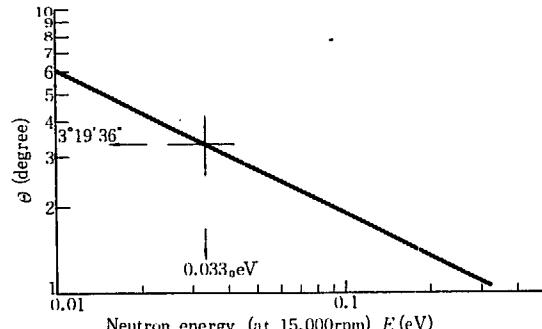


Fig. 38 The relation between  $\theta = \theta_0 \pm \eta$  and the transmitted neutron energy at 15,000 rpm

$\theta = \theta_0 \pm \eta$  とし、 $\eta$  を種々変えれば、同じ回転数  $\omega$  で異なるエネルギーの中性子束がとり出せる。

Fig. 38 は回転数 15,000 rpm に対応する透過中性子エネルギーと  $\theta = \theta_0 \pm \eta$  との関係を示す。

Fig. 39 は  $\eta = 0$ 、すなわち入射平行中性子束に対して、速度選択器回転軸が平行の場合、選択器により単色化した中性子の 5cm のグラファイトに対する透過度を示す。(27)式の全断面積より逆に透過度  $T$  を算出し、分解能 0 の理想的な場合を実線で、分解能 26% を考慮した時の透過度計算値を点線で示してある。印は実測値である。Fig. 39 は入射平行中性子束に対し、選択器の回転軸が  $\eta = -31'$  だけ、その中心にたてた垂直線のまわりに回転した時、鎖線の位置まで実験点

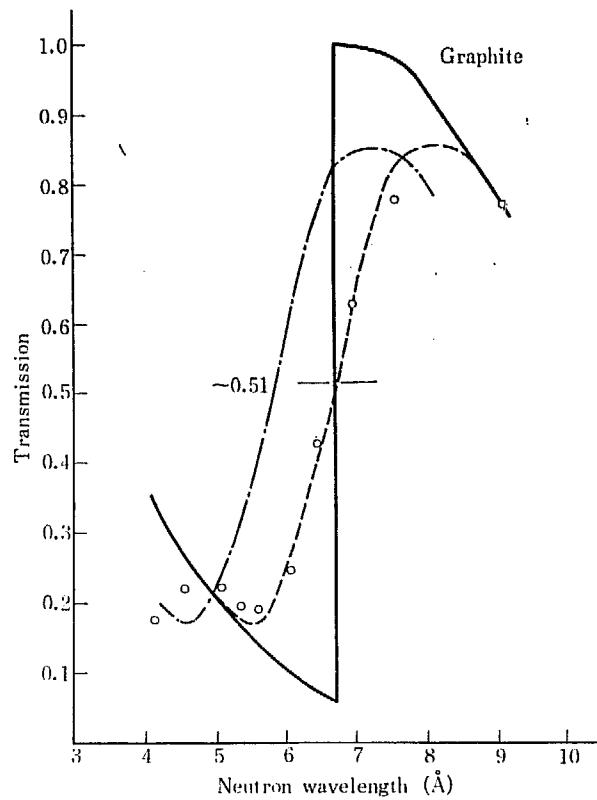


Fig. 39 Transmission curves for graphite as the function of neutron wave length and the corresponding rotor-revolution. The solid and dashed curves are the calculated transmissions in the ideal and the 26% resolution of the velocity selector. The circles represent the measured results. By the angular displacement  $\eta$  around the perpendicular line to the rotor axis, the dashed curve moves to the broken one.

が移動することをも示している。このことから、逆に中性子速度選択器を設置した時、その回転軸が入射平行中性子束に対して、水平面上どの位 ( $\eta$ ) かたむいているかを調べて、 $\eta = 0$  の場合に修正することができる。われわれは、エネルギーの補正として、グラファイト (002), Be (101) および  $\alpha$ -Fe (110) のカット・オフ (cut off) を用いたが、クラファイト (200) は、よく用いられる切断波長の値  $6.69 \text{ Å}^{23}$  が GOULD<sup>41</sup> によれば  $6.76 \text{ Å}$  と報告され、BACON<sup>24</sup> はグラファイトの “d” が 2.5% も変わることを報告しているので、グラファイトよりはシリコン (111) の切断波長  $6.271076 \pm 0.00003 \text{ Å}^{41,25}$  の方がエネルギー補正として適当である。

われわれは、前述の物質をエネルギー補正に用いたほか、さらに、金の中性子断面積の値も補助として、補正を確認している。

### 謝 辞

JAERI中性子速度選択器が製作され、それを用いての実験結果も2、3得られたので、ここでその装置を中心にしての報告をまとめた。

報告の終りにあたって、この JAERI 中性子速度選択器の製作に当初より、御指導をいただき、またこの報告についても有益な助言を下さった原子核物理研究

室百田室長ならびに大野副主任研究員に、特に感謝いたします。また討論に参加していただいた浅見、井出野両研究員、JRR-1 運転に当っていられる巖淵氏等の JRR-1 管理課の方々にもお礼を申し上げます。またディスプロシウムのサンプル作製について分析化学研究室の本島室長、吉田（秀世）氏に御世話になったことを感謝します。

また、特に製作にあたって三菱電機研究所の蘿原、大野、太田の諸氏に心からお礼を申し上げるとともに KR モネル合金のらせん溝の切削等の困難な工作を遂行された同研究所工作関係の方々にも感謝させていただきます。

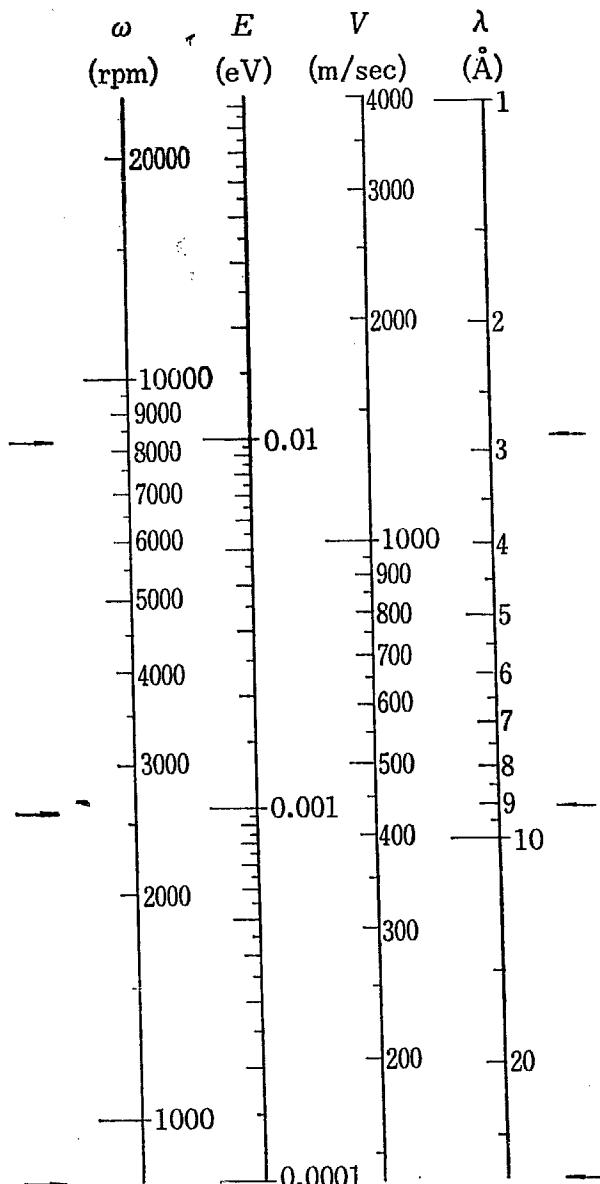
## 参考文献

- 1) M. W. HOLM. AEC Report IDO-16115 (1955)
- 2) Y. OHNO, T. ASAMI, K. OKAMOTO, K. IDENO. JAERI-1030 Supplement (1962)
- 3) R. HAAS and F. J. SHOREE. *Rev. Sci. Instr.* **30** 17 (1959)
- 4) F. T. GOULD. AEC Report CU-179 (1958)
- 5) E. FERMI, W. J. STURM, and R. G. SACHS. *Phys. Rev.* **71** 589 (1947)
- 6) S. R. DUNNING et al. *Phys. Rev.* **48** 704 (1935)  
G. A. FINK. *Phys. Rev.* **50** 738 (1936)
- 7) Y. OHNO, T. ASAMI, K. IDENO. JAERI-1031 (1962)
- 8) N. HOLT. *Rev. Sci. Instr.* **28** 1 (1957), AEC Report CU-150 (1956)
- 9) J. G. DASH and H. S. SOMMERS JR. *Rev. Sci. Instr.* **24** 91 (1953)
- 10) A. P. SENCHENKOV and F. M. KUZNETSOV. *Atomnaya Energ.* **5** 124 (1958)
- 11) E. FERMI, J. MARSHALL and L. MARSHALL. *Phys. Rev.* **72** 193 (1947)
- 12) R. D. LOWDE. *J. Nucl. Energy* **11** 69 (1960)
- 13) D. BALLY, E. TARINĀ, and P. PIRLOGEA. *Rev. Sci. Instr.* **32** 297 (1961)
- 14) V. L. SAILOR, H. L. FOOTE, H. H. LANDON and R. E. WOOD. *Rev. Sci. Instr.* **27** 26 (1956)
- 15) G. ARNOLD and N. NERESON. *Phys. Rev.* **124** 1848 (1961)
- 16) S. HAGIHARA et al. Private Communication
- 17) Engineering Properties of "K" and "KR" Monel, Technical Bulletin T-9, The International Nickel Co.
- 18) 木村健二郎編 "放射線データブック" 地人書館
- 19) D. J. HUGHES "Pile Neutron Research" Addison-Wesley Pub. Co. (1953)
- 20) American Institute of Physics Handbook, 2nd edition (1963)
- 21) H. PALEVSKY and R. R. SMITH. *Phys. Rev.* **86** 604 (1952)
- 22) J. BRILL et al. *Phys. Rev.* **72** 585 (1947)  
W. J. STURM. *Phys. Rev.* **71** 757 (1947)
- 23) G. W. JOHNSON, H. PALEVSKY and D. J. HUGHES. *Phys. Rev.* **82** 345 (1951)
- 24) G. B. BACON. *Act. Cryst.* **4** 558 (1951)
- 25) H. S. PEISER, H. P. ROOKSKY, A. J. C. WILSON. "X ray Diffraction by Polycrystalline Materials" Institute of Physics, London (1955)

## 付 錄

The conversion table of  $V$ ,  $E$ ,  $\lambda$  in function of  $\omega$  (rpm)

$$\begin{aligned}
 V \text{ (m/sec)} &= 0.1675 \times \omega \text{ (rpm)} \\
 E \text{ (eV)} &= 5.228 \times 10^{-9} \times V^2 \text{ (m/sec)} \\
 &= 1.468 \times 10^{-10} \times \omega^2 \text{ (rpm}^2\text{)} \\
 \lambda = (\text{\AA}) &= 3954.0 \times V^{-2} \text{ (m/sec}^{-1}\text{)} \\
 &= 2.360 \times 10^4 \times \omega^{-1} \text{ (rpm}^{-1}\text{)}
 \end{aligned}$$



$\omega$ (rpm)	V(m/sec)	E(eV)	$\lambda$ (Å)	$\omega$ (rpm)	V(m/sec)	E(eV)	$\lambda$ (Å)
20,000	3351	0.058706	1.18	8,700	1458	0.011154	2.71
19,000	3184	0.052983	1.24	8,400	1407	0.010421	2.81
18,000	3016	0.047553	1.31	8,100	1357	0.009687	2.91
17,000	2848	0.042416	1.39	8,000*	1340	0.009393	2.95
16,000	2681	0.037573	1.47	7,800	1307	0.008953	3.03
15,000	2513	0.033023	1.57	7,500	1257	0.008219	3.15
14,700	2463	0.031702	1.61	7,200	1206	0.007632	3.28
14,400	2413	0.030381	1.64	7,000*	1173	0.007192	3.37
14,100	2363	0.029207	1.67	6,900	1156	0.007045	3.42
14,000*	2346	0.028767	1.69	6,600	1106	0.006458	3.58
13,800	2312	0.027886	1.71	6,300	1056	0.005871	3.73
13,500	2262	0.026712	1.75	6,000	1005	0.005284	3.93
13,200	2212	0.025538	1.79	5,700	955	0.004697	4.14
13,000*	2178	0.024804	1.82	5,400	905	0.004256	4.37
12,900	2161	0.024364	1.83	5,100	855	0.003816	4.63
12,600	2111	0.023336	1.87	5,000*	838	0.003669	4.72
12,300	2061	0.022162	1.92	4,800	804	0.003376	4.92
12,000	2011	0.021135	1.97	4,500	754	0.002935	5.24
11,700	1960	0.020107	2.02	4,200	704	0.002642	5.62
11,400	1910	0.019080	2.07	4,000*	670	0.002348	5.90
11,100	1860	0.018053	2.13	3,900	654	0.002202	6.05
11,000*	1843	0.017759	2.15	3,600	603	0.001908	6.56
10,800	1810	0.017172	2.18	3,300	553	0.001615	7.15
10,500	1759	0.016145	2.25	3,000	503	0.001321	7.87
10,200	1709	0.015264	2.31	2,700	452	0.001071	8.74
10,000*	1676	0.014677	2.36	2,400	402	0.000851	9.83
9,900	1659	0.014383	2.38	2,100	352	0.000646	11.2
9,600	1609	0.013503	2.46	2,000	335	0.000587	11.8
9,300	1558	0.012622	2.54	1,800	302	0.000470	13.1
9,000	1508	0.011888	2.62	1,500	251	0.000330	15.7