

JAERI-M
5855

核融合炉のモリブデン構造材中の
気体生成量評価

1974年9月

祝 一裕* 関 泰

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

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

核融合炉のモリブデン構造材中の気体生成量評価

日本原子力研究所東海研究所核融合研究室

祝 一裕* 関 泰

(1974年9月5日受理)

モリブデンの各同位元素についての、 (n, p) , (n, α) 反応などの気体生成反応の断面積のサーベイと収集を行ない、多群断面積セットを作成した。

原研の核融合炉の設計において、モリブデン構造材中で生成する水素とヘリウムの量が評価された。計算は、核データファイル ENDF/B-III、及び作成した断面積セットを用い、輸送計算コード ANISN を使って、一次元無限円筒状のモデルに対して行なわれた。

又、気体生成反応を考慮した場合の、トリチウム増殖比、Protection Wall 内の中性子スペクトル、ブランケットから洩れる中性子のスペクトルに対する影響が調べられた。

Evaluation of Gas Production in the Molybdenum
Structures of a Fusion Reactor

Kazuhiro IWAI* and Yasushi SEKI

Thermonuclear Fusion Laboratory, Tokai, JAERI

(Received September 5, 1974)

The cross sections of gas-producing reactions such as (n, α) and (n, p) for molybdenum isotopes were surveyed and compiled. Multi-group cross section tables for the reactions were thus prepared. Hydrogen and helium production rates in the molybdenum structures of the fusion reactor being designed in JAERI were evaluated. The neutron transport calculations were made by ANISN, using the cross section tables and the cross section set from ENDF/B-III. The effects of gas production reactions on the tritium breeding ratio, the neutron energy spectrum in the first wall protection structure, and leakage neutron spectrum from the blanket were also studied.

* Faculty of Nuclear Engineering, Osaka University

目 次

1	序 言	1
2	モリブデン気体生成中性子断面積データの現状	1
3	気体生成多群断面積の作成	3
4	核融合炉のモリブデン構造材中の気体生成量	17
4.1	モリブデン構造材中の水素とヘリウム生成量	17
4.2	トリチウム増殖比	18
4.3	Protection Wall 内での中性子スペクトル	18
4.4	ブランケットからの中性子の洩れ	19
5	結 言	30
	謝 辞	30
	参考文献	30

1 序 言

原研の核融合炉の設計⁽¹⁾において、プラズマ領域からの14.1MeVの高速中性子によって、モリブデン構造材で発生する水素とヘリウムは、スウェリング等を惹き起こして、その機械的性質を変化させるので、これらの気体の生成量を評価する必要がある。

ところが、モリブデンの各同位元素についての、これらの気体生成断面積のデータは乏しく、核融合炉のブランケットの核計算に用いられている核データファイルENDF/B-IIIにも含まれていない。そこでまず、 (n, p) 、 (n, α) 、 (n, d) 、 $(n, n' p)$ 等の反応について、気体生成断面積のサーベイと収集を行なった。

これらの断面積データを、多群断面積セットの形でまとめて、実際のモリブデン構造材中における、水素とヘリウムの生成量を求めた。又、 (n, p) 、 (n, α) 反応などを考慮することによるブランケットの核特性、特にトリチウム増殖比に対する影響を調べた。

2 モリブデン気体生成中性子断面積データの現状

モリブデンの気体生成中性子断面積は、適当な中性子源がないことなどから、依然として乏しく、又、14MeV以外では殆んど測定されていない。一部が、原子炉などで、核分裂スペクトルで平均した実効断面積として測定されている。しかし、これを多群断面積セットに組み入れることは、非常に困難であるので用いなかった。収集した断面積データのうち、主なものを、Table 2.1 にあげておく。

収集した断面積データは、その大部分のものが、生成核種の放射能を測定することによって求められていて、その一部は、反応において放出される荷電粒子の測定や原子核乾板を用いて求められている。

(n, p) 反応断面積については、 ^{95}Mo と ^{100}Mo を除いては、14MeVにおいて測定されているが、実験値が二つ以上あるものについては、ほとんど一致していない。天然のモリブデンについては、120mbと31mbという実験値があり、 ^{92}Mo については、14.5mbから108mbまで数個の実験値がある。 ^{94}Mo は6.0mbである。 ^{96}Mo については、13.5mbから37mbまで、 ^{97}Mo については、15.9mbから108mbまで、それぞれ数個の実験値がある。 ^{98}Mo については、割合一致がよく、9mbから14mbまでである。しかし、14MeV以下では測定されていない。

(n, α) 反応断面積については、測定されているものは、14MeVにおいて、 ^{92}Mo 、 ^{98}Mo 、 ^{100}Mo だけである。 (n, α) 反応断面積についても、実験値が二つ以上あるものでは、ほとんど一致していない。 ^{92}Mo については、20mbから84.9mbまで、ばらついている。 ^{98}Mo については、8.1mbであり、 ^{100}Mo については、14mbと25mbである。この反応断面積も、14MeV以下では測定されていない。

(n, d) 反応断面積については、14MeVにおいて、天然のモリブデンについてのみ測定されていて、31mbである。

1 序 言

原研の核融合炉の設計⁽¹⁾において、プラズマ領域からの14.1MeVの高速中性子によって、モリブデン構造材で発生する水素とヘリウムは、スウェリング等を惹き起こして、その機械的性質を変化させるので、これらの気体の生成量を評価する必要がある。

ところが、モリブデンの各同位元素についての、これらの気体生成断面積のデータは乏しく、核融合炉のブランケットの核計算に用いられている核データファイルENDF/B-IIIにも含まれていない。そこでまず、 (n, p) 、 (n, α) 、 (n, d) 、 $(n, n' p)$ 等の反応について、気体生成断面積のサーベイと収集を行なった。

これらの断面積データを、多群断面積セットの形でまとめて、実際のモリブデン構造材中における、水素とヘリウムの生成量を求めた。又、 (n, p) 、 (n, α) 反応などを考慮することによるブランケットの核特性、特にトリチウム増殖比に対する影響を調べた。

2 モリブデン気体生成中性子断面積データの現状

モリブデンの気体生成中性子断面積は、適当な中性子源がないことなどから、依然として乏しく、又、14MeV以外では殆んど測定されていない。一部が、原子炉などで、核分裂スペクトルで平均した実効断面積として測定されている。しかし、これを多群断面積セットに組み入れることは、非常に困難であるので用いなかった。収集した断面積データのうち、主なものを、Table 2.1 にあげておく。

収集した断面積データは、その大部分のものが、生成核種の放射能を測定することによって求められていて、その一部は、反応において放出される荷電粒子の測定や原子核乾板を用いて求められている。

(n, p) 反応断面積については、 ^{95}Mo と ^{100}Mo を除いては、14MeVにおいて測定されているが、実験値が二つ以上あるものについては、ほとんど一致していない。天然のモリブデンについては、120mbと31mbという実験値があり、 ^{92}Mo については、14.5mbから108mbまで数個の実験値がある。 ^{94}Mo は6.0mbである。 ^{96}Mo については、13.5mbから37mbまで、 ^{97}Mo については、15.9mbから108mbまで、それぞれ数個の実験値がある。 ^{98}Mo については、割合一致がよく、9mbから14mbまでである。しかし、14MeV以下では測定されていない。

(n, α) 反応断面積については、測定されているものは、14MeVにおいて、 ^{92}Mo 、 ^{98}Mo 、 ^{100}Mo だけである。 (n, α) 反応断面積についても、実験値が二つ以上あるものでは、ほとんど一致していない。 ^{92}Mo については、20mbから84.9mbまで、ばらついている。 ^{98}Mo については、8.1mbであり、 ^{100}Mo については、14mbと25mbである。この反応断面積も、14MeV以下では測定されていない。

(n, d) 反応断面積については、14MeVにおいて、天然のモリブデンについてのみ測定されていて、31mbである。

Table 21 Experimental Cross Section Data for Gas Production
Reaction of Molybdenum

Nuclide	Reaction	E (MeV)	σ (mb)	measurement method	Ref.
nat Mo	(n, p)	14	120 ± 20	Nuclear emulsion	(3)
	(n, α)	Fiss.*	0.13 ± 0.03	Activation	(4)
	(n, d)	14	$< 31 \pm 3$	Direct measurement	(5)
	(n, n' p)	14	~ 112	Direct measurement	(5)
⁹² Mo	(n, p)	$14.01^{+0.03}_{-0.04}$	48.2 ± 7.6	Activation	(6)
	"	14.5	108 ± 55	Activation	(7)
	"	Fiss.	6.74 ± 0.27	Activation	(8)
	(n, α)	$14.01^{+0.03}_{-0.04}$	84.9 ± 10.3	Activation	(6)
	"	14.4 ± 0.3	28.1 ± 2.0	Activation	(9)
	"	Fiss.*	0.017		(10)
	(n, n' p)	14	112	Direct measurement	(5)
	(n, n' p) + (n, d)	14.7	< 50		(11)
⁹⁴ Mo	(n, p)	14.7 ± 0.2	6.0 ± 1.5	Activation	(12)
⁹⁶ Mo	"	Fiss.	0.138 ± 0.006	Activation	(8)
	"	14.4 ± 0.3	21.3 ± 1.5		(13)
	"	14.0	16.1 ± 2.63		(14)
	"	14.7 ± 0.2	37 ± 9	Activation	(12)
⁹⁷ Mo	"	14.4 ± 0.3	15.9 ± 1.3		(13)
	"	14.8	110 ± 20		(15)
⁹⁸ Mo	"	14.8	14 ± 3		(16)
	(n, α)	14.4 ± 0.3	8.1 ± 1.0		(13)
¹⁰⁰ Mo	"	14.7	14 ± 6		(17)
	"	14.1 ± 0.2	25 ± 15		(18)

*) Fiss. is the Cross Section averaged over the Fission Spectrum

(n, n' p) 反応断面積については、天然のモリブデンと⁹²Moとで、14MeVで測定されていて、それぞれ112mbと31mbである。この二つの反応断面積も14MeV以下では測定されていない。

その他の気体生成反応断面積、(n, t)、(n, 2p)、(n, ³He)、(n, αn')、(n, ⁵He)、(n, αp)、(n, αpn') 反応断面積については、14MeVにおける実験データさえないのが現状である。

モリブデンは核融合炉構造材として優れた性質を有しているのでこれら気体生成断面積の各同位元素に対する精度良い測定が望まれる。

3 気体生成多群断面積の作成

気体生成多群断面積の作成に際しては、実験値を重視し、実験値が2つ以上あるものについては、過大評価する方向に選ぶようにした。又、すでに述べたように、用いることができる断面積の実験値は14MeV付近でのものだけなので、しきいエネルギーがある核種の反応においては、しきいエネルギーで断面積を0とし、14MeVにおける値とそれとを直線で結んだ。しきいエネルギーは、反応のQ値を求め(19)。

$$E_T = -Q(A+1)/A \quad (3.1)$$

により計算した。但しAは質量数である。Q, E_TをTable 3.1に示す。しきいエネルギーがない核種の反応においては、原則として、エネルギーが0で断面積が0になるものとし、直線で結んだ。

直線で結ぶということは、BNL325-II⁽²⁰⁾によりモリブデンの付近の元素の気体生成断面積の実験データ、W.E.Alley⁽²¹⁾らによるモリブデンの各核種における理論値から、十分過大評価する方向であると考えられる。

以上の方針に従って、5種類の断面積曲線を引いた。これらの断面積の曲線において

$$\bar{E}_i = \Delta E_i \{ \ln(E_{L_i}/E_{U_i}) \}^{-1} \quad (3.2)$$

で与えられるエネルギーにおける値を読みとり5種類の断面積セットを作成した。E_{U_i}は各エネルギー群の上限値、E_{L_i}は下限値、ΔE_i=E_{L_i}-E_{U_i}である。

3.1 気体生成多群断面積セット I

(n, p) 反応断面積については、⁹⁵Moと¹⁰⁰Mo以外の核種は、14MeVにおける実験値があるので、それを用いた。⁹⁵Moと¹⁰⁰Moについては、14MeVにおいて中重核の(n, p) 反応断面積をよく表わすとされている⁽²²⁾ 系統性の式(Levikovskiiの式)

$$\sigma(n, p) = 45.2 (A^{1/3} + 1)^2 \exp\{-33(N-Z)/A\} \text{ (mb)} \quad (3.3)$$

より求めた値を用いた。A, Z, Nは、それぞれ標的核の質量数、原子番号、中性子数である。実験値と(3.3)式による値をTable 3.2に示してある。⁹²Mo以外の核種は、吸熱反応であり、しきいエネルギーがあるので、14MeVにおける実験値としきいエネルギーで断面積が0となるように直線で結んだ。⁹²Moは発熱反応であり、しきいエネルギーがないので、エネルギー0で断面積が0となるように直線で結んだ。以上のようにして、それぞれの核種ごとの

(n, n' p) 反応断面積については、天然のモリブデンと⁹²Moとで、14MeVで測定されていて、それぞれ112mbと31mbである。この二つの反応断面積も14MeV以下では測定されていない。

その他の気体生成反応断面積、(n, t)、(n, 2p)、(n, ³He)、(n, αn')、(n, ⁵He)、(n, αp)、(n, αpn') 反応断面積については、14MeVにおける実験データさえないので現状である。

モリブデンは核融合炉構造材として優れた性質を有しているのでこれら気体生成断面積の各同位元素に対する精度良い測定が望まれる。

3 気体生成多群断面積の作成

気体生成多群断面積の作成に際しては、実験値を重視し、実験値が2つ以上あるものについては、過大評価する方向に選ぶようにした。又、すでに述べたように、用いることができる断面積の実験値は14MeV付近でのものだけなので、しきいエネルギーがある核種の反応においては、しきいエネルギーで断面積を0とし、14MeVにおける値とそれとを直線で結んだ。しきいエネルギーは、反応のQ値を求め(19)、

$$E_T = -Q(A+1)/A \quad (3.1)$$

により計算した。但しAは質量数である。Q, E_TをTable 3.1に示す。しきいエネルギーがない核種の反応においては、原則として、エネルギーが0で断面積が0になるものとし、直線で結んだ。

直線で結ぶということは、BNL325-II⁽²⁰⁾によりモリブデンの付近の元素の気体生成断面積の実験データ、W.E. Alley⁽²¹⁾らによるモリブデンの各核種における理論値から、十分過大評価する方向であると考えられる。

以上の方針に従って、5種類の断面積曲線を引いた。これらの断面積の曲線において

$$\bar{E}_i = \Delta E_i \{ \ln(E_{Li}/E_{Ui}) \}^{-1} \quad (3.2)$$

で与えられるエネルギーにおける値を読みとり5種類の断面積セットを作成した。E_{U_i}は各エネルギー群の上限値、E_{L_i}は下限値、ΔE_i = E_{L_i} - E_{U_i}である。

3.1 気体生成多群断面積セット I

(n, p) 反応断面積については、⁹⁵Moと¹⁰⁰Mo以外の核種は、14MeVにおける実験値があるので、それを用いた。⁹⁵Moと¹⁰⁰Moについては、14MeVにおいて中重核の(n, p) 反応断面積をよく表わすとされている⁽²²⁾ 系統性の式(Levikovskiiの式)

$$\sigma(n, p) = 45.2 (A^{1/3} + 1)^2 \exp\{-33(N-Z)/A\} \text{ (mb)} \quad (3.3)$$

より求めた値を用いた。A, Z, Nは、それぞれ標的核の質量数、原子番号、中性子数である。実験値と(3.3)式による値をTable 3.2に示してある。⁹²Mo以外の核種は、吸熱反応であり、しきいエネルギーがあるので、14MeVにおける実験値としきいエネルギーで断面積が0となるように直線で結んだ。⁹²Moは発熱反応であり、しきいエネルギーがないので、エネルギー0で断面積が0となるように直線で結んだ。以上のようにして、それぞれの核種ごとの

断面積を求めておいて、そのあとでモリブデンの天然存在比を重率として、 ^{nat}Mo の断面積を求めた。

(n, α) 反応断面積については、14 MeVにおいて実験値がある核種は、 ^{92}Mo 、 ^{98}Mo 、 ^{100}Mo だけであるので、その中で一番大きな値をもつ ^{92}Mo の断面積を ^{nat}Mo の断面積とし、14 MeV付近での数点の実験値を両対数グラフで直線で外挿した。

($n, n' p$)、(n, d) 反応断面積については、14 MeVにおいて実験値がある核種は、 ^{92}Mo と ^{nat}Mo だけであるので、 ^{nat}Mo の値を用い、それぞれしきいエネルギーで断面積を0とし、14 MeVでの実験値と直線で結んだ。このようにして作成した断面積セットをIとし、Table 3.3.a及び3.3.bに示してある。

3.2 気体生成多群断面積セット II

モリブデンの気体生成反応断面積を断面積セットIよりも、さらに過大評価するために、断面積セットIで用いた実験値のエラー・バーの上限値を14 MeVでの値とした。(n, α) 反応断面積については、14 MeVにおける値は変えずに、エネルギーが0で断面積が0になるものとし、直線で結んだ。それ以外は断面積セットIと同様である。これをTable 3.4.a及び3.4.bに示してある。

3.3 気体生成多群断面積セット III

(n, p) 反応断面積については、 ^{nat}Mo における14 MeVでの実験値を用い、エネルギーが0で断面積が0になるものとし、14 MeVでの値と直線で結んだ。

(n, α)、(n, d)、($n, n' p$) 反応断面積については、断面積セットIと同様である。これをTable 3・5に示してある。

3.4 気体生成多群断面積セット IV

断面積セットIIIをさらに過大評価するために、断面積セットIIIで用いた実験値のエラー・バーの上限値を14 MeVでの値とした。(n, α)、(n, d)、($n, n' p$) 反応断面積については、断面積セットIIと同様である。これをTable 3・6に示してある。

3.4 九大データにもとづく断面積セット (23)

(n, p)、(n, α) 反応断面積について、14 MeVにおける実験値に統計理論による計算値を規格化して求めたものである。(n, p) 反応断面積については、 ^{96}Mo 及び ^{98}Mo の実験値に、(n, α) 反応断面積については ^{98}Mo の実験値に、それぞれ計算値を規格化してあり、それぞれの核種ごとの断面積を求めて、最後にモリブデンの天然存在比を重率として ^{nat}Mo の断面積を求めている。これをTable 3・7に示している。

又、Fig. 3・1から3・4に、各反応についてのIからVの断面積を比較のために示してある。これを見てわかるように、作成した断面積セット中で一番小さいIでさえも、九大データにもとづくVより大きいことがわかる。断面積セットは、V、I、II、III、IVの順に大きくなり、以後、詳細な実験データが得られたとしても、IVより大きくなることはないだろうと思われる。

又、断面積セット I が現在得られている実験値だけに依存するものとしては最も信頼性が高いと考られる。

Table 3.1 Q-value and Threshold Energy

Nuclide	Reaction	Q (MeV)	E _T (MeV)
nat. Mo	(n, d)	-5.12	5.17
nat. Mo	(n, n' p)	-7.91	7.99
⁹⁴ Mo	(n, p)	-1.29	1.30
⁹⁵ Mo	(n, p)	-0.148	0.150
⁹⁶ Mo	(n, p)	-2.37	2.39
⁹⁷ Mo	(n, p)	-1.15	1.16
⁹⁸ Mo	(n, p)	-3.40	3.43
¹⁰⁰ Mo	(n, p)	-5.31	5.36

Table 3.2 Comparison Between Experiment and Eq. (3.3)

Nuclide	Reaction	experiment (mb)	Eq. (3.3) (mb)
⁹² Mo	(n, p)	48.2, 60, 108	77.96
⁹⁴ Mo	(n, p)	6.0	41.55
⁹⁵ Mo	(n, p)		30.64
⁹⁶ Mo	(n, p)	16.1, 21.3, 37	22.74
⁹⁷ Mo	(n, p)	15.9, 110	16.98
⁹⁸ Mo	(n, p)	14	12.94
¹⁰⁰ Mo	(n, p)		7.33

Table 3.3.a Cross Section Set I

Grp No.	E (MeV)	$\sigma_{n,p}$ (mb)							
		⁹² Mo	⁹⁴ Mo	⁹⁵ Mo	⁹⁶ Mo	⁹⁷ Mo	⁹⁸ Mo	¹⁰⁰ Mo	nat. Mo
1	14353	10691	584	3142	3596	10640	1345	763	4232
2	13131	9780	530	2872	3228	9654	1194	659	3840
3	12009	8945	480	2624	2891	8749	1056	564	3481
4	10967	8169	433	2393	2578	7909	928	475	3148
5	9892	7368	385	2155	2255	7042	796	384	2804
6	8782	6541	335	1910	1921	6147	659	290	2449
7	7781	5796	290	1688	1620	5340	536	205	2129
8	6906	5144	251	1495	1357	4634	428	131	1848
9	6120	4558	216	1321	1121	4000	331	064	1597
10	5420	4037	184	1166	911	3435	245	005	1373
11	4802	3577	157	1029	725	2937	170	00	1180
12	4250	3166	132	907	559	2492	101		1008
13	3566	2656	101	756	353	1940	017		794
14	2817	2098	068	590	128	1336	00		579
15	2170	1616	039	447	00	815			407
16	1625	1210	015	326		375			280
17	1222	910	00	237		050			186
18	0922	687		171		00			137
19	0675	503		116					098
20	0479	357		073					068
21	0337	251		041					046
22	0239	178		020					031
23	0170	127		004					021
24	0118	088		00					014
25	006948	052							008
26	003247	024							004
27	001494	011							002
28	000695	005							001

Table 3.3.b Cross Section Set I

Grp No.	E (MeV)	$\sigma_{n,n'p}$ (mb)	$\sigma_{n,d}$ (mb)	$\sigma_{n,p} + \sigma_{n,d} + \sigma_{n,\alpha}$ (mb)	$\sigma_{n,\alpha}$ (mb)
		nat Mo	nat Mo	nat Mo	nat Mo
1	14353	11858	3224	16576	9120
2	13131	9581	2795	12978	6343
3	12009	7490	2401	9675	3793
4	10967	5548	2035	7883	2500
5	9892	3544	1658	6032	1570
6	8782	1476	1268	4597	880
7	7781	0.0	9.17	3516	470
8	6906		6.10	2713	255
9	6120		3.34	2075	144
10	5420		0.88	1540	0.79
11	4802		0.0	1224	0.44
12	4250			1033	0.25
13	3566			794	0.0
14	2817			579	
15	2170			407	
16	1625			280	
17	1222			186	
18	0922			137	
19	0675			098	
20	0479			068	
21	0337			046	
22	0239			031	
23	0170			021	
24	0118			014	
25	006948			008	
26	003247			004	
27	001494			002	
28	000695			001	

Table 3.3.a Cross Section Set II

Grp No.	E (MeV)	$\sigma_{n,p}$ (mb)							
		⁹² Mo	⁹⁴ Mo	⁹⁵ Mo	⁹⁶ Mo	⁹⁷ Mo	⁹⁸ Mo	¹⁰⁰ Mo	nat-Mo
1	14353	16135	731	3142	4470	12574	1633	763	5503
2	13131	14761	662	2872	4014	11409	1450	659	4989
3	12009	13500	599	2624	3594	10340	1283	564	4534
4	10967	12328	541	2393	3205	9347	1127	475	4103
5	9892	11120	481	2155	2803	8322	966	384	3659
6	8782	9872	419	1910	2389	7264	800	290	3200
7	7781	8747	363	1688	2015	6310	651	205	2787
8	6906	7763	314	1495	1688	5476	520	131	2425
9	6120	6880	270	1321	1394	4727	402	064	2100
10	5420	6093	231	1166	1132	4060	298	005	1811
11	4802	5398	196	1029	901	3471	205	00	1560
12	4250	4778	165	907	695	2945	123		1336
13	3566	4009	127	756	439	2293	020		1059
14	2817	3167	085	590	160	1579	00		778
15	2170	2439	049	447	00	963			552
16	1625	1827	018	326		443			384
17	1222	1374	00	237		059			260
18	0922	1036		171		00			191
19	0675	759		116					138
20	0479	538		073					097
21	0337	379		041					066
22	0239	269		020					046
23	0170	191		004					031
24	0118	133		00					021
25	006948	078							012
26	003247	037							006
27	001494	017							003
28	000695	008							001

Table 3.4.b Cross Section Set II

Grp No.	E (MeV)	$\sigma_{n,n'p}$ (mb)	$\sigma_{n,d}$ (mb)	$\sigma_{n,p} + \sigma_{n,d} + \sigma_{n,\alpha}$ (mb)	$\sigma_{n,\alpha}$ (mb)
		nat Mo	nat Mo	nat Mo	nat Mo
1	14353	11858	3536	18159	9120
2	13131	9581	3065	16398	8344
3	12009	7490	2633	14798	7631
4	10967	5548	2232	13304	6969
5	9892	3544	1818	11762	6285
6	8782	1476	1391	10171	5580
7	7781	0.0	1006	8737	4944
8	6906		669	7482	4388
9	6120		366	6355	3889
10	5420		097	5352	3444
11	4802		0.0	4611	3051
12	4250			4036	2700
13	3566			3325	2266
14	2817			2568	1790
15	2170			1931	1379
16	1625			1417	1033
17	1222			1036	776
18	0922			777	586
19	0675			567	429
20	0479			401	304
21	0337			280	214
22	0239			198	152
23	0170			139	108
24	0118			096	075
25	006948			056	044
26	003247			027	021
27	001494			012	009
28	000695			005	004

Table 3.5 Cross Section Set III

Grp No.	E (MeV)	$\sigma_{n,p}$ (mb)	$\sigma_{n,n'p}$ (mb)	$\sigma_{n,d}$ (mb)	$\sigma_{n,p} + \sigma_{n,d} + \sigma_{n,\alpha}$ (mb)	$\sigma_{n,\alpha}$ (mb)
		nat Mo	nat Mo	nat Mo	nat Mo	nat Mo
1	14353	12302	11858	3224	24646	9120
2	13131	11255	9581	2795	20393	6343
3	12009	10293	7490	2401	16487	3793
4	10967	9400	5548	2035	13935	2500
5	9892	8478	3544	1658	11706	1570
6	8782	7527	1476	1268	9675	880
7	7781	6669	0.0	917	8056	470
8	6906	5919		610	6784	255
9	6120	5245		334	5723	144
10	5420	4645		0.88	4812	0.79
11	4802	4116		0.0	4160	0.44
12	4250	3643			3668	0.25
13	3566	3056			3056	0.0
14	2817	2414			2414	
15	2170	1860			1860	
16	1625	1393			1393	
17	1222	1047			1047	
18	0922	790			790	
19	0675	579			579	
20	0479	411			411	
21	0337	289			289	
22	0239	205			205	
23	0170	146			146	
24	0118	101			101	
25	006948	060			060	
26	003247	028			028	
27	001494	013			013	
28	000695	006			006	

Table 3.6 Cross Section Set IV

Grp No.	E (MeV)	$\sigma_{n,p}$ (mb)	$\sigma_{n,n'p}$ (mb)	$\sigma_{n,d}$ (mb)	$\sigma_{n,p}+\sigma_{n,d}+\sigma_{n,\alpha}$ (mb)	$\sigma_{n,\alpha}$ (mb)
		nat·Mo	nat·Mo	nat·Mo	nat·Mo	nat·Mo
1	14353	14353	11858	3536	27009	9120
2	13131	13131	9581	3065	24540	8344
3	12009	12009	7490	2633	22273	7631
4	10967	10967	5548	2232	20168	6969
5	9892	9892	3544	1818	17995	6285
6	8782	8782	1476	1391	15753	5580
7	7781	7781	0.0	10.06	13731	4944
8	6906	6906		6.69	11963	4388
9	6120	6120		3.66	10375	3889
10	5420	5420		0.97	8961	3444
11	4802	4802		0.0	7853	3051
12	4250	4250			6950	2700
13	3566	3566			5832	2266
14	2817	2817			4607	1790
15	2170	2170			3549	1379
16	1625	1625			2658	1033
17	1222	1222			1998	776
18	0922	922			1508	586
19	0675	675			1104	429
20	0470	479			783	304
21	0337	337			551	214
22	0239	239			391	152
23	0170	170			278	108
24	0118	118			193	075
25	006948	0.69			1.13	0.44
26	003247	0.32			0.53	0.21
27	001494	0.15			0.24	0.09
28	000695	0.07			0.11	0.04

Table 3.7 Cross Section Set V based on Kyūsyū University's Data (23)

Grp No.	E (MeV)	$\sigma_{n,p}$ (mb)							
		^{92}Mo	^{94}Mo	^{95}Mo	^{96}Mo	^{97}Mo	^{98}Mo	^{100}Mo	nat·Mo
1	14353	1500	520	369	265	207	94	20	430
2	13131	1285	400	276	189	129	58	10	341
3	12009	1145	311	207	138	87	38	0.6	283
4	10969	1041	238	150	99	60	24	0.3	238
5	9892	938	194	114	72	40	15	0.1	203
6	8782	839	148	82	47	25	0.8	0.0	171
7	7781	759	115	63	29	15	0.5		148
8	6906	691	90	49	18	10	0.1		130
9	6120	630	70	40	0.9	0.4	0.0		114

Grp No.	E (MeV)	$\sigma_{n,\alpha}$ (mb)							
		^{92}Mo	^{94}Mo	^{95}Mo	^{96}Mo	^{97}Mo	^{98}Mo	^{100}Mo	nat·Mo
1	14353	630	290	209	145	1045	765	430	215
2	13131	430	227	163	108	747	548	265	155
3	12009	309	188	136	86	564	400	169	118
4	10969	218	157	113	65	433	289	104	89
5	9892	151	133	97	48	330	210	0.59	68
6	8782	92	107	81	29	235	132	0.20	47
7	7781	51	80	60	15	158	0.74	0.0	31
8	6906	20	52	35	0.0	0.95	0.25		15
9	6120	0.0	27	0.9		0.40	0.0		0.4

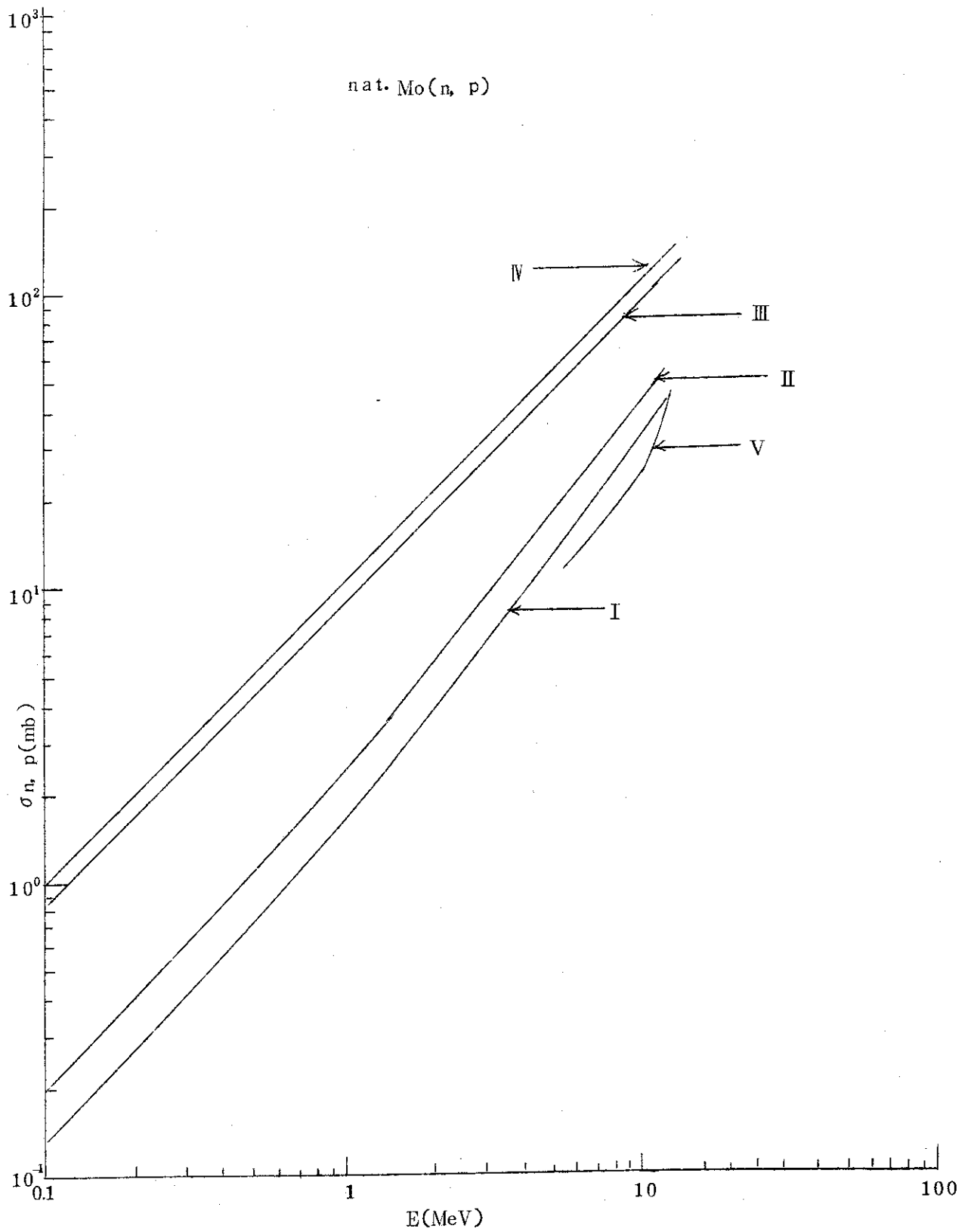


Fig. 3.1 (n, p) Reaction Cross Section of Cross Section Set I, II, III, IV and V

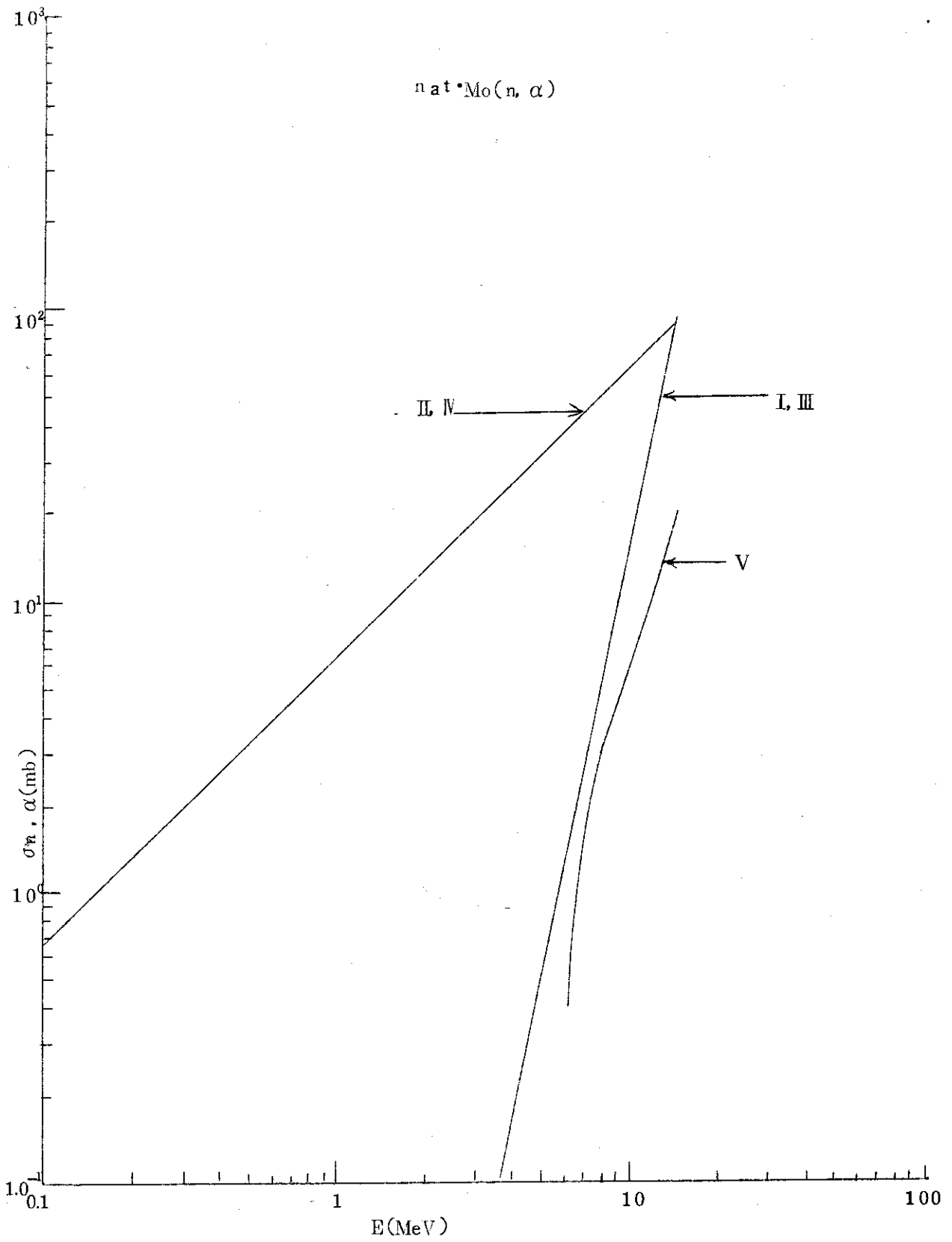


Fig. 3.2 (n, α)Reaction Cross Section of Cross Section Set
I, II, III, IV, and V

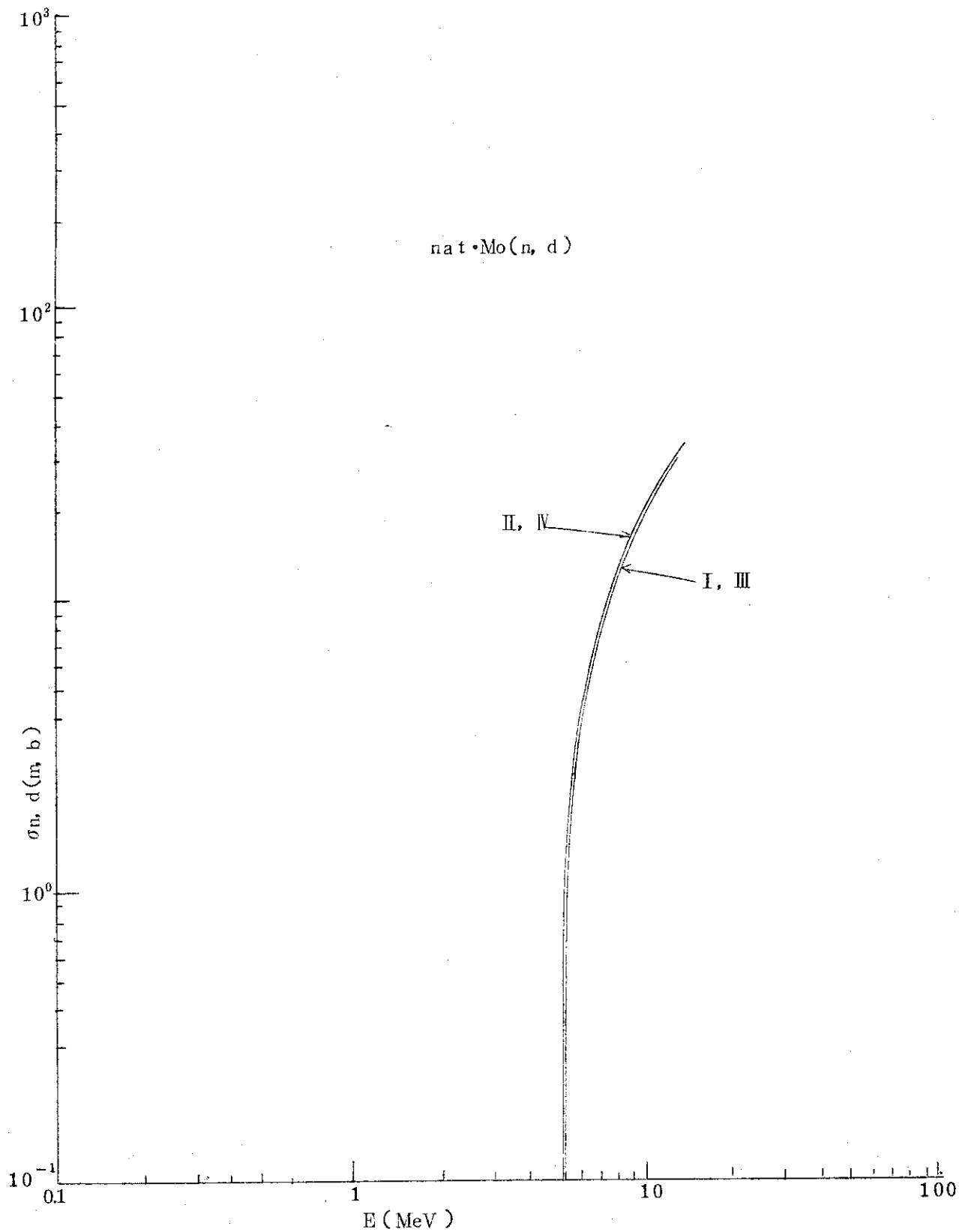


Fig. 3.3 (n, d)Reaction Cross Section of Cross Section Set I, II, III and IV

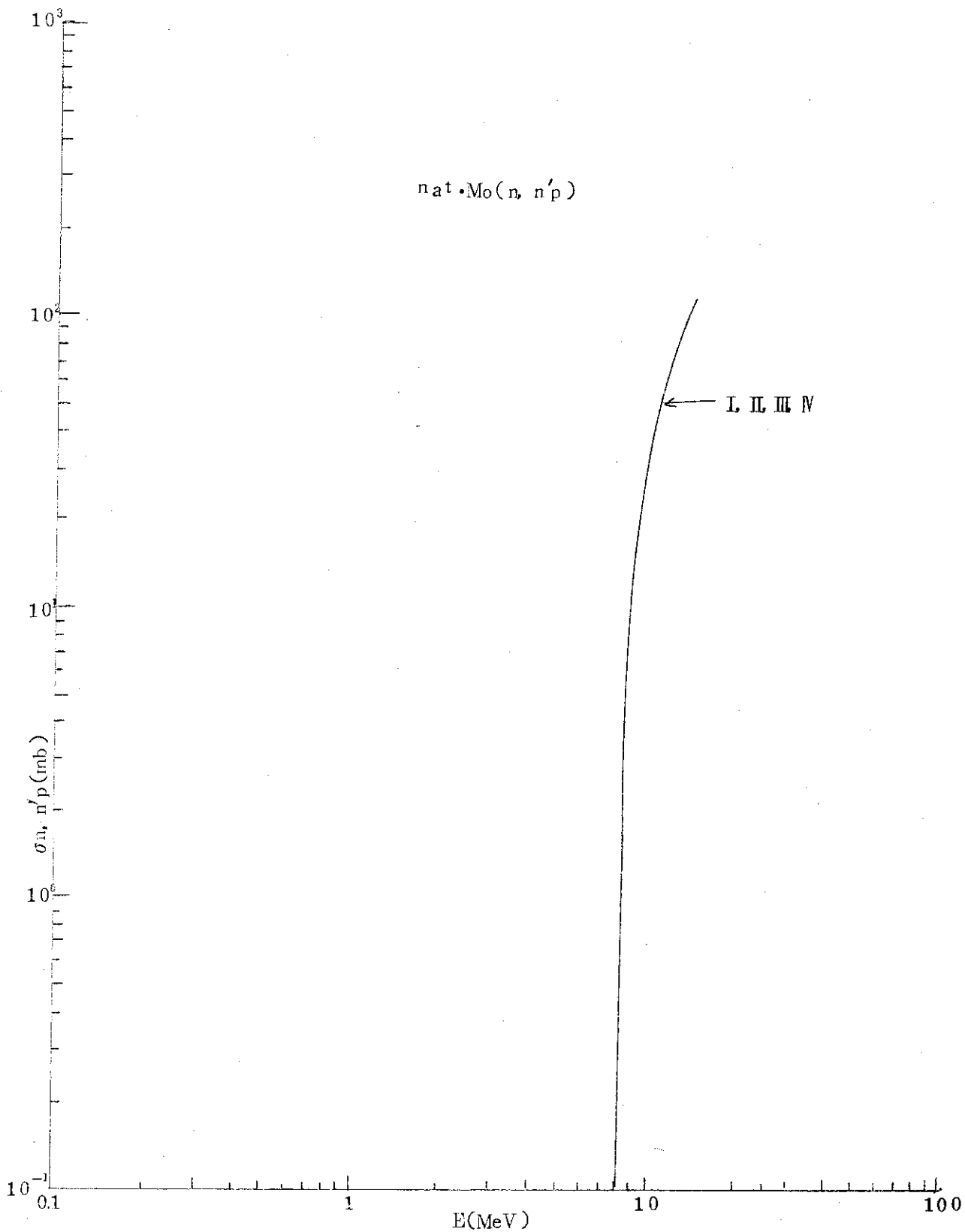


Fig. 3.4 (n, n'p)Reaction Cross Section of Cross Section Set I, II, III, and IV

4 核融合炉のモリブデン構造材中の気体生成量

計算は、核データファイル ENDF/BIII⁽²⁾、及び作成した断面積セット I, II, III, IV, V を用い、輸送計算コード ANISN⁽²⁴⁾ を使って行なった。ANISN では、 $P_3 - S_4$ 近似を使い、エネルギーグループは Table 4.1 に示す 42 群を使った。計算モデルは Fig. 4.1 に示すような一次元無限円筒状であり、モリブデン構造材の 4 個の領域を含み、10 個の領域から成っている。各領域の原子数密度を Table 4.2 に示す。Li₂O の理論密度は 2.01 g/cm³ を使い、プラズマ及び真空領域では、ヘリウムが 10^{13} atoms/cm³ あると仮定されている⁽¹⁾。

(n, p), (n, α) 反応などの気体生成反応を考慮した場合の、モリブデンの Protection Wall, 及びその他のモリブデン構造材中での水素とヘリウムの生成量が求められた。

又、気体生成反応を考慮した場合と、考慮しない場合のモリブデン Protection Wall 内での中性子束分布、Li₂O 領域でのトリチウム増殖比、ブランケットからの中性子束の洩れが求められた。

ANISN の計算では、source neutron を 1 ケとしているので、ANISN で計算された反応率及び中性子束を実際の炉に対する反応率及び中性子束に換算しなければならない。

実際の炉のプラズマ中で毎秒発生する 14 MeV の中性子の総数を Protection Wall の表面積で割った値が、Protection Wall における 14 MeV の中性子束に等しいと仮定する。つまり

$$\phi_{nW} = \langle \sigma v \rangle n^2 V_P / (4 S_W) \quad (4.1)$$

のように書けるとする。ここで $\langle \sigma v \rangle$ は D-T 反応の実効的断面積 (2.6×10^{-16} cm²·s⁻¹)、n はイオン密度 (1.1×10^{14} cm⁻³)、V_P はプラズマ体積 (7.90×10^8 cm³)、S_W は Protection Wall 内側表面積 (8.88×10^6 cm²) である。これらの値より

$$\phi_{nW} = 7.00 \times 10^{13} \text{ (neutrons} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}\text{)} \quad (4.2)$$

となる。ANISN で計算された Protection Wall における 14 MeV の中性子束を ϕ_{nW} とすると

$$f = \phi_{nW} / \phi_{nW} \quad (4.3)$$

を各反応率にかければ、実際の炉に対する反応率が求まる。

4.1 モリブデン構造材中での水素とヘリウムの生成量

ANISN で計算された水素とヘリウムの生成量を、実際の炉に対する生成量に換算し、稼動期間 10 年、負荷率 0.8 とした場合の値が、Table 4.3 . a, b, c に示してある。

(n, p), (n, d), (n, n' p) 反応による水素の生成量については、最も条件の厳しい Protection Wall の内側において、一番過大評価して作成した断面積セット IV を用いた計算では、 6.54×10^3 ppm であり、最も信頼性が高いと思われる断面積セット I を用いた計算では、 3.82×10^3 ppm である。又、九大データにもとづく断面積セット V を用いた計算では、 8.46×10^2 ppm であるが、これは、(n, p) 反応だけしか考慮していなくて、断面積の値も最小であるので、生成量も最小となっている。Fig. 4.2 には、各断面積セットによるモ

リブデン構造材中での水素の生成量の分布が示されている。水素の生成量は、断面積の値の順に少なくなり、モリブデン構造材中で、距離とともにほぼ直線的に減少している。又、Protection Wall, それにつづく2つのモリブデン構造材の順に、水素の生成量の減少の勾配がゆるやかになっている。

次に、 (n, α) 反応によるヘリウムの生成量については、最も条件の厳しいProtection Wallの内側において、一番過大評価して作成した断面積セットIVを用いた計算では、 2.26×10^3 ppmであり、最も信頼性が高いと思われる断面積セットIを用いた計算では、 1.67×10^3 ppmである。又、九大データにもとづく断面積セットVを用いた計算では、 4.03×10^2 ppmであり、用いた断面積の値に対応して、非常に小さくなっている。Fig. 4.3には、各断面積セットによるモリブデン構造材中でのヘリウムの生成量の分布が示されている。水素の生成量の分布と同様に、距離とともにヘリウムの生成量はほぼ直線的に減少し、又、Protection Wall, それにつづく2つのモリブデン構造材の順に、ヘリウムの生成量の減少の傾きがゆるやかになっている。

水素とヘリウムの生成量両方について言えることは、Fig. 4.4に示す様に、Protection Wallにおいては、14MeVの中性子が圧倒的に多いので、Protection Wallでの水素とヘリウムの生成量は、モリブデンの14MeVにおける (n, p) , (n, α) などの気体生成断面積によってかなりの部分が決まってしまうということである。

4.2 トリチウム増殖比

燃料としてトリチウムを用いるD-T炉においては、ブランケットでのトリチウムの増殖、分離、回収が重要問題となり、分離、回収の際の損失などを考えて、トリチウム増殖比として最低1.1以上が必要とされている。

それで、構造材としてモリブデンを用いた場合のトリチウム増殖比が、気体生成反応を作成した5つの断面積セットにより考慮した場合、全く考慮しない場合について計算された。その結果が、Table 4.4に示されている。気体生成反応を考慮しない場合のトリチウム増殖比は、1.30であるが、最も過大評価した断面積セットIVを用いた計算では1.18である。この場合でも、トリチウム増殖は可能である。又、最も信頼性が高いと思われる断面積セットIを用いた計算では、1.24であり、トリチウム増殖比としては十分な大きさである。九大データにもとづく断面積セットVを用いた計算では、1.28である。

4.3 Protection Wall内での中性子スペクトル

Protection Wall内での中性子スペクトルが、気体生成反応を考慮した場合と考慮しない場合について計算された。これは4.1でも述べた様に、どのエネルギーにおける気体生成反応断面積が気体生成量にどの位の寄与をするかを知るためにも重要な量である。気体生成反応断面積を考慮しない場合、断面積セットIを用いた場合、断面積セットIVを用いた場合のProtection Wall内の中性子スペクトルが、実際の炉に対する中性子束の値に換算して、Fig. 4.4に示されている。Protection Wall内では、14MeVの中性子が圧倒的に多く、気体生成反応を考慮しても、中性子スペクトルの形は変わらないが、その量は、すべてのエネル

ギーにおいて、ほんのわずか小さくなっている。断面積セット I を用いた場合は、全体で 3.3% 小さくなっている。断面積 IV を用いた場合は、全体で 6.7% 小さくなっている。

4.4 ブランケットからの中性子の洩れ

ブランケットからの中性子の洩れは、超電導マグネットのしゃへいを考える際に重要な量である。気体生成反応を考慮した場合と考慮しない場合について、ブランケットから洩れる中性子のスペクトルが計算され、実際の炉に対する値に換算して、Fig. 4.5 に示してある。ブランケットから洩れる中性子のエネルギー分布は、1 KeV 以上の中性子に対しては比較的平坦で 1 KeV と 1 MeV 近辺にゆるやかなピークを有している。気体生成反応を考慮した場合も、もれのスペクトルの形は同じであるが、断面積セット I を用いた場合には、全体として 6.6% 小さくなっている。断面積セット IV を用いた場合は、全体として 13% 小さくなっている。

TABLE 4.1 Neutron Energy Group Structure

Group	Energy Limits	Mid - Point Energy
1	15.000 - 13.720 MeV	14.360 MeV
2	13.720 - 12.549	13.135
3	12.549 - 11.478	12.014
4	11.478 - 10.500	10.989
5	10.500 - 9.314	9.907
6	9.314 - 8.261	8.788
7	8.261 - 7.328	7.795
8	7.328 - 6.500	6.914
9	6.500 - 5.757	6.129
10	5.757 - 5.099	5.428
11	5.099 - 4.516	4.808
12	4.516 - 4.000	4.258
13	4.000 - 3.162	3.581
14	3.162 - 2.500	2.831
15	2.500 - 1.871	2.186
16	1.871 - 1.400	1.636
17	1.400 - 1.058	1.229
18	1.058 - 0.800	0.929
19	0.800 - 0.566	0.683
20	0.566 - 0.400	0.483
21	0.400 - 0.283	0.342
22	0.283 - 0.200	0.242
23	0.200 - 0.141	0.171
24	0.141 - 0.100	0.121
25	100.0 - 46.5 KeV	73.25 KeV
26	46.5 - 21.5	34.0
27	21.5 - 10.0	15.75
28	10.0 - 4.65	7.325
29	4.65 - 2.15	3.40
30	2.15 - 1.00	2.825
31	1.00 - 0.465	0.733
32	0.465 - 0.215	0.340
33	0.215 - 0.100	0.158
34	100.0 - 46.5 eV	73.25 eV
35	46.5 - 21.5	34.0
36	21.5 - 10.0	15.75
37	10.0 - 4.65	7.325
38	4.65 - 2.15	3.40
39	2.15 - 1.00	1.58
40	1.00 - 0.465	0.733
41	0.465 - 0.215	0.340
42	0.215 - 0.001	0.108

Table 4.2 Summary of Nuclide Densities

Region	Nuclide Density (atoms/cm ³ × 10 ²⁴)					
	He	Mo	⁶ Li	⁷ Li	O	C
1 Plasma	10 ⁻¹¹					
2 Vacuum	10 ⁻¹¹					
3 Protection Wall		0.06403				
4 Vacuum	10 ⁻¹¹					
5 First Wall		0.06403				
6 Header	0.00030					
7 Separation Wall		0.06403				
8 Li ₂ O Region	0.00009	0.005122	0.002655	0.03313	0.01789	
9 Reflector	0.00009	0.002561				0.05610
10 End Wall		0.06403				

Table 4.4 Tritium Breeding Ratio

Cross Section Set	O	I	II	III	IV	V
T ₆	0.99	0.95	0.93	0.92	0.90	0.98
T ₇	0.31	0.29	0.29	0.28	0.28	0.30
T	1.30	1.24	1.22	1.20	1.18	1.28

Where

T₆ is the tritium breeding ratio by ⁶Li (n, α) t reaction.

T₇ is the tritium breeding ratio by ⁷Li (n, n' α) t reaction.

and T is the total tritium breeding ratio.

O shows the result of the calculation without consideration of the gas production reaction of Molybdenum.

Table 4.3.a Hydrogen and Helium Production Distribution
in Molybdenum Structure (1)

Distance	by Cross Section Set I		by Cross Section Set II	
	Hydrogen Production	Helium Production	Hydrogen Production	Helium Production
r (cm)	(10^3 ppm)	(10^3 ppm)	(10^3 ppm)	(10^3 ppm)
225.00	3.82	1.67	4.18	2.26
225.12	3.71	1.62	4.06	2.20
225.25	3.59	1.57	3.94	2.15
225.37	3.49	1.52	3.83	2.10
230.00	3.30	1.43	3.62	2.01
230.20	3.15	1.36	3.46	1.94
230.40	3.02	1.30	3.32	1.87
230.60	2.88	1.24	3.16	1.80
230.80	2.75	1.18	3.02	1.73
231.00	2.63	1.12	2.89	1.66
244.50	2.42	1.02	2.66	1.55
244.62	2.35	0.988	2.59	1.52
244.75	2.28	0.960	2.52	1.48
244.87	2.23	0.932	2.46	1.45
336.00	3.54×10^{-3}	1.04×10^{-3}	4.04×10^{-3}	3.66×10^{-3}
337.00	2.92 "	0.862 "	3.34 "	3.01 "
338.00	2.39 "	0.711 "	2.73 "	2.42 "
339.00	1.91 "	0.581 "	2.17 "	1.86 "

Table 4.3.b Hydrogen and Helium Production Distribution
in Molybdenum Structure (2)

Distance	by Cross Section Set III		by Cross Section Set IV	
	Hydrogen Production	Helium Production	Hydrogen Production	Helium Production
r (cm)	(10^3 ppm)	(10^3 ppm)	(10^3 ppm)	(10^3 ppm)
225.00	5.88	1.67	6.45	2.26
225.12	5.72	1.62	6.28	2.20
225.25	5.56	1.57	6.11	2.15
225.37	5.43	1.52	5.95	2.10
230.00	5.15	1.43	5.66	2.01
230.20	4.93	1.36	5.42	1.94
230.40	4.74	1.30	5.21	1.87
230.60	4.54	1.24	4.99	1.80
230.80	4.34	1.18	4.78	1.73
231.00	4.17	1.12	4.59	1.66
244.50	3.85	1.02	4.24	1.55
244.62	3.81	0.988	4.14	1.52
244.75	3.66	0.960	4.03	1.48
244.87	3.58	0.932	3.93	1.45
336.00	7.58×10^{-3}	1.04×10^{-3}	7.96×10^{-3}	3.66×10^{-3}
337.00	5.85 "	0.862 "	6.57 "	3.01 "
338.00	4.74 "	0.711 "	5.33 "	2.42 "
339.00	3.72 "	0.581 "	4.16 "	1.86 "

Table 4.3.c Hydrogen and Helium Production Distribution
in Molybdenum Structure (3)

Distance r (cm)	by Cross Section Set V	
	Hydrogen Production	Helium Production
	(10^2 ppm)	(10^2 ppm)
225.00	8.46	4.03
225.12	8.21	3.91
225.25	7.98	3.79
225.37	7.74	3.67
230.00	7.32	3.46
230.20	6.99	3.30
230.40	6.68	3.14
230.60	6.38	3.00
230.80	6.10	2.86
231.00	5.83	2.73
244.50	5.34	2.48
244.62	5.20	2.41
244.75	5.06	2.35
244.87	4.93	2.28
336.00	0.769×10^{-2}	0.291×10^{-2}
337.00	0.633 "	0.240 "
338.00	0.518 "	0.198 "
339.00	0.419 "	0.161 "

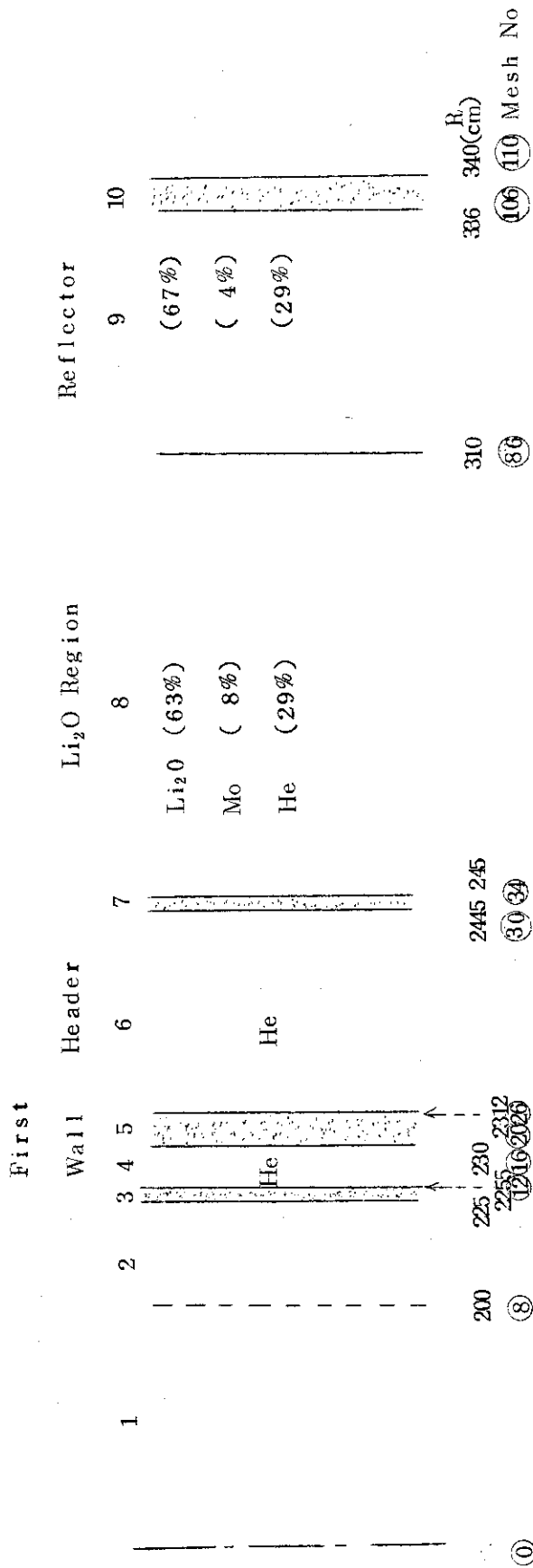


Fig. 4.1 Configuration of the Blanket

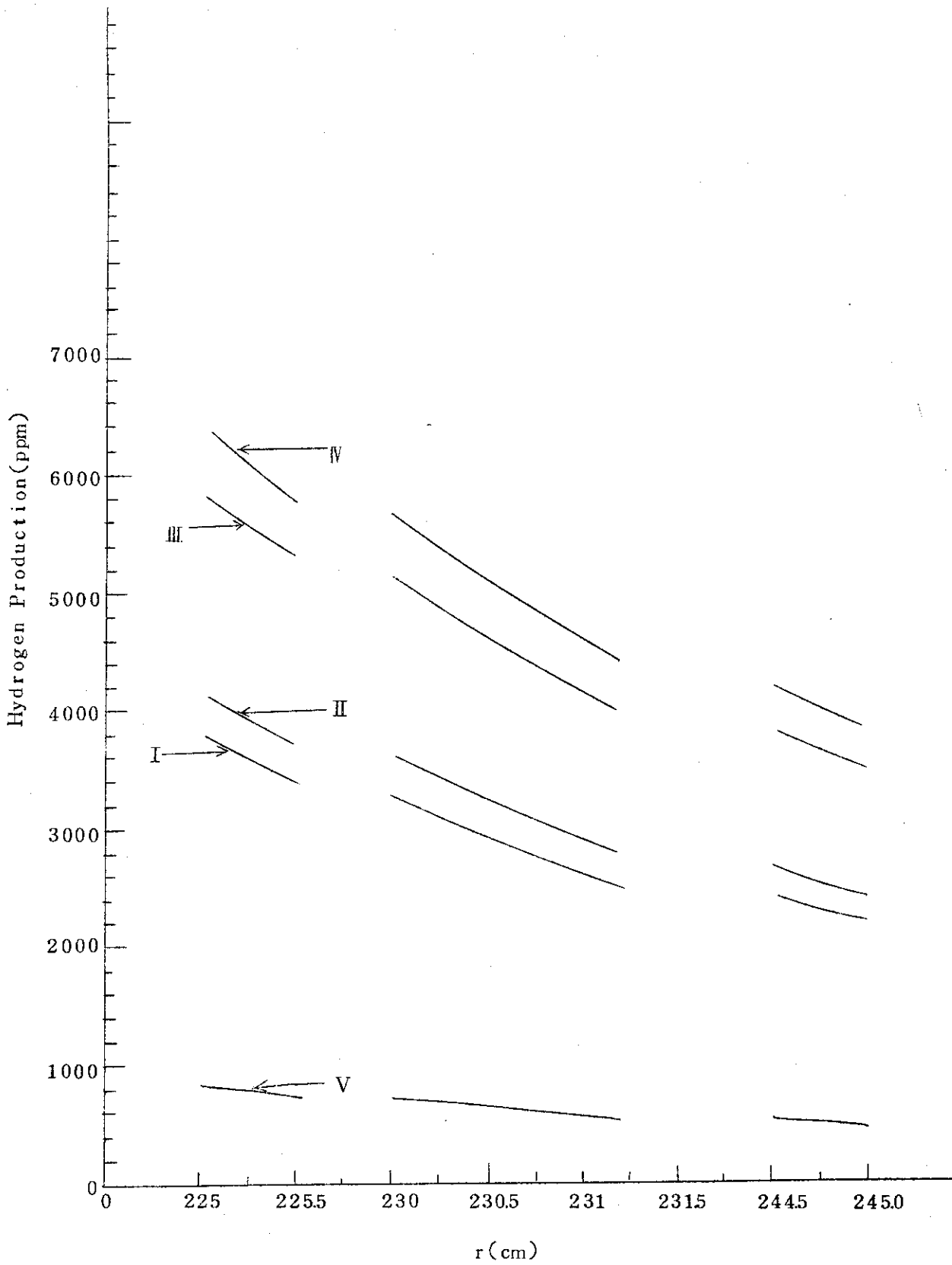


Fig. 4. 2 Hydrogen Production Distribution in Molybdenum Structure

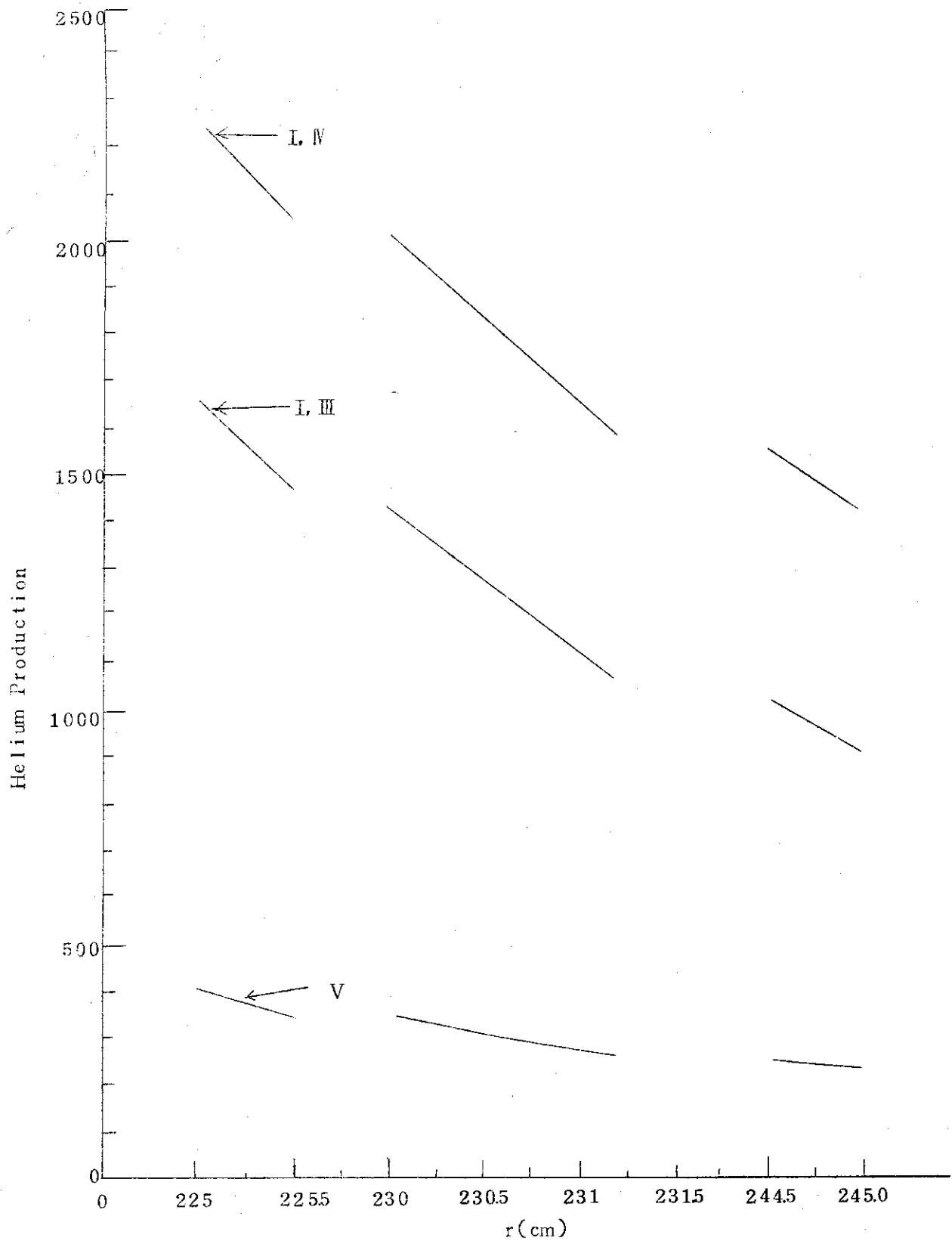


Fig. 4. 3 Helium Production Distribution in Molybdenum Structure

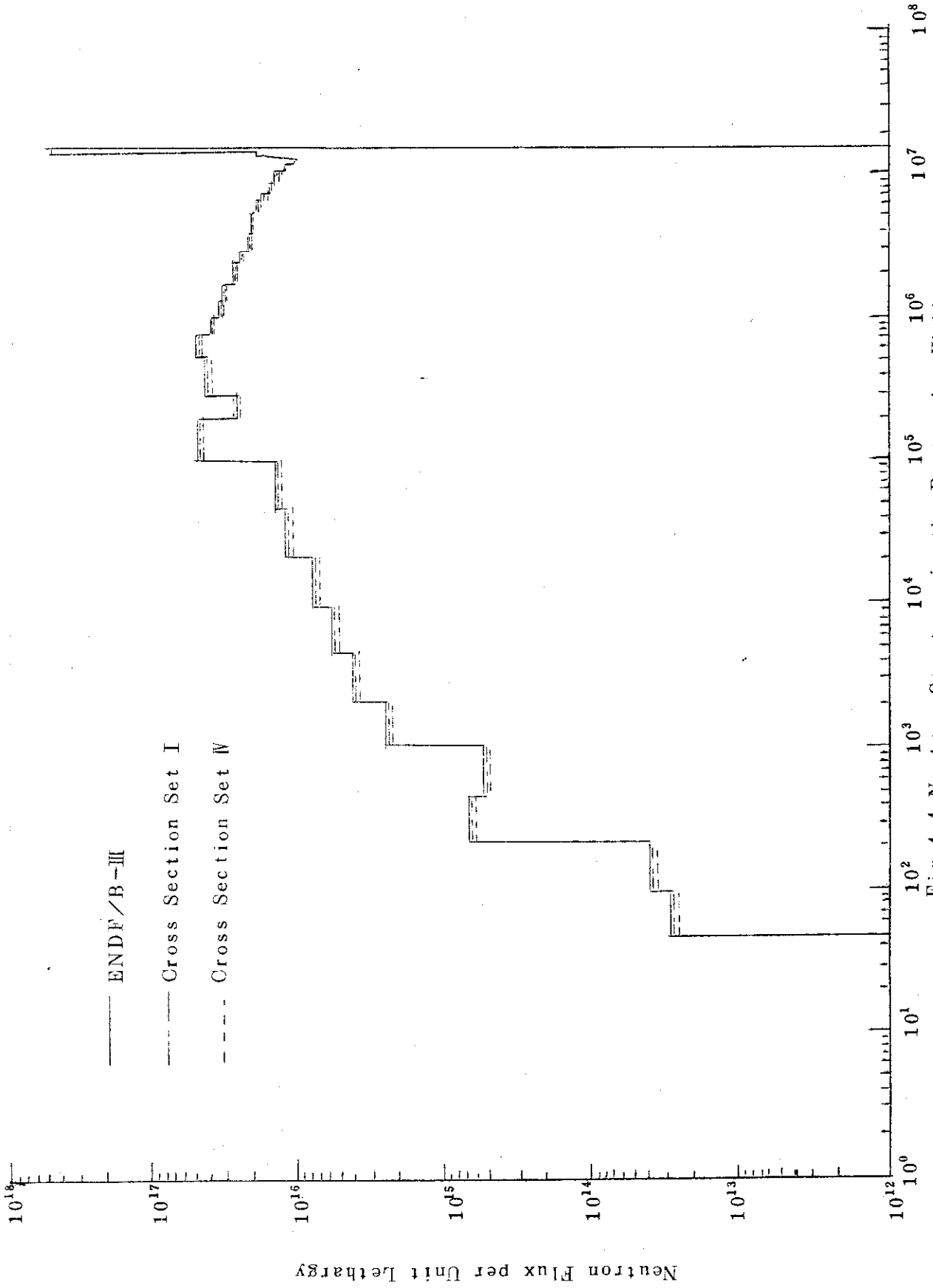


Fig. 4.4 Neutron Spectrum in the Protection Wall

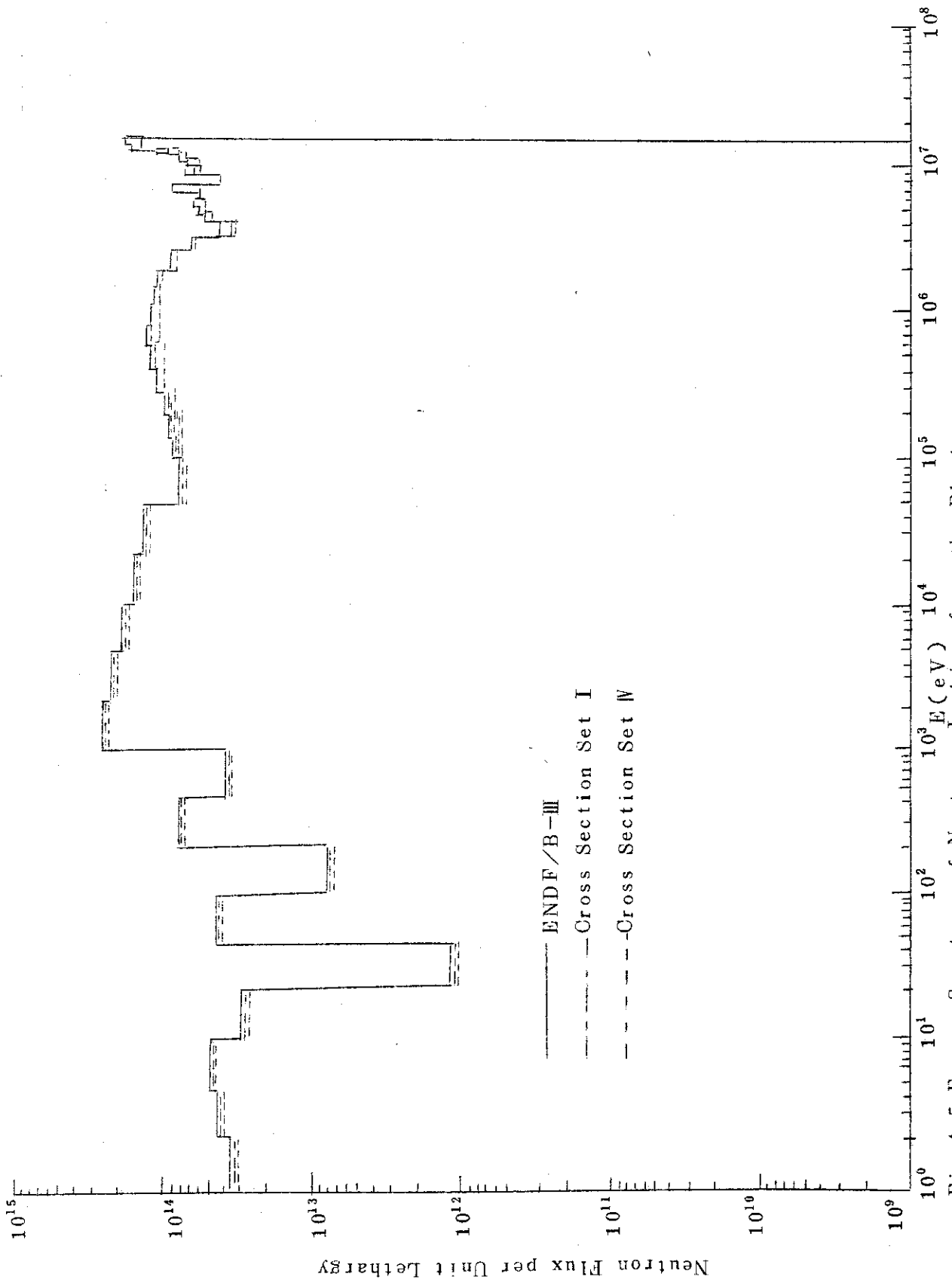


Fig. 4.5 Energy Spectrum of Neutrons Leaking from the Blanket

5 結 言

- (1) 最も気体生成断面積を過大評価した断面積セットⅣを用いた計算では、最も条件の厳しい Protection Wall の内側での水素とヘリウムの生成量は、それぞれ、 6.45×10^2 ppm/y, 2.26×10^2 ppm/y であった。最も信頼性が高いと思われる断面積セットⅠを用いた計算では、それぞれ、 3.82×10^2 ppm/y, 1.67×10^2 ppm/y であった。
- (2) トリチウム増殖比は、気体生成反応を考慮しない場合の 1.30 が、断面積セットⅣを用いると 1.18 に、断面積セットⅠを用いると 1.24 に変わった。
- (3) Protection Wall 内の中性子スペクトル及び、ブランケットからの中性子の洩れに対する、気体生成反応を考慮したことによる影響は、断面積セットⅠを用いると、それぞれ絶対値が全体として、3.3%, 6.6% 減少し、断面積セットⅣを用いると、それぞれ 6.6%, 13% 減少するが、分布の形は変わらないことが明らかになった。

謝 辞

九大・工学部の中島秀紀氏と大田正男氏にモリブデンの核データを快く提供していただきましたことを深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) K. Sako et al., IAEA-CN-33/G1-5 (1974) to be published.
- (2) H. C. Honeck, BNL-50066, ENDF-102 (1967).
- (3) D. L. Allan, Nuclear Phys. 24, 274 (1961).
- (4) N. J. Freeman et al., J. Nuclear Energy 23, 713 (1969).
- (5) L. Colli et al., Nuovo Cimento 13, 730 (1959).
- (6) Kanda, Nuclear Phys. A, 185, 177 (1972).
- (7) E. B. Paul and R. L. Clarke, Can. J. Phys. 31, 267 (1953).
- (8) Gardner, Nucleonik 96, 121 (1967).
- (9) Hasan, Nuclear Phys. A, 181, 101 (1972).
- (10) Robert S. Rochilin, Nucleonics, 17, 1, 54 (1965).
- (11) E. T. Bramlitt and R. W. Fink, J. Inorg. Nuclear Chem. 24, 1317 (1962).
- (12) E. T. Bramlitt and R. W. Fink, Phys. Rev. 131, 2649 (1963).
- (13) R. W. Fink, Phys. Rev. C, 1, 358 (1970).
- (14) H. Nakajima, M. Ohta, S. 48 炉物理炉工学分科会予稿集
- (15) E. T. Bramlitt, Nuclear Phys. 29, 373 (1962).
- (16) S. C. Gujrathi, Nuclear Phys. 85, 288 (1966).
- (17) P. Strohal, N. Cindro, and B. Eman, Nuclear Phys. 30, 49 (1962).

5 結 言

- (1) 最も気体生成断面積を過大評価した断面積セットⅣを用いた計算では、最も条件の厳しい Protection Wall の内側での水素とヘリウムの生成量は、それぞれ、 6.45×10^2 ppm/y, 2.26×10^2 ppm/y であった。最も信頼性が高いと思われる断面積セットⅠを用いた計算では、それぞれ、 3.82×10^2 ppm/y, 1.67×10^2 ppm/y であった。
- (2) トリチウム増殖比は、気体生成反応を考慮しない場合の 1.30 が、断面積セットⅣを用いると 1.18 に、断面積セットⅠを用いると 1.24 に変わった。
- (3) Protection Wall 内の中性子スペクトル及び、ブランケットからの中性子の洩れに対する、気体生成反応を考慮したことによる影響は、断面積セットⅠを用いると、それぞれ絶対値が全体として、3.3%、6.6% 減少し、断面積セットⅣを用いると、それぞれ 6.6%、13% 減少するが、分布の形は変わらないことが明らかになった。

謝 辞

九大・工学部の中島秀紀氏と大田正男氏にモリブデンの核データを快く提供していただきましたことを深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) K. Sako et al., IAEA-CN-33/G1-5 (1974) to be published.
- (2) H. C. Honeck, BNL-50066, ENDF-102 (1967).
- (3) D. L. Allan, Nuclear Phys. 24, 274 (1961).
- (4) N. J. Freeman et al., J. Nuclear Energy 23, 713 (1969).
- (5) L. Colli et al., Nuovo Cimento 13, 730 (1959).
- (6) Kanda, Nuclear Phys. A, 185, 177 (1972).
- (7) E. B. Paul and R. L. Clarke, Can. J. Phys. 31, 267 (1953).
- (8) Gardner, Nucleonik 96, 121 (1967).
- (9) Hasan, Nuclear Phys. A, 181, 101 (1972).
- (10) Robert S. Rochilin, Nucleonics, 17, 1, 54 (1965).
- (11) E. T. Bramlitt and R. W. Fink, J. Inorg. Nuclear Chem. 24, 1317 (1962).
- (12) E. T. Bramlitt and R. W. Fink, Phys. Rev. 131, 2649 (1963).
- (13) R. W. Fink, Phys. Rev. C, 1, 358 (1970).
- (14) H. Nakajima, M. Ohta, S. 48 炉物理炉工学分科会予稿集
- (15) E. T. Bramlitt, Nuclear Phys. 29, 373 (1962).
- (16) S. C. Gujrathi, Nuclear Phys. 85, 288 (1966).
- (17) P. Strohal, N. Cindro, and B. Eman, Nuclear Phys. 30, 49 (1962).

5 結 言

- (1) 最も気体生成断面積を過大評価した断面積セットⅣを用いた計算では、最も条件の厳しい Protection Wall の内側での水素とヘリウムの生成量は、それぞれ、 6.45×10^2 ppm/y, 2.26×10^2 ppm/y であった。最も信頼性が高いと思われる断面積セットⅠを用いた計算では、それぞれ、 3.82×10^2 ppm/y, 1.67×10^2 ppm/y であった。
- (2) トリチウム増殖比は、気体生成反応を考慮しない場合の 1.30 が、断面積セットⅣを用いると 1.18 に、断面積セットⅠを用いると 1.24 に変わった。
- (3) Protection Wall 内の中性子スペクトル及び、ブランケットからの中性子の洩れに対する、気体生成反応を考慮したことによる影響は、断面積セットⅠを用いると、それぞれ絶対値が全体として、3.3%、6.6% 減少し、断面積セットⅣを用いると、それぞれ 6.6%、13% 減少するが、分布の形は変わらないことが明らかになった。

謝 辞

九大・工学部の中島秀紀氏と大田正男氏にモリブデンの核データを快く提供していただきましたことを深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) K. Sako et al., IAEA-CN-33/G1-5 (1974) to be published.
- (2) H. C. Honeck, BNL-50066, ENDF-102 (1967).
- (3) D. L. Allan, Nuclear Phys. 24, 274 (1961).
- (4) N. J. Freeman et al., J. Nuclear Energy 23, 713 (1969).
- (5) L. Colli et al., Nuovo Cimento 13, 730 (1959).
- (6) Kanda, Nuclear Phys. A, 185, 177 (1972).
- (7) E. B. Paul and R. L. Clarke, Can. J. Phys. 31, 267 (1953).
- (8) Gardner, Nucleonik 96, 121 (1967).
- (9) Hasan, Nuclear Phys. A, 181, 101 (1972).
- (10) Robert S. Rochilin, Nucleonics, 17, 1, 54 (1965).
- (11) E. T. Bramlitt and R. W. Fink, J. Inorg. Nuclear Chem. 24, 1317 (1962).
- (12) E. T. Bramlitt and R. W. Fink, Phys. Rev. 131, 2649 (1963).
- (13) R. W. Fink, Phys. Rev. C, 1, 358 (1970).
- (14) H. Nakajima, M. Ohta, S. 48 炉物理炉工学分科会予稿集
- (15) E. T. Bramlitt, Nuclear Phys. 29, 373 (1962).
- (16) S. C. Gujrathi, Nuclear Phys. 85, 288 (1966).
- (17) P. Strohal, N. Cindro, and B. Eman, Nuclear Phys. 30, 49 (1962).

- (18) P. Cuzzocrea et al., Nuclear Phys. A, 103, 616 (1967) .
- (19) J. B. Marion and F. C. Yong "Nuclear Reaction Analysis, Graphs and Tables " North-Holland (1968) .
- (20) BNL 325, Second Edition (1966) .
- (21) W. E. Alley et al., UCRL-50484, Rev. 1 (1972) .
- (22) Wen-deh Lu, R. W. Fink, Phys. Rev. C, 4, 1173 (1973) .
- (23) H. Nakajima, M. Ohta, to be published (1974) .
- (24) W. W. Jr. Engle, A User's Manual for ANISN, Report K-1693, Union Carbide Corporation, Nuclear Division, Oak Ridge, Tennessee, March 30 . (1967) .