

JAERI-M

7769

核融合反応率，高エネルギーイオンの減速及び
トカマク型核融合炉心プラズマのパワーバランス
(付. 数値解析プログラム“BAL TOK”のマニュアル)

1978年7月

東 稔 達 三

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

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

JAERI - M 7769

核融合反応率，高エネルギーイオンの減速及び
トカマク型核融合炉心プラズマのパワーバランス
(付．数値解析プログラム“BAL TOK”のマニュアル)

日本原子力研究所東海研究所核融合研究部

東 稔 達 三

(1978年6月28日受理)

この報告書は，D-T融合反応の反応率係数，高エネルギーで入射された重水素及びD-T反応で生じた3.52 MeV アルファ粒子の減速過程，そしてトカマク炉のパワーバランスについて述べたものである。内容は，主として原研の核融合実験炉(JXFR)の第1次予備設計の段階で得られたものである。付録に，このために開発した数値解析プログラム“BAL TOK”のマニュアルを与えている。

JAERI-M 7769

Reaction-rate coefficients, high-energy ions
slowing-down, and power balance in a Tokamak
fusion reactor plasma

Tatsuzo TONE

Division of Thermonuclear Fusion Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received June 28, 1978)

Described are the reactivity coefficient of D-T fusion reaction, slowing-down processes of deuterons injected with high energy and 3.52 MeV alpha particles generated in D-T reaction, and the power balance in a Tokamak reactor plasma. Most of the results were obtained in the first preliminary design of JAERI Experimental Fusion Reactor (JXFR) driven with stationary neutral beam injection.

A manual of numerical computation program "BAL TOK" developed for the calculations is given in the appendix.

Keywords :

Fusion Reactor, D-T Reaction Rate, Neutral Beam,
3.52 MeV Alpha Particle, Slowing-down, Power Balance,
Tokamak, Program BAL TOK

目 次

1. はじめに	1
2. 核融合反応率	2
2.1 計算モデル	2
2.2 結 果	4
3. 減速過程とエネルギー増倍	8
3.1 減速モデル	8
3.2 入射重水素粒子及び 3.52 MeV アルファ粒子の減速過程	10
3.3 重水素粒子の減速過程におけるエネルギー増倍	10
3.4 減速過程の近似的取扱い	12
4. パワーバランス	22
4.1 $n\tau$ 特性	22
4.2 パワーバランスの計算モデル	24
4.3 プラズマ寸法, $n\tau$ 及び Q 値	29
4.4 実験炉 (JXFR) におけるパワーバランス	30
5. おわりに	45
参考文献	46
付録 数値解析プログラム "BAL TOK" のマニュアル	47

Contents

1. Introduction	1
2. Reaction-rate coefficient	2
2.1 Model	2
2.2 Results	4
3. Slowing-down process and energy multiplication	8
3.1 Model	8
3.2 Slowing-down of injected deuteron and 3.52 MeV alpha particles	10
3.3 Energy multiplication by an injected deuteron	10
3.4 Approximate treatment of slowing-down process	12
4. Power balance	22
4.1 $n\tau$ -performance	22
4.2 Model	24
4.3 Relation among plasma size, $n\tau$ and Q-value	29
4.4 Examples of the results for the JAERI experimental fusion reactor (JXFR)	30
5. Concluding remarks	45
References	46
Appendix A manual of numerical computation program "BALTOK" ...	47

1. はじめに

原研では現在、昭和50年度からトカマク型核融合実験炉の設計研究を進めている⁽¹⁾。第1次予備設計において設計の基本となるプラズマパラメータ（主半径，アスペクト比，磁場の強さ，非円形度，出力等）の選定はまず簡単なモデルで求められた。用いたモデルは，定常状態で空間的な平均量のみを取扱うが，設計の初期において手軽に広範囲のプラズマパラメータをサーベイするに適している。このモデルに基づいた数値解析計算プログラム“BAL TOK”を作成した。このプログラムによってトカマク型核融合炉のプラズマのパワーバランスの予備検討は十分可能と思われる。

この報告書は，これまでの予備設計の段階でBAL TOKを用いて得られた代表的な結果をとりまとめたものであり，核融合反応率係数及びD-Tトカマク型炉のパワーバランス上の基本的な特性を記している。只，我々の実験炉は常時外部加熱に頼った駆動型炉であるため，その特性を特に詳しく示している。この報告書では，まずD-T反応率係数について考察し，続いてD-T反応で発生する3.52 MeVのアルファ粒子及び加熱のために入射された高エネルギーD粒子の減速過程及びそのTCT⁽²⁾結果，そしてさらにパワーバランスの解析を行なって，プラズマ寸法，プラズマ閉込め及び入射パワーの相互関係を示す。これらの一連の方程式はconsistentに数値解析されている。なお不純物効果は低Zの制動放射損失のみを考慮している。

BAL TOKのマニュアルは付録に与えられている。

2. 核融合反応率

2.1 計算モデル

速度分布 $f_1(\vec{v}_1)$ と $f_2(\vec{v}_2)$ を有する互いに異なる粒子1と2の衝突を考える。単位時間あたり、粒子1, 2の1個あたりの衝突断面積すなわち反応率係数は次式で与えられる。

$$\langle \sigma v \rangle = \int d\vec{v}_1 \int d\vec{v}_2 f_1(\vec{v}_1) f_2(\vec{v}_2) v_r \sigma(v_r) \quad (2.1)$$

ここで \vec{v}_r は2つの粒子の相対速度ベクトルで、 σ は衝突断面積である。 \vec{v}_r と v_r は Fig. 2.1 から次式で与えられる。

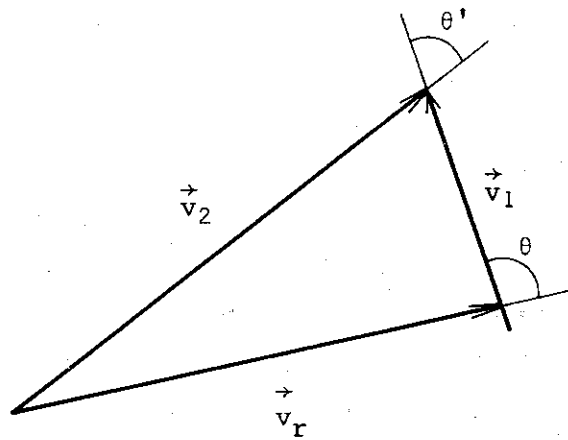


Fig. 2.1 Velocity vectors of the two interacting particles

$$\left. \begin{aligned} \vec{v}_r &= \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \\ v_r &= |\vec{v}_r| = (v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 v_2 \cos \theta')^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

f_1, f_2 が共に温度 T の Maxwell 分布

$$f_m = \left(\frac{m_m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left(- \frac{m_m v_m^2}{2kT} \right), \quad (m=1, 2)$$

で与えられると(2.1)式は

$$\langle \sigma v \rangle_M = \frac{4}{(2\pi m_1)^{1/2}} \left(\frac{m_r}{m_1 kT} \right)^{3/2} \int_0^\infty dU U \sigma(U) \exp \left(- \frac{m_r U}{m_1 kT} \right) \quad (2.4)$$

となる⁽³⁾。但し、

$$m_r = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}, \quad U = \frac{1}{2} m_1 v_r^2 \quad (2.5)$$

単位エネルギー当りの反応率係数は次式で与えられる。

$$R_M(U) = \frac{4}{(2\pi m_1)^{1/2}} \left(\frac{m_r}{m_1 kT}\right)^{3/2} U \sigma(U) \exp\left(-\frac{m_r U}{m_1 kT}\right) \quad (2.6)$$

もし粒子1と2が同じなら(D-D, T-T反応等), 上記の積分では衝突を2度数えるので(2.4)と(2.6)式に1/2を掛ける必要がある。

次に粒子1を単色エネルギーで入射した粒子とすると, 速度分布は

$$f_1(\vec{v}_1) = \delta(\vec{v}_1 - \vec{v}_B) \quad (2.7)$$

で与えられる。但し, \vec{v}_B は入射粒子の速度ベクトルである。標的イオンである粒子2の速度分布に Maxwell 分布を仮定すれば, この場合の核融合反応率係数 $\langle \sigma v \rangle_B$ は次のようにして求まる。

$$\begin{aligned} \langle \sigma v \rangle_B &= \int \delta(\vec{v}_1 - \vec{v}_B) d\vec{v}_1 \int f_2(\vec{v}_2) v_r \sigma(v_r) d\vec{v}_2 \\ &= \int f_2(\vec{v}_2) v_r \sigma(v_r) d\vec{v}_2, \end{aligned} \quad (2.8)$$

但し(2.2)式より

$$v_r = (v_B^2 + v_2^2 - 2v_B v_2 \cos \theta')^{1/2} \quad (2.9)$$

であり, また Fig. 2.1 から次式が成立する。

$$v_2 = (v_B^2 + v_r^2 + 2v_B v_r \cos \theta)^{1/2} \quad (2.10)$$

次に \vec{v}_2 から \vec{v}_r へ変数変換を行うと,

$$\begin{aligned} \langle \sigma v \rangle_B &= 2\pi \left(\frac{m_2}{2\pi kT}\right)^{3/2} \int_0^\infty dv_r v_r^3 \sigma(v_r) \\ &\quad \times \int_0^\pi d\theta \exp\left[-\frac{m_2}{2kT} (v_B^2 + v_r^2 + 2v_B v_r \cos \theta)^{1/2}\right] \sin \theta \\ &= \left(\frac{m_2}{2\pi kT}\right)^{1/2} \cdot \frac{1}{v_B} \int_0^\infty dv_r v_r^2 \sigma(v_r) \exp\left[-\frac{m_2}{2kT} (v_B^2 + v_r^2)\right] \\ &\quad \times \left\{ \exp\left(\frac{m_2}{kT} v_B v_r\right) - \exp\left(-\frac{m_2}{kT} v_B v_r\right) \right\} \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{\sqrt{2\pi kT}} \cdot \frac{\sqrt{m_2}}{m_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{E_B}} e^{-\frac{m_2 E_B}{m_1 T}} \int_0^\infty dU \sqrt{U} \sigma(U) \\ &\quad \times \exp\left(-\frac{m_2 U}{m_1 T}\right) \left\{ e^{2\frac{m_2 \sqrt{E_B}}{m_1 T} \sqrt{U}} - e^{-2\frac{m_2 \sqrt{E_B}}{m_1 T} \sqrt{U}} \right\} \end{aligned} \quad (2.12)$$

但し

$$E_B = \frac{1}{2} m_1 v_B^2 \quad (2.13)$$

でUは(2.5)式で与えられる。このレポートでは、入射粒子としてDイオンを、プラズマ中の標的イオンとしてTイオンを取扱うことにする。

T = 0 のとき

$$\langle \sigma v \rangle_B = \sigma v_B = \sqrt{\frac{2k}{m_1}} \sigma(E_B) \sqrt{E_B} \quad (2.14)$$

である。

反応断面積は、Duane が⁽⁴⁾実験データの fitting から得た次式を用いた。

$$\sigma(E) = \frac{A_2 / \{ 1 + (A_3 E - A_4)^2 \} + A_5}{E \{ \exp(A_1 / E) - 1 \}} \text{ (barn)} \quad (2.15)$$

但し、E は eV 単位で T(D, n) ⁴He の場合の各係数は

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= 1.453 \times 10^3 \\ A_2 &= 5.02 \times 10^7 \\ A_3 &= 1.368 \times 10^{-5} \\ A_4 &= 1.076 \\ A_5 &= 4.09 \times 10^5 \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

で与えられている。

2.2 結果

Fig. 2.2 に D-T 反応断面積を示す。この反応断面積のピーク値は 110 keV の近くで約 5 barns である。 $\langle \sigma v \rangle_M$ と $\langle \sigma v \rangle_B$ は Fig. 2.3 に示す。 $\langle \sigma v \rangle_B$ はビームエネルギー E_B とプラズマイオン温度 T の関数である。図には 5 つの温度値に対して曲線 (実線) が示されている。 $\langle \sigma v \rangle_M$ はマクスウェル分布による 2 重平均の結果、 σ に比べてかなり広がった形になっている。またピークは 70 keV 付近に移っている。一方 $\langle \sigma v \rangle_B$ は、プラズマ温度 T が低い時は σ に似た形をしているが、T が上るにつれてその形は広がっていく。これは ~80 keV 以下の裾の部分が T によって大きく影響を受けるためである。 $E_B > 250$ keV では T による差は無視できる。 E_B が 80~250 keV の領域では、80 keV 以下の領域とは逆に $\langle \sigma v \rangle_B$ は T の上昇によって減少するがあまり大きな変化はない。 $\langle \sigma v \rangle_B$ のピーク位置は σ のそれより高エネルギー側に移っているが T の効果は大きくない。図では $E_B \sim 130$ keV の前後にピークがある。 $\langle \sigma v \rangle_B$ のピーク値は $\langle \sigma v \rangle_M$ のそれよりも 50~80% 大きい。

Fig. 2.3 から言える特徴的なことは、高エネルギー粒子の入射を行うとそれが熱化する間に起こす融合反応率係数 $\langle \sigma v \rangle_B$ は、減速中のかなりのエネルギー区間で $\langle \sigma v \rangle_M$ より大きいこと

である。例えば $T = 7 \text{ keV}$ の場合 $\langle \sigma v \rangle_M = 3.98 \times 10^{-17} \text{ cm}^3/\text{sec}$ であるが、これと同じ $\langle \sigma v \rangle_B$ を与える E_B は $\sim 14 \text{ keV}$ である。従ってピーク値付近の E_B の粒子を入射すると、 T までの殆んど減速区間で $\langle \sigma v \rangle_M$ より高い確率で融合反応を起し、その結果かなりのエネルギー増倍が期待出来る。但し、エネルギー増倍の最適性は断面積だけでは議論できず、プラズマ温度が減速に及ぼす効果を考慮する必要がある。これについては3.3節で述べる。

Fig. 2.4 は、単位エネルギー当りの反応率係数 (2.6式) を重水素のエネルギー (2.5) 式 の関数として、プラズマ温度が 1, 5, 10 keV のそれぞれに対して図示したものである。Maxwell 分布の高エネルギー域の反応が $\langle \sigma v \rangle_M$ に寄与する割合が大きい。図の反応率係数は 1 に規格化してある。全反応率係数 $\langle \sigma v \rangle_M$ の丁度半分の寄与を与えるエネルギー点、即ち

$$\int_0^{E_m} R_M(U) dU = \frac{1}{2} \langle \sigma v \rangle_M \quad (2.17)$$

を満す E_m を Table 2.1 に示す。 E_m はほぼ分布のピーク値に近い。

Table 2.1 Energy point E_m making a half contribution to $\langle \sigma v \rangle_M$

Plasma temperature (keV)	1	3	5	7	10	20
E_m (keV)	12.2	27.2	39.3	50.2	62.3	90.0
$\langle \sigma v \rangle_M$ (cm^3/s)	5.49×10^{-21}	1.71×10^{-18}	1.29×10^{-17}	3.98×10^{-17}	1.09×10^{-16}	4.25×10^{-16}

反応率を上げて核融合反応出力の増大を図るにはイオン温度を上げる必要があるが、一方 β 値に制限があるためにむやみに温度を上げることはできない。後に示すように β 値が与えられると出力は $\langle \sigma v \rangle / T^2$ に比例することが分かる。Fig. 2.5 に $\langle \sigma v \rangle_M / T^2$ を示す。図から $\langle \sigma v \rangle_M / T^2$ の最高値は $T \sim 14 \text{ keV}$ の温度点にあることが分かる。同図には $\langle \sigma v \rangle_M / T$ も示してある。この量は出力 (あるいはアルファ加熱量) とプラズマエネルギー (イオンと電子温度が等しい場合) の比に比例しているパラメーターである。

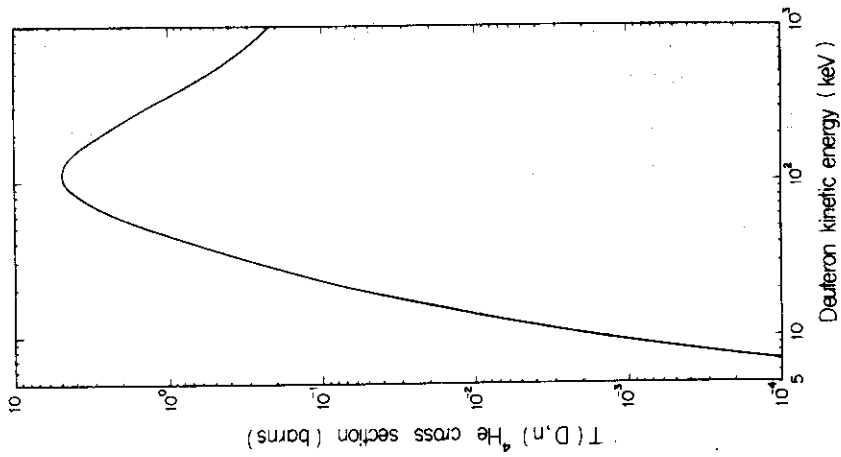


Fig. 2.2 $T(D,n)^4\text{He}$ cross section

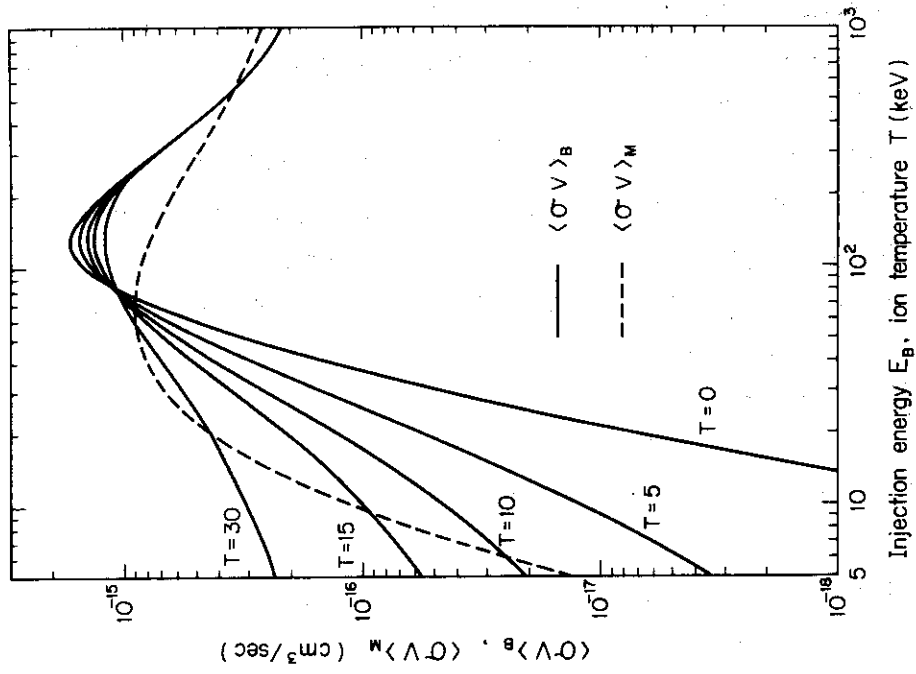


Fig. 2.3 Reaction-rate coefficients for $T(D,n)^4\text{He}$
 $\langle\sigma v\rangle_M$: double-Maxwellian averaged
 $\langle\sigma v\rangle_B$: beam-Maxwellian averaged

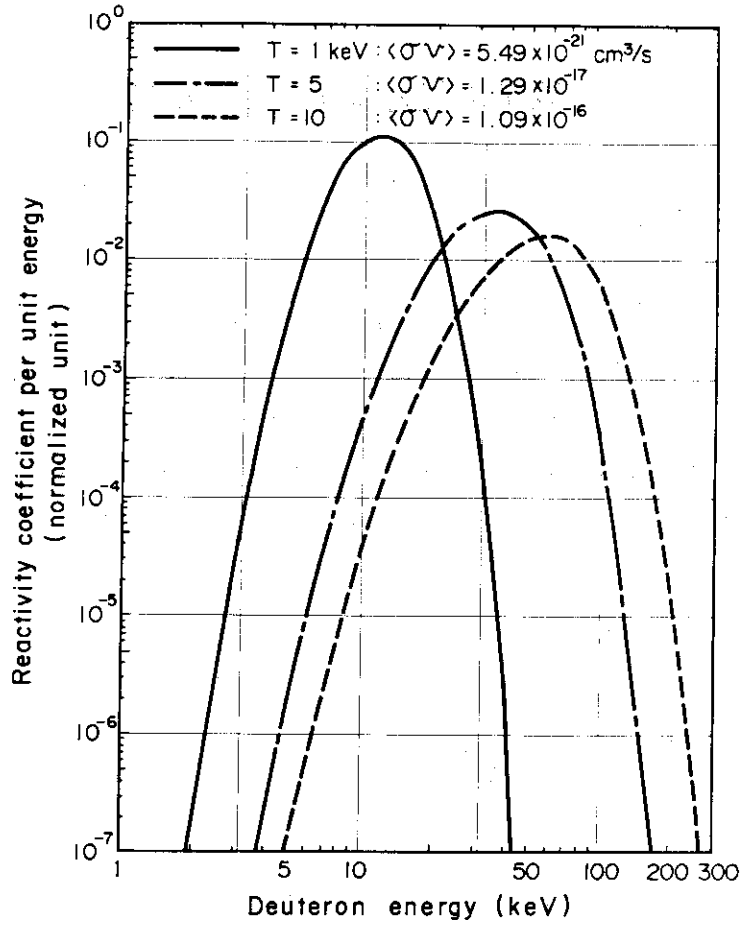


Fig. 2.4 Reactivity coefficient per unit energy of D-T reaction

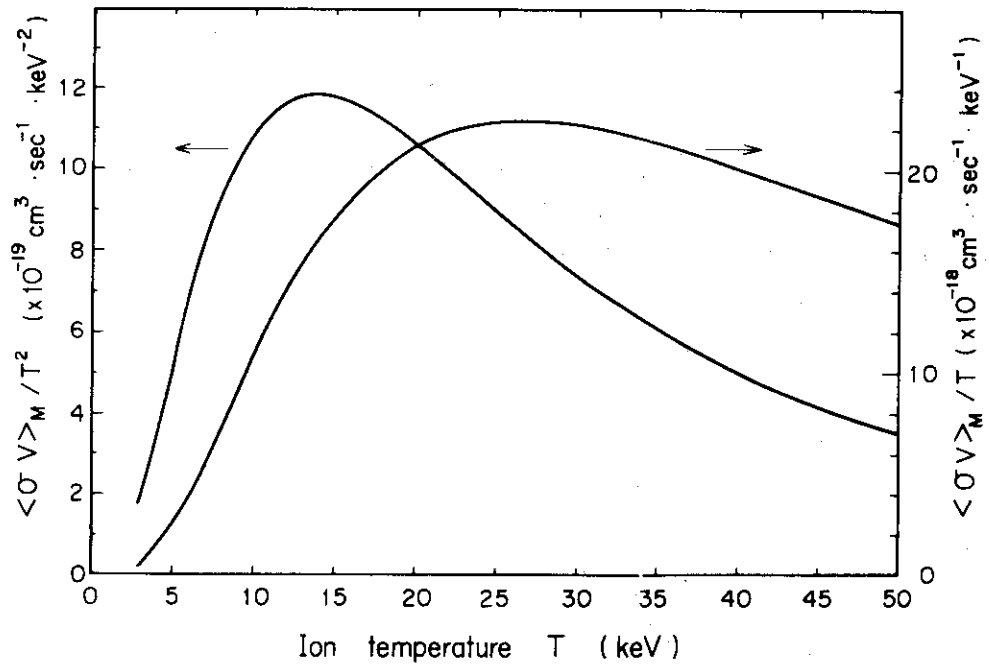


Fig. 2.5 D-T reaction parameters as a function of ion temperature

3. 減速過程とエネルギー増倍

3.1 減速モデル

無限プラズマ系を考え、イオン化された入射粒子とアルファ粒子は完全にプラズマ中に補捉されるとし、field particle の速度分布は Maxwell 分布を仮定する。これらの仮定の下で、field particle j (電子, D, T, アルファ, 不純物粒子) による入射粒子または高速アルファ粒子1個あたりの平均的なエネルギー損失率は、Fokker-Planck の減速モデルに基づく次式で表わされる⁽⁵⁾。

$$\left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle_j = \frac{1}{\tau} \frac{A_x^{3/2} T_e^{3/2}}{\sqrt{A_e} \sqrt{E} n_e \ln A_e} \frac{n_j Z_j^2 \ln A_j}{A_j} x_j F(x_j) \quad (3.1)$$

但し

$$\frac{1}{\tau} = 8 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{m_e} Z_x^2 e^4 n_e \ln A_e}{m_x (kT_e)^{3/2}} = 1.501 \times 10^{-13} \frac{Z_x^2 n_e \ln A_e}{A_x T_e^{3/2}} \text{ (sec}^{-1}\text{)} \quad (3.2)$$

$$F(x_j) = \frac{1}{x_j} \int_0^{x_j} x e^{-x^2} dx - \left(1 + \frac{A_j}{A_x}\right) e^{-x_j^2} \quad (3.3)$$

$$x_j = \sqrt{\frac{A_j E}{A_x T_j}}$$

$$A_j = \frac{m_j}{m_H} \quad (3.4)$$

ここで m_j と m_H は粒子 j と水素原子の質量(g), superscript あるいは subscript の x は高速イオン (D および アルファイオン) を表す。E は高速イオンのエネルギー, T_j は粒子 j の温度, Z は荷電量である。エネルギーと温度は keV, 密度 n は cm^{-3} の単位である。

Coulomb logarithm $\ln A_j$ は次式で与えられる⁽⁵⁾。

$v_r \ll Z_x Z_j \alpha c$ の場合 (古典領域)

$$\ln A_j = \ln \sqrt{\left(\frac{\lambda_D}{\rho_\perp}\right)^2 + 1} \quad (3.5)$$

$v_r \gg Z_x Z_j \alpha c$ の場合 (量子力学領域)

$$\ln A_j = \ln \sqrt{\left(\frac{\lambda_D}{\rho_\perp}\right)^2 + 1} + \ln \frac{2\alpha c}{v_r} - \frac{1}{2} \quad (3.6)$$

但し, λ_D は全体のデバイ長, ρ_2 は散乱角 (重心系) が 90° に等しい場合の衝突パラメータ, v_r

は x と j 粒子の平均的な相対速度, c は光速, α は fine structure constant で $1/137$ の値をとる。 λ_D , ρ および v_r は次式で与えられる。

$$\frac{1}{\lambda_D^2} = \sum_j \frac{1}{\lambda_j^2} \tag{3.7}$$

$$\lambda_j = \sqrt{\frac{kT_j}{4\pi n_j Z_j^2 e^2}} = 2.351 \times 10^4 \sqrt{\frac{T_j}{Z_j^2 n_j}} \text{ (cm)} \tag{3.7}$$

$$\rho = \frac{Z_x Z_j e^2}{m_r v_r^2} = 1.440 \times 10^{-10} \frac{Z_x Z_j}{\left(\sqrt{\frac{2A_r E}{A_x}} - \sqrt{\frac{2A_r T_j}{A_j}} \right)^2} \text{ (cm)} \tag{3.8}$$

$$v_r = \sqrt{1.6021 \times 10^{-9} \left| \sqrt{\frac{2E}{m_x}} - \sqrt{\frac{2T_j}{m_j}} \right|} \text{ (cm)} \tag{3.9}$$

(3.5) と (3.6) 式の使い分けは, 量子力学効果が零になる v_r 値, 即ち $v_r^0 = 2\alpha c/\sqrt{e}$ と v_r との比較によって行う。また $T_j = 0$ のとき $\lambda_D = \lambda_e$ とする (λ_j は粒子 j のデ바이長)。

高速イオンがエネルギー E_0 から E まで減速する間に粒子 j に与えるエネルギーは

$$U_j^x = \int_0^{E_0} dE \left\{ \left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle_j^x / \left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle^x \right\} \tag{3.10}$$

である。但し

$$E_0 = \begin{cases} E_B & \text{for injected particle} \\ E_a = 3.52 \text{ MeV} & \text{for alpha particle} \end{cases} \tag{3.11}$$

被積分関数の分母は全 field-particle によるエネルギー損失率である。即ち,

$$\left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle^x = \sum_j \left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle_j^x \tag{3.12}$$

エネルギー E まで減速されるに要する時間 (sec) は次式で与えられる。

$$\tau_{sx} = - \int_E^{E_0} \frac{dE}{\left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle^x} \tag{3.13}$$

減速イオンの τ_{sx} の時間における平均のエネルギーは次式で定義される。

$$\bar{E}_x = \bar{E}_x = \frac{1}{\tau_{sx}} \int_0^{\tau_{SD}} E dt = - \frac{1}{\tau_{sx}} \int_E^{E_0} E \frac{dE}{\left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle^x} \tag{3.14}$$

また入射粒子の τ_{SD} 間の平均の融合反応率は

$$\begin{aligned} \langle \overline{\sigma v} \rangle_B &= \frac{1}{\tau_{SD}} \int_0^{\tau_{SD}} \langle \sigma v \rangle_B dt \\ &= - \frac{1}{\tau_{SD}} \int_E^{E_B} \frac{\langle \sigma v \rangle_B}{\left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle_D} dE \end{aligned} \quad (3.15)$$

で与えられる。

3.2 入射重水素粒子及び 3.52 MeV アルファ粒子の減速過程

Fig. 3.1 と 3.2 に電子, D, T による入射粒子とアルファ粒子のエネルギー損失率をそれぞれ示す。図に示した例は $n_e = 1.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ で D と T の混合比は 1 : 1 である。(3.1) 式に示されるように、エネルギー損失率はデバイ長を通じて $\ln A_j$ に現われる弱い密度依存性を除けば、粒子 j の密度に比例する。従ってエネルギー損失率の曲線の形即ち減速粒子のエネルギーに対する依存性は、違った密度に対しても殆んど変わらない。

高速イオンは減速していくにつれて、標的イオンによるエネルギー損失率は増大して最高点に達し、それ以下のエネルギーでは急激に減少する。標的イオンの温度効果はエネルギー損失率の最高値付近で著しく、高エネルギー領域では無視できる程小さい。一方電子によるエネルギー損失は減速エネルギーと共に単調に減少する。電子温度による影響はイオンの場合に較べて大きく、エネルギーの増大と共に著しくなる。全 field-particle によるエネルギー損失は温度の増大に伴って減少する(高エネルギー領域では電子が、低エネルギー領域ではイオンによる効果が主に寄与している。)

Figs. 3.3 と 3.4 に D とアルファ粒子の減速時間と field-particle に与えるエネルギーを示す。D の入射エネルギー E_B が 200 keV の場合、 $T = 7 \text{ keV}$ の場合熱化するまでに電子に与えられるエネルギーは全体の 1/3、 $T = 15 \text{ keV}$ になると約 1/6 になる。 $E_B = 300 \text{ keV}$ の場合、入射粒子が熱化するまでに電子とイオン(D+T) に与えるエネルギーはプラズマ温度 $T = 7 \text{ keV}$ の場合はほぼ等しい。温度が $T = 15 \text{ keV}$ に増大すると、入射エネルギーが移る量は D, T, 電子の順に小さくなり、電子に与えられたエネルギーは全体の約 1/4 に過ぎない。アルファ粒子の場合は (Fig. 3.4) 逆にその大部分のエネルギーが電子に与えられる。このような電子に与えられるエネルギー量の違いは、電子によるエネルギー損失率が減速イオンのエネルギーおよびプラズマ温度によって大きく影響を受ける(特に高エネルギー側で)ことから理解できる (Figs. 3.1 と 3.2)。熱化までの減速時間はプラズマ温度の増大と共に長くなる。これは温度が高くなると Figs. 3.1 と 3.2 に示されるようにエネルギー損失率が減少するためである。

3.3 重水素粒子の減速過程におけるエネルギー増倍

エネルギー E_B で入射された D 粒子が E_{th} まで減速するまでに、標的核 T との融合反応で発生

するD粒子1個あたりのエネルギーは

$$E_F = E_f n_t \int_0^{\tau_{SD}} \langle \sigma v \rangle_B dt = E_f n_t \int_{E_{th}}^{E_B} \frac{\langle \sigma v \rangle_B}{\left[-\left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle^D \right]} dE \quad (3.16)$$

である。ここで $E_f = 17.6$ MeV (D-T 反応による発生エネルギー), n_t は標的のTイオンの密度である。 E_{th} としては $\frac{3}{2} T_e$ をとる。この値は標的核が電子の場合の減速エネルギーの臨界値 (critical value) E_{cr} にほぼ等しい。 E_{cr} は、減速イオンと field-particle の間にエネルギー交換が起らないエネルギー値である。即ち (3.1) 式において $F(x_j) = 0$ から求まる。標的核がイオンの場合 E_{cr} は $\frac{3}{2} T_i$ より小さくなる。 $T_e > T_i$ の場合、 $\frac{3}{2} T_i < E < \frac{3}{2} T_e$ における減速イオンによるエネルギー授受を無視する。ここでは $T_e = T_i$ と $T_i = 0$ の場合の結果のみを示す。

入射粒子によるエネルギー増倍率は次式で定義される。

$$Q_B = \frac{E_F}{E_B} \quad (3.17)$$

Figs. 3.5 ~ 3.6 に Q_B を E_B の関数として示す。電子、イオン温度およびTイオンの存在率をパラメータにしている。図に示した例は $n_e = 1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ の場合であるが、プラズマ密度が Q_B 値に及ぼす効果は小さく、密度が1桁増加しても Q_B は数%増えるだけである。理由は、(3.16) 式の $n_t / \left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle^D$ は (3.1) 式から分かるように Coulomb logarithm の弱い密度依存性を除けば n_t / n_e の関数となり、密度の絶対値に依存しなくなることから理解できる。

$T_e = T_i$ の場合、プラズマ温度の増大と共に Q_B も大きくなり、また $T_i = 0$ の場合 Q_B は T_e と共に大きくなる。これは、 T_e と T_i の増大に伴う減速時間と $\langle \sigma v \rangle_B$ の効果が大きいと考えられる。次に T_e を一定にして T_i を大きくした場合、 Q_B 値は必ずしも大きくならない。 $T_e = 15$ keV で $T_i = 0$ と 15 keV の場合の値を比較すると (Fig. 3.6(d)), E_B が ~ 200 keV より大きくなると Q_B は T_i の増大によって若干小さくなる。これは、Fig. 3.1 から分るように、イオンによる減速率の温度効果は電子程大きくないため、イオン温度増大による減速時間の増大はそれ程大きくない。一方 Fig. 2.3 に示されるように $\langle \sigma v \rangle_B$ はそのピーク値付近でイオン温度効果は負になっており、この効果が減速時間の増大による Q_B への正の寄与を上まわり、結果として Q_B が減少すると考えられる。

Q_B 値はTイオンの存在率にほぼ比例するが、Tイオンの減少率より若干大きい率で減る。これは Fig. 3.1 にみられるようにDイオンのエネルギー損失率の方がTイオンより大きく、減速時間はDイオンの存在率が高い程短くなるためである。例えばTイオンが100%から50%に減少した場合、 Q_B 値はもとの値の半分より10~15%さらに小さくなる。

Figs. 3.7 と 3.8 は不純物が存在する場合の Q_B 値を示したものである。不純物は carbon(C) を仮定した。C が2%存在すると Q_B は約10%近く減少する。主な原因は不純物量に相当して標的核のTが減少するためである (不純物量が相当増大しても入射粒子の減速時間は僅か減少するだけである)。不純物が3%に増大しても Q_B の変化率は温度によらずほぼ一定である。また

Q_B と不純物量の関係は殆んど一直線になる (Fig. 3.7)。

3.4 減速過程の近似的取扱い

(3.1) 式から標的核と減速イオンの速度の比 x_j ((3.3) 式) の値によって近似式が導ける⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

$x_j \leq 1$ の場合

$$x_j F(x_j) \sim -\frac{A_j}{A_x} x_j + \left(\frac{2}{3} + \frac{A_j}{A_x}\right) x_j^3 \quad (3.18)$$

粒子 j が電子のとき $A_j/A_x \ll 1$ だから

$$x_j F(x_j) \sim \frac{3}{2} x_j^3 \quad (3.19)$$

$x_j > 1$ の場合

$$x_j F(x_j) \sim 1 - 2x_j \frac{e^{-x_j^2}}{\sqrt{\pi}} \left(1 + \frac{A_j}{A_x}\right) \quad (3.20)$$

$x_j \gg 1$ で $A_j/A_x \sim 1$ のとき

$$x_j F(x_j) \sim 1 \quad (3.21)$$

標的核が電子の場合、高速イオンの全てのエネルギー域で $x_j \ll 1$ だから (3.19) 式が適用できる。標的核が 7 keV の D の場合、 $x_j \geq 1$ になる減速エネルギーは、高速 D 粒子とアルファ粒子に対してそれぞれ 7, 14 keV である。減速エネルギーが 100 keV のとき、高速 D とアルファ粒子の x_j はそれぞれ 3.8, 2.7 である。標的核が T の場合はこれらの値は D の場合よりもそれぞれ A_T/A_D と $\sqrt{A_T/A_D}$ だけ大きくなる。従って標的イオン核に対しては (3.21) 式がかなり良い近似式として適用できよう。

近似式 (3.19) と (3.21) を用いて Coulomb logarithm のエネルギー依存性を無視すると (3.12) 式は近似的に次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle_x &= \sum_{j \neq e} \left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle_j^x + \left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle_e^x \\ &= -\frac{2}{3} \frac{1}{\tau} \left(\frac{E_c^{3/2}}{E} + E \right) \end{aligned} \quad (3.22)$$

但し E_c は

$$\sum_{j \neq e} \left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle_j^x = \left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle_e^x \quad (3.23)$$

を満足する。即ち E_c は、全イオンによるエネルギー損失率と電子によるそれとが等しくなる点の減速イオンのエネルギーで次式で与えられる。

$$E_c = \left[\frac{3\sqrt{\pi}}{4} \frac{(A_x T_e)^{3/2}}{\sqrt{A_e}} \frac{1}{n_e \ell n A_e} \sum_{j \neq e} \frac{n_j Z_j^2 \ell n A_j}{A_j} \right]^{2/3} \quad (3.24)$$

$$= 1.48 A_x T_e \left[\frac{1}{n_e \ell n A_e} \sum_{j \neq e} \frac{n_j Z_j^2 \ell n A_j}{A_j} \right]^{2/3}$$

(3.13) 式で与えられるエネルギー E までの減速時間は (3.22) 式を用いて

$$\tau_{sx}^* = \tau \ell n \frac{E_0^{3/2} + E_c^{3/2}}{E^{3/2} + E_c^{3/2}} \quad (3.25)$$

となる。

上記の近似式の精度は、Coulomb logarithm のエネルギー依存性を無視した点を除けば、標的イオンに対する近似式 (3.21) の精度に依存する。 $x_j \gg 1$ の成立域は減速イオンのエネルギー値に依存し、低エネルギー域では (3.21) 式の精度は十分でなくなるが、高速イオンの初期エネルギーが十分高いものであれば平均的に精度が高くなる。

広範囲のパワーバランスのパラメータサーベイを行う場合、高速イオンの減速過程をその度毎に Fokker-Planck 方程式に従って数値計算すると時間がかかりかかる (後に示す各バランス式を満す解を求めるには、与えた収束条件下で減速過程の計算を含めた繰り返し計算が必要)。従って、減速過程に対して精度の高い近似法を併用してパワーバランスの解析を行うことが望ましい。

入射粒子のエネルギーと field particle の温度が与えられると、現モデルの減速過程は粒子密度によって決まる。ここで用いる近似法は、一度あるプラズマ組成に対して Fokker-Planck の式を用いて減速計算を行い、その組成が変化した場合に適用する。即ち、各種の粒子密度の変化に伴う減速時間 (τ_{SD} , $\tau_{s\alpha}$), Q_B と $\langle \bar{\sigma v} \rangle_B$ の評価を近似式によって行う。但し、不純物の密度はパラメータにしてパワーバランスの解析を行い、近似式を適用する場合は不純物のプラズマ中の存在比 (n_i/n_e) は一定でその他の粒子の存在比が変化する。

プラズマ組成 A において Fokker-Planck の式から求めた減速時間を $\tau_{sx}(A)$ とし、近似式 (3.25) から得たものを $\tau_{sx}^*(A)$ とする。同様に組成 B における (3.25) 式の値を $\tau_{sx}^*(B)$ とする。即ち

$$\tau_{sx}^*(A) = \tau(A) \ell n \frac{E_0^{3/2} + E_c(A)^{3/2}}{E_{th}^{3/2} + E_c(A)^{3/2}} \quad (3.26)$$

$$\tau_{sx}^*(B) = \tau(B) \ell n \frac{E_0^{3/2} + E_c(B)^{3/2}}{E_{th}^{3/2} + E_c(B)^{3/2}} \quad (3.27)$$

上式の精度は Coulomb logarithm の値の選定と減速イオンのエネルギーに依存するが、密度変化に対するその定性的変化の精度は高いと考えられる。そこで組成 B における減速時間を

$$\tau_{sx}^+(B) = \tau_{sx}(A) \frac{\tau_{sx}^*(B)}{\tau_{sx}^*(A)} \quad (3.28)$$

によって求める。

上の関係式に Q_B と $\langle \overline{\sigma v} \rangle_B$ の式 (3.17) と (3.15) を代入すると、組成 B における Q_B は

$$Q_B^+(B) = Q_B(A) \frac{\tau_{SD}^+(A)}{\tau_{SD}^+(B)} \frac{n_t(B)}{n_t(A)} \frac{\langle \overline{\sigma v} \rangle_B^+(B)}{\langle \overline{\sigma v} \rangle_B^+(A)} \quad (3.29)$$

で近似的に与えられる。但し

$$\langle \overline{\sigma v} \rangle_B^+(B) = \frac{1}{\tau_{SD}^+(B)} \int \frac{\langle \sigma v \rangle_B dE}{\langle \frac{dE}{dt} \rangle_D^+(B)} \quad (3.30)$$

である。(3.21) 式を用いると組成 B のエネルギー損失率は組成 A のそれと次の関係がある。

$$\langle \frac{dE}{dt} \rangle_D^+(B) = \langle \frac{dE}{dt} \rangle_D^+(A) \left[1 + \Delta \frac{E_c(A)^{3/2} \sqrt{E}}{E + E_c(A)^{3/2} \sqrt{E}} \right] \quad (3.31)$$

$$= \frac{1}{6} \left[\frac{n_t}{n_e}(A) - \frac{n_t}{n_e}(B) \right] \frac{\ell n A_t}{\ell n A_e} \left/ \left[\sum_{j \neq e} \frac{Z_j^2 n_j \ell n A_j}{A_j} \right] / n_e \ell n A_e \right] \quad (3.32)$$

(3.32) 式の分子では入射粒子とアルファ粒子の密度は小さいので無視している。いま組成 A として D, T 粒子の存在比が 50% - 50% の場合を考えると、 $\Delta \leq 0.2$ である。不純物がなくて組成 B が 100% T 粒子の場合で $\Delta \approx 3.2$ である。さらに (3.31) 式の Δ にかかっている項は 1 より小さく、平均的にみれば [] 内の第 2 項は 10^{-1} の order である。(3.30) 式では分母分子にこの項が現われるので [] 内の第 2 項の寄与はさらに小さくなって 10^{-2} の order になる。そこで近似的に

$$\langle \overline{\sigma v} \rangle_B^+(B) \approx \langle \overline{\sigma v} \rangle_B^+(A) \quad (3.33)$$

と表わせる。従って

$$Q_B^+(B) \approx Q_B(A) \frac{\tau_{SD}^+(B)}{\tau_{SD}^+(A)} \frac{n_t(B)}{n_t(A)} \quad (3.34)$$

となる。

これらの近似式の精度の検討例を簡単に述べる。組成 A は 50% D - 50% T, 組成 B は 100% T で入射粒子エネルギーは 200 keV である。プラズマ温度が 7 keV の場合、 $\tau_{s\alpha}^+$ の誤差は ~ 0.1%, τ_{SD}^+ と $\langle \overline{\sigma v} \rangle_B^+$ は ~ 0.2%, Q_B^+ は ~ 0.4% の誤差で求められた。プラズマ温度が 15 keV の場合、 $\tau_{s\alpha}^+$ は ~ 0.4%, τ_{SD}^+ , $\langle \overline{\sigma v} \rangle_B^+$ はそれぞれ 1 ~ 2% の誤差で得た。これらの例は不純物の存在しない場合であるが、不純物が存在すると D, T の存在比が相対的に小さくなる

ので誤差はさらに小さくなる。また入射エネルギーが大きくなると精度が上る。結論的に言えば以上の近似式はパラメータサーベイ計算においては十分使用に耐えらるゝと考ゑられる。

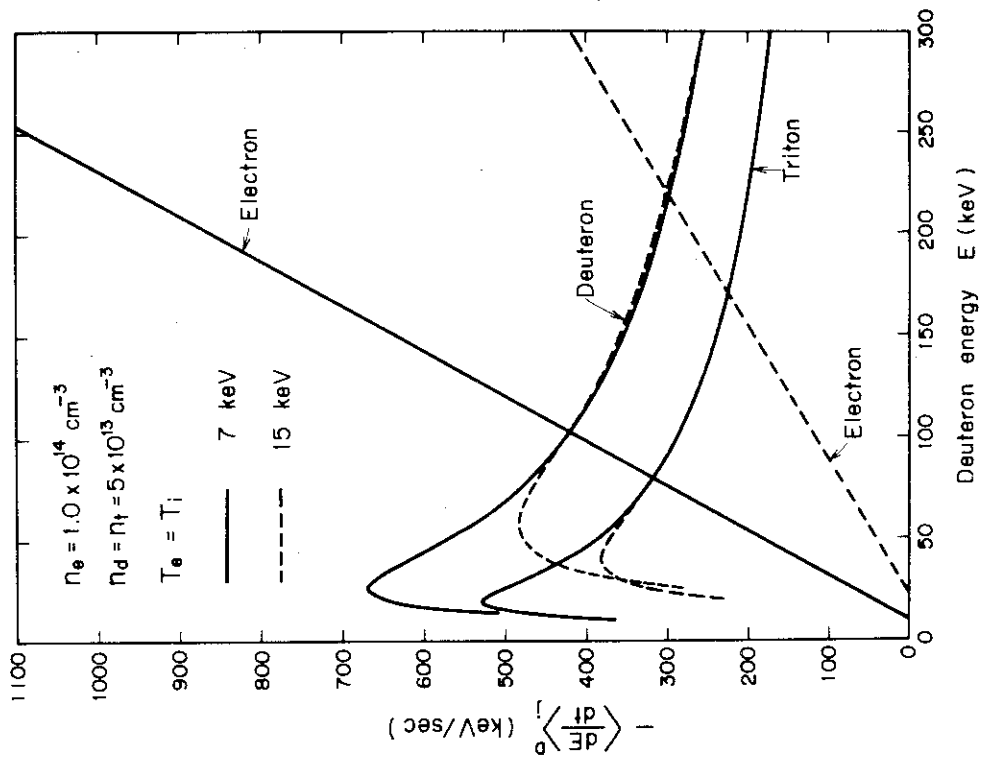


Fig. 3.1 Rate of change of kinetic energy for an injected deuteron

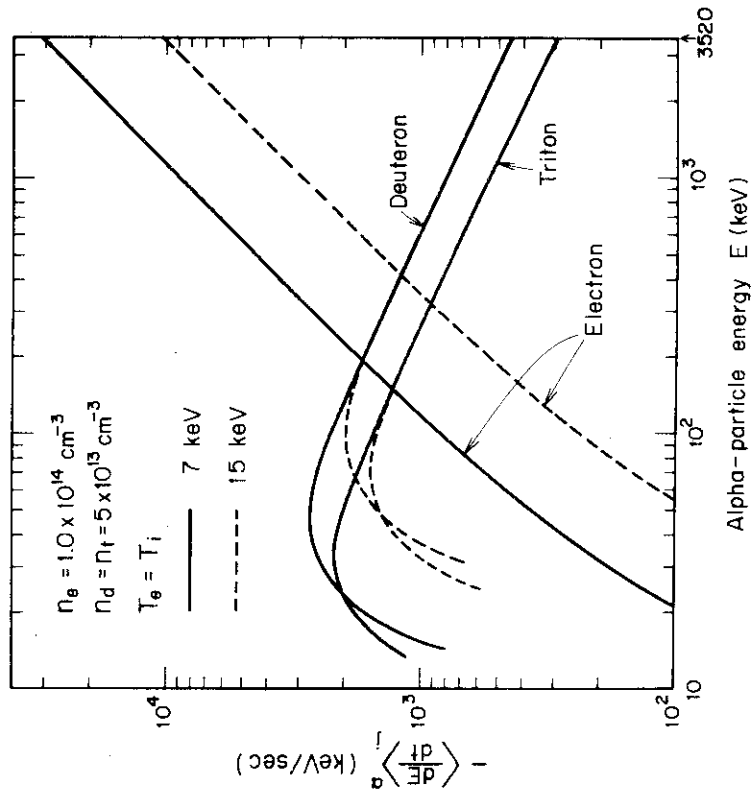


Fig. 3.2 Rate of change of kinetic energy for the alpha particle generated by D-T reaction

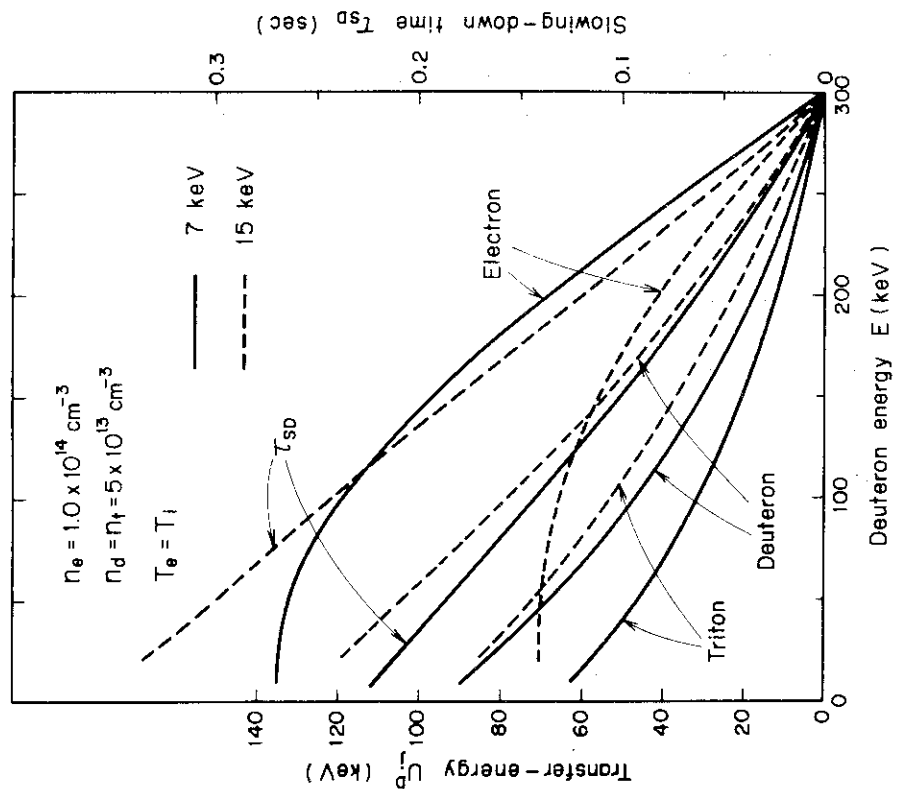


Fig. 3.3(b) Energy transfer and slowing-down time for the deuteron injected with 300 keV

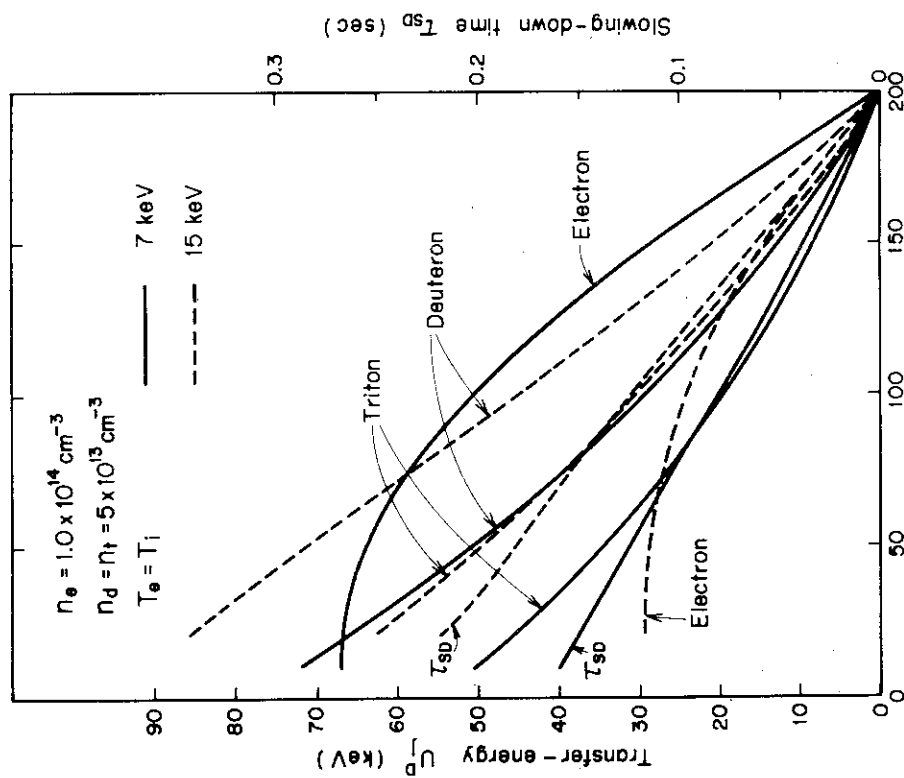


Fig. 3.3(a) Energy transfer and slowing-down time for the deuteron injected with 200 keV

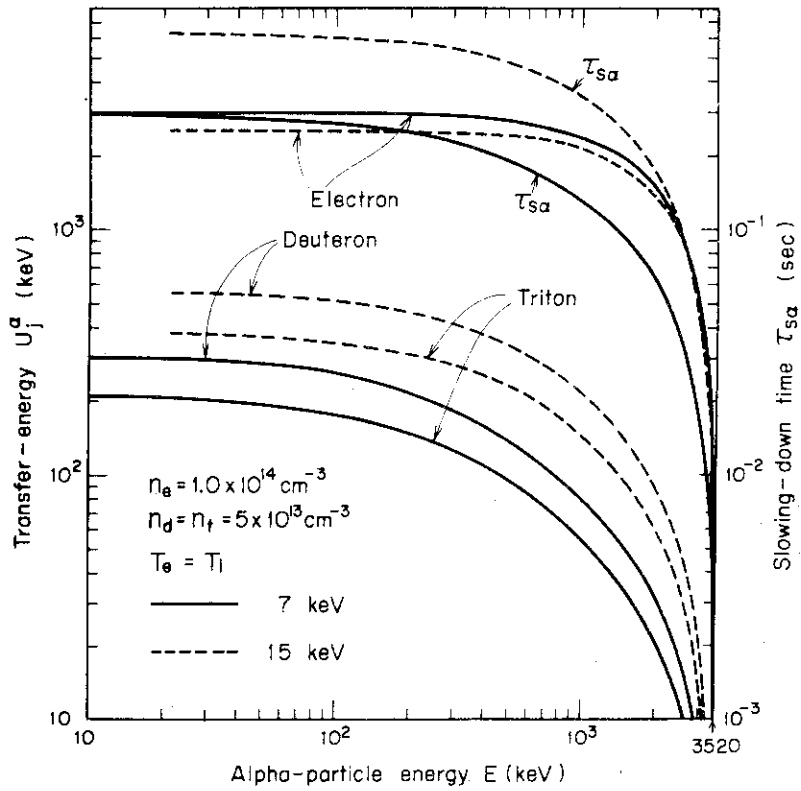


Fig. 3.4 Energy transfer and slowing-down time for the alpha particle generated by D-T reaction

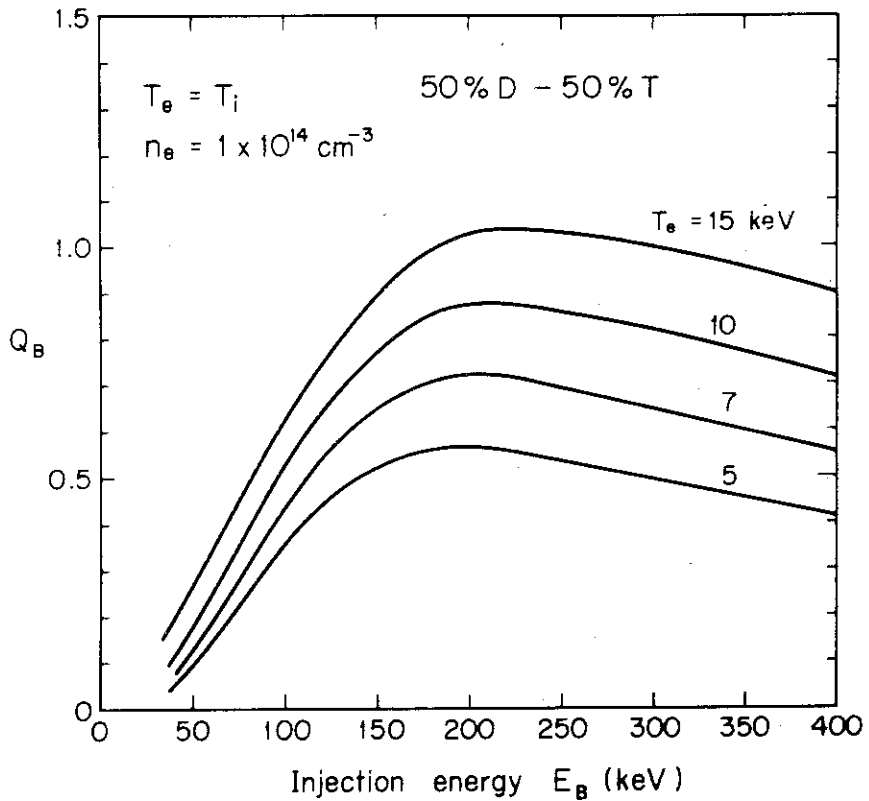


Fig. 3.5 Energy-multiplication factor as a function of injection energy

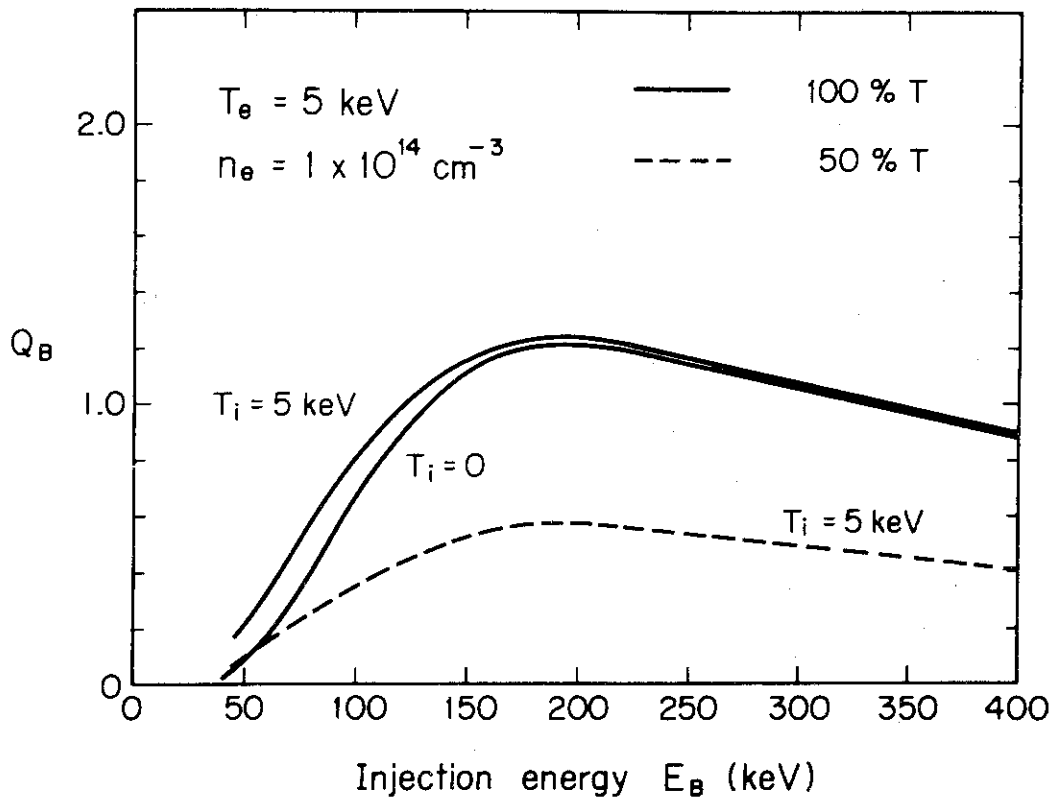


Fig. 3.6(a) Energy-multiplication factor for $T_e=5 \text{ keV}$

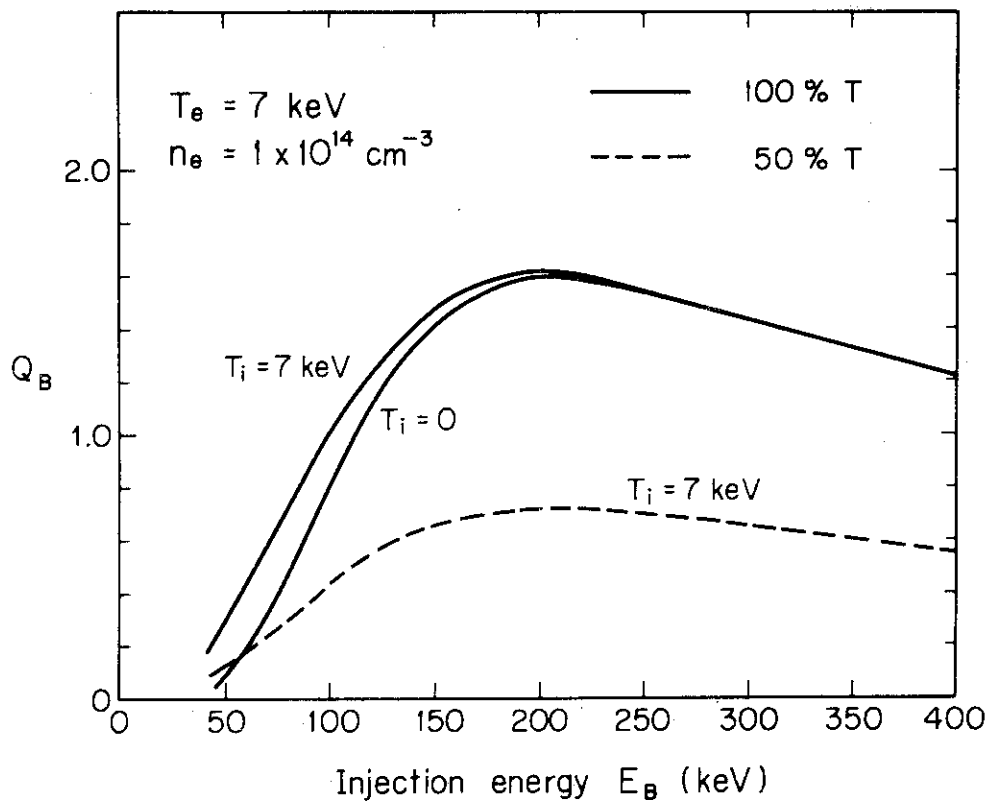


Fig. 3.6(b) Energy-multiplication factor for $T_e=7 \text{ keV}$

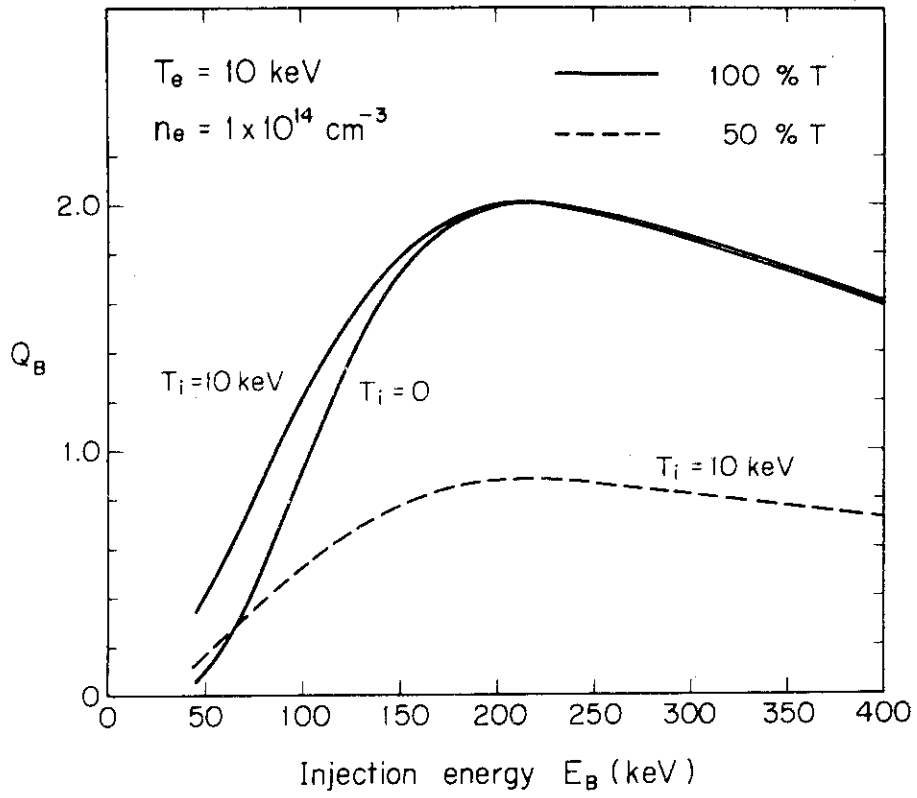


Fig. 3.6(c) Energy-multiplication factor for $T_e=10 \text{ keV}$

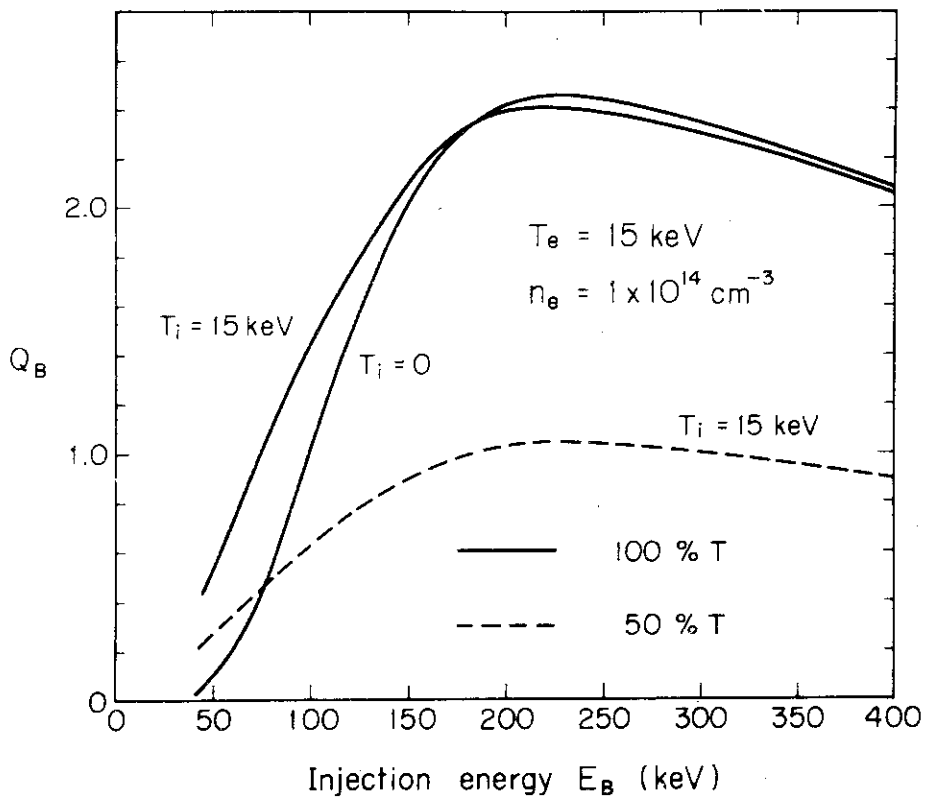


Fig. 3.6(d) Energy-multiplication factor for $T_e=15 \text{ keV}$

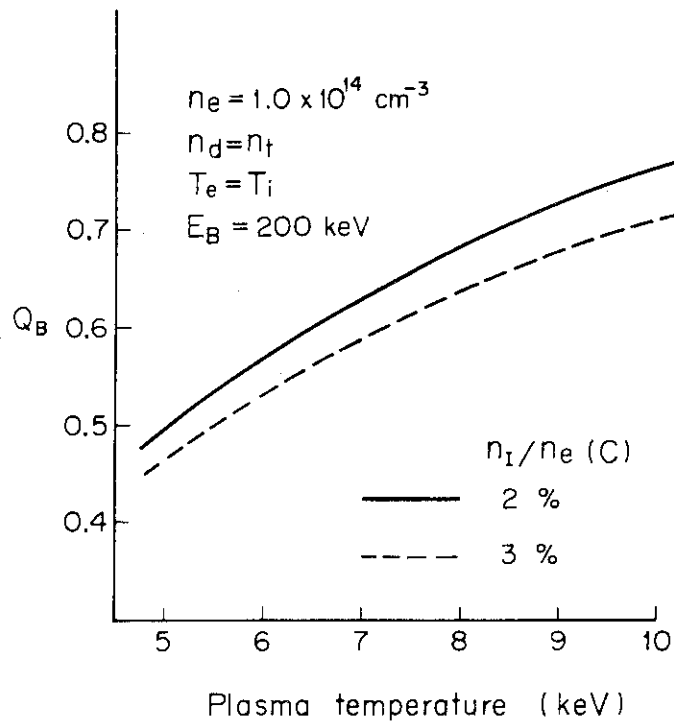


Fig. 3.7 Energy-multiplication factor as a function of plasma temperature in case of impurity present

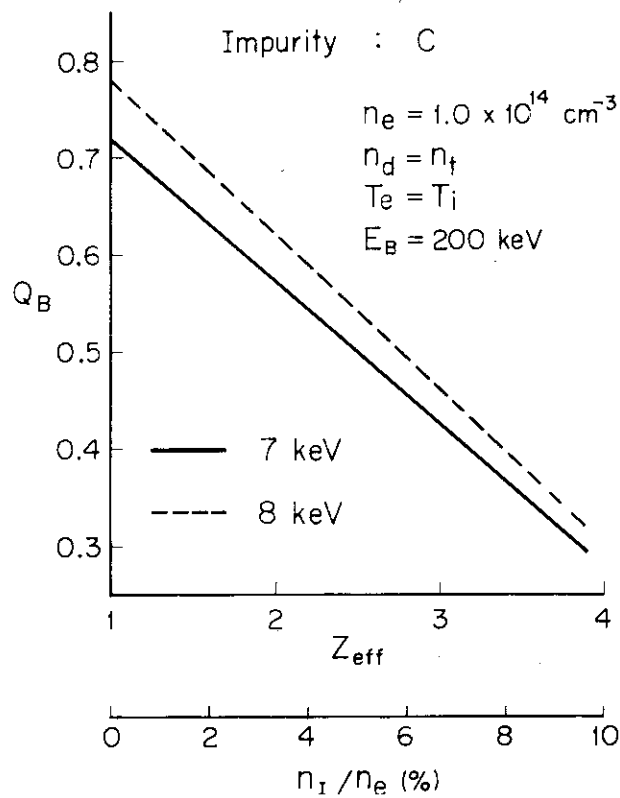


Fig. 3.8 Energy-multiplication factor as a function of Z_{eff}

4. パワーバランス

4.1 $n\tau$ 特性

パワーバランスの詳細な解析に入る前にこの節では、簡単なモデルでプラズマ温度と $n\tau$ の特性を示しておく。放射損失は制動放射のみ考慮し、プラズマは燃料イオンと電子のみからなるとし不純物は考えない。また TCT 効果は考えない。この場合、 $n\tau$ は次式で与えられる。

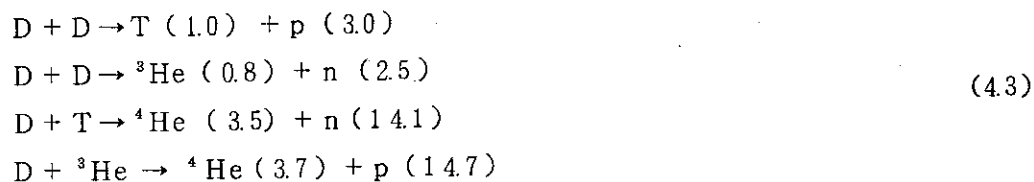
$$n\tau = \frac{3T}{\frac{1}{4} \langle \sigma v \rangle_M (E_f + E_\alpha Q_F) / Q_F - 3.34 \times 10^{-15} T^{1/2}} \quad (\text{cm}^{-3} \cdot \text{s}) \quad (4.1)$$

T はプラズマ温度 (keV), E_f は融合反応による発生エネルギー (keV) でエネルギー増倍率 Q_F は、

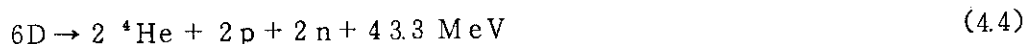
$$Q_F = \frac{P_F}{P_I} \quad (4.2)$$

で与えられる。 P_I は入射パワーで P_F は融合反応出力である。

Fig. 4.1に、自己点火条件、Lawson 条件 ($Q_F = 2$) 及び $Q_F = 1$ の $n\tau$ - T 線図を示す。 $Q_F = 2$ はシステムの変換効率が $1/3$ の場合に相当する。 $Q_F = 1$ は入射パワーと融合反応出力が等しい場合で臨界プラズマ条件と呼ばれることもある。同図には D-D および catalized D-D のプラズマの場合も示してある。catalized D-D 炉とは、D-D 反応の生成物である T と ^3He を D と連鎖反応させて、D-D 炉における高い $n\tau$ 値を下げることを狙った考えである。catalized D-D 炉では通常、D-T と D- ^3He の反応率はそれぞれ T, ^3He の生成率に等しくなるように燃料供給 (特に ^3He の再注入) が調整される。各反応を示す。



2つの D-D 反応はほぼ同じ確率で起る。() 内の数値はエネルギー (MeV) を示す。結局 catalized D-D では



となる。図にみられるように catalized D-D 炉にすれば要求される $n\tau$ 値はかなり下がるが、D-T 炉に較べるとそのプラズマ条件はまだ相当に厳しい。以後は全て D-T 炉に対する結果を示す。

Fig. 4.2は、与えられた Q_F における $n\tau$ の到達度を自己点火の $n\tau$ ($Q_F = \infty$) に対する比として示したものである。 $T > \sim 10$ keV ではプラズマ温度によらずほぼ一定である。高エネルギー域では制動放射損失は相対的に小さくなるのでこの比はほぼ $Q_F / (5 + Q_F)$ で表わされる。

$T < \sim 10 \text{ keV}$ では温度が低くなるにつれて制動放射損失の効果が効いてこの比は小さくなる。

この報告書では、プラズマ温度と密度は全て空間的に平均されたポイント・モデルを用いている。しかし、平均量が同じでも空間分布が異なるとパワーバランスの結果は異なってくる。空間分布の効果を精度よく取り入れるには少なくとも1次元コードが必要であるが、ここでは空間分布を仮定して $n\tau$ 値と出力密度に及ぼす効果を考察しておく。

プラズマ密度と温度の空間分布は次のように仮定する。

$$\left. \begin{aligned} n(r) &= n_0 \left[1 - \left(\frac{r}{a}\right)^m \right]^\ell + n_1 \\ T(r) &= T_0 \left[1 - \left(\frac{r}{a}\right)^m \right]^\ell + T_1 \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

a はプラズマ半径である。平均温度は次式で定義する。

$$\langle T \rangle = \int_0^a T(r) n(r) dr / \int_0^a n(r) dr \quad (4.6)$$

空間分布を考慮した $n\tau$ は

$$n\tau = \frac{3 \bar{n} \cdot \overline{nT}}{\frac{1}{4} n^2 \langle \sigma v \rangle_M \cdot (E_f + E_\alpha Q_F) / Q_F - 3.34 \times 10^{-16} \cdot n^2 T^{3/2}} \quad (4.7)$$

で与えられる。bar は空間的な平均量を意味する。平均の反応率係数は

$$\langle \sigma v \rangle_M = \overline{n^2 \langle \sigma v \rangle_M} / (\bar{n})^2 \quad (4.8)$$

となる。以下では簡単のため $n_1 = T_1 = 0$ の分布を考える。

Fig. 4.3 は密度と温度が同じ分布の場合、Fig. 4.4 は温度分布を固定して密度分布を変えた場合の結果を示し、いずれも自己点火条件に対するものである。Fig. 4.5 は $Q_F = 5$ に対する結果である。 $n(20, 0.05)$ は、燃料供給をガスブランケット方式で行なった場合に期待出来る密度分布（プラズマ周辺域までは平坦）を仮定したものである。これらの図に見られるように、温度分布が peaking するにつれて ($\ell \rightarrow$ 大) $n\tau$ は小さくなる。また密度分布が peaking すると $T > \sim 10 \text{ keV}$ では同様の傾向がみられるが、 $T < \sim 10 \text{ keV}$ では密度の空間分布の効果は小さくなり、 $T = 5 \sim 6 \text{ keV}$ では分布効果は僅かになる。 $Q_F = 5$ の場合、各 $n\tau$ の値が自己点火の値より小さくなっている点を除けば同じ特性が認められる。このように $n\tau$ は空間分布の peaking によってかなり低くなるが、実際そのような分布が可能かどうかはプラズマの閉込め則に依存する。特に捕獲イオン則（次節参照）を用いた場合、密度分布が peaking しているとポイント・モデルよりも悪い結果を得る⁽⁷⁾。ガスブランケット方式で密度分布を平坦にすればプラズマ粒子とエネルギー損失は減少出来るが、ポイント・モデルに較べて良い結果が得られるかどうかは今後検討を要する。

Fig. 4.6 と 4.7 に β 値を固定した場合の出力密度に及ぼす分布効果を示す。 $n\tau - T$ 図をひっくり返したような曲線になっている。但しピーク位置はずれていてピーク位置は密度と温度が同

じ分布なら10~15 keVの間にあり (peaking につれて低温度側に移る), 温度分布を固定して密度分布のみを peaking させていくとピーク位置は逆に高温度側に移っていく。

4.2 パワーバランスの計算モデル

定常状態におけるプラズマのパワーバランスの解析のための諸式を与える。解析モデルは次の仮定あるいは近似に基づいている。①空間依存性は考えない。②融合反応で発生したアルファ粒子は熱化するまでプラズマ内に完全に閉じ込められて, そのエネルギー $E_\alpha = 3.52 \text{ MeV}$ は field particle に全て与える。③入射粒子は100%イオン化され, 熱化までの間プラズマ内に閉じ込められているとする。即ち入射パワーは加熱に100%有効に用いられる。④放射損失は制動放射のみを考慮する。⑤field particle は全て同じ温度である。⑥核融合反応率と減速過程の解析では, field particle は Maxwell 分布を仮定する。⑦field particle のエネルギー閉込め時間は全て同じとする。

TCT効果も考慮した融合反応出力 (MW) は次式で与えられる。

$$P_F = P_T + P_B \quad (4.9)$$

$$P_T = 1.6021 \times 10^{-10} n_d n_t \langle \sigma v \rangle_M E_F \cdot V_p \quad (4.10)$$

$$P_B = P_I Q_B = P_I \frac{E_f n_t}{E_B} \int_0^{\tau_{SD}} \langle \sigma v \rangle_B dt \quad (4.11)$$

P_T は field particle 同志の熱核融合反応による出力, P_B は入射粒子と field particle との核融合反応による出力である。 V_p はプラズマ体積で円形断面の場合 $2\pi^2 a^2 R$ (a : プラズマ半 (m), R : 主半径 (m)) で与えられる。プラズマの単位体積あたりの入射エネルギーを P_{inj} ($\text{keV}/\text{cm}^3 \text{ s}$), 入射粒子の密度を n_B (cm^{-3}) とすると

$$P_{inj} = \frac{n_B E_B}{\tau_{SD}} \quad (4.12)$$

$$P_I = 1.602 \times 10^{-16} P_{inj} V_p \quad (4.13)$$

ここで τ_{SD} は (3.13) 式で定義される入射粒子の熱化までの減速時間である。パワーバランス上必要な P_{inj} は次式で与えられる。

$$P_{inj} = \left(\frac{3}{2} \frac{T \sum_j n_j}{\tau_E} + P_{Br} - n_d n_t \langle \sigma v \rangle_M E_\alpha \right) / \left(1 + \frac{E_\alpha}{E_f} Q_B \right) \quad (4.14)$$

T は field particle の温度, τ_E はエネルギー閉込め時間 (sec), P_{Br} は制動放射損失 ($\text{keV sec}^{-1} \cdot \text{cm}^{-3}$) で

$$P_{Br} = 3.34 \times 10^{-16} Z_{eff} n_e^2 T_e^{1/2} \quad (4.15)$$

で与えられる。⁽⁸⁾ 各プラズマ粒子の荷電量を Z_j とすると

$$Z_{\text{eff}} = \frac{\sum_{j \neq e} n_j Z_j^2}{n_e} \quad (4.16)$$

$$n_e = n_i + 2n_{\alpha} + 2n_{\alpha}^f + n_B + \sum_I Z_I n_I \quad (4.17)$$

n_{α} は field particle としてのアルファ粒子の密度、 n_{α}^f は高速のアルファ粒子の密度である。 n_I は不純物の密度、 Z_I はその荷電量である。高速のアルファ粒子は完全に閉じ込められているとしているので

$$n_{\alpha}^f = \tau_{S\alpha} n_t [n_d \langle \sigma v \rangle_M + n_B \langle \overline{\sigma v} \rangle_B] \quad (4.18)$$

となる。 $\langle \overline{\sigma v} \rangle_B$ は (3.15) 式で与えられる。この高速のアルファ粒子の熱化率 $n_{\alpha}^f / \tau_{S\alpha}$ は field particle であるアルファ粒子の源となっている。粒子バランスから

$$n_{\alpha} = \tau_p^{\alpha} n_t [n_d \langle \sigma v \rangle_M + n_B \langle \overline{\sigma v} \rangle_B] \quad (4.19)$$

である。ここで τ_p^{α} はアルファ粒子の閉じ込め時間である。 τ_p^{α} を近似的に τ_E で置き換えると、

$$n_{\alpha} = \frac{(n_e \tau_E)}{n_e} n_t [n_d \langle \sigma v \rangle_M + n_B \langle \overline{\sigma v} \rangle_B] \quad (4.20)$$

となる。

エネルギーバランス上満たすべき $n\tau$ 値は次の諸式で求められる。まず入射パワーを必要とする場合は、

$$n_e \tau_E = \frac{\frac{3}{2} T \sum_j n_j / n_e}{P_{\text{inj}} (1 + \frac{E}{E_f} \alpha Q_F) / n_e^2 - 3.34 \times 10^{-15} Z_{\text{eff}} T_e^{1/2}} \quad (4.21)$$

である。この式は TCT 効果が 100% の場合、即ち D 粒子が field particle として存在しない場合にも用いることができる。D 粒子が field particle として存在する場合は $Q_F \approx Q_B$ であるので上式は

$$P_{\text{inj}} = \frac{n_d n_t \langle \sigma v \rangle_M E_f}{Q_F - Q_B} \quad (4.22)$$

から

$$n_e \tau_E = \frac{\frac{3}{2} T \sum_j n_j / n_e}{1 + \frac{E}{E_f} \alpha Q_F \frac{n_d n_t \langle \sigma v \rangle_M E_f - 3.34 \times 10^{-15} Z_{\text{eff}} T_e^{1/2}}{Q_F - Q_B}} \quad (4.23)$$

と変形される。入射パワーを必要としない自己点火の場合は $Q_F \rightarrow \infty$ とすることによって

$$n_e \tau_E = \frac{\frac{3}{2} T \sum_j n_j / n_e}{\frac{n_d n_t}{n_e^2} \langle \sigma v \rangle_M E_\alpha - 3.34 \times 10^{-15} Z_{\text{eff}} T_e^{1/2}} \quad (4.24)$$

を得る。

次にプラズマが非円形の場合も考慮したベータ値、密度、出力等の諸式を示す。

ポロイダル・ベータ値は

$$\beta_p = 1.6021 \times 10^{-10} \frac{T \sum_j n_j + \frac{2}{3} (n_B \bar{E}_B + n_\alpha^f \bar{E}_\alpha)}{B_p^2 / 2\mu} \quad (4.25)$$

で定義する。ここで B_p はプラズマ境界における平均ポロイダル磁場 (T: tesla), μ は真空透磁率 ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m) で, $\bar{E}_B, \bar{E}_\alpha$ は (3.14) 式で与えられる。 β_p 値一定の条件からプラズマ (電子) 密度は次式を満たす必要がある。

$$n_e = 1.242 \times 10^{15} \frac{1}{(\sum_j n_j / 2n_e)} \frac{1}{T_p} \frac{\beta_p B_t^2}{q^2 A^2} \kappa_\ell^2 \text{ (cm}^{-3}\text{)} \quad (4.26)$$

但し, B_t はプラズマ中心軸上のトロイダル磁場 (T), T_p は高速イオンの運動エネルギーを含めたプラズマの平均温度 (keV), q は安全係数である。

$$T_p = [T \sum_j n_j + \frac{2}{3} (n_B \bar{E}_B + n_\alpha^f \bar{E}_\alpha)] / \sum_j n_j \quad (4.27)$$

$$q = \frac{1}{A} \frac{B_t}{B_p} \kappa_\ell$$

κ_ℓ は非円形効果を示すパラメータで楕円断面を仮定した第1近似から

$$\kappa_\ell = \left(\frac{1 + \kappa^2}{2} \right)^{1/2}, \quad \kappa = \frac{b}{a} \quad (4.28)$$

で与えられる。 κ は非円形度を示し b は楕円の長半径である。トロイダル・ベータ値と β_p は次の関係がある。

$$\beta_t = \beta_p \frac{\kappa_\ell^2}{A^2 q^2} \quad (4.29)$$

以上の関係式を用いると P_F は次のように表わされる。

$$P_F = P_{F0} \frac{4n_d n_t}{(\sum_j n_j)^2} \frac{1}{T_p^2} [\langle \sigma v \rangle_M + \frac{n_B}{n_d} \langle \bar{\sigma v} \rangle_B] \quad (4.30)$$

$$P_{FO} = 8.582 \times 10^{19} \frac{B_t^4 R^3 \beta_p^2}{q^4 A^6} \kappa_\ell^4 \kappa \quad (4.31)$$

もし入射粒子と不純物がなくてアルファ粒子も無視できれば

$$P_F = P_{FO} \frac{\langle \sigma v \rangle_M}{4 T^2} \quad (4.32)$$

となる。

プラズマ電流 (MA) は次式で表わされる。

$$I_p = 5 \frac{B_t R}{q A^2} \kappa_\ell = 5 a B_p \kappa_\ell \quad (4.33)$$

BALTOK は以上の一連の方程式を与えられた収束判定条件の下で consistent に解くプログラムである。

上記の解として得られる $n \tau$ 値は、与えられたプラズマパラメータにおいて要求されるもので、実際に平衡が成立するためには閉込め時間の比例則によって満されなければならない。比例則によってプラズマパラメータは大きく影響を受けるが、現在の比例則はかなり不確かなものであるのでプラズマパラメータの設定の判断は容易でない。

閉込めの比例則として、擬古典拡散 (PC), 捕獲イオン不安定性による異常拡散 (TI), 新ボーム拡散 (NB) 及び実験則 (EX) を考慮した。

・擬古典拡散⁽⁹⁾

$$(n \tau)_{PC} = 2.5 \times 10^{13} \frac{I_p^2 T_e^{1/2}}{Z_{eff}} r_{PC} \quad (4.34)$$

$$= 6.25 \times 10^{14} \frac{B_t^2 R^2 T_e}{Z_{eff} q^2 A^4} \kappa_\ell^2 \cdot r_{PC} \quad (4.35)$$

・捕獲イオンによる拡散

拡散係数は

$$D \sim \chi_e \sim \chi_i \sim \frac{1}{A^{5/2}} \frac{r^2}{\nu_{ei} (1 + T_e/T_i)^2} \frac{k T_e}{e B_t r} \left(\frac{1}{n} \frac{dn}{dr} \right)^2$$

$$= 1 \times 10^6 \frac{T_e^2 \left(\frac{1}{n} \frac{dn}{dr} \right)^2}{A^{5/2} \nu_{ei} B_t^2} \text{ (m}^2/\text{sec)} \quad (4.36)$$

で与えられる。⁽¹⁰⁾ ν_{ei} は電子とイオン衝突周波数で、⁽¹¹⁾ k は Boltzmann 定数 (1.6021×10^{-16} joule/keV) である。

$$\nu_{ei} = \frac{4\sqrt{2\pi}e^4 \ln A \sum_i (n_i \times 10^6) Z_i^2}{3(4\pi\epsilon_0)^2 m_e^{1/2} (kT_e)^{3/2}} \quad (\text{sec}^{-1})$$

$$= 9.189 \times 10^{-11} \frac{n_e \ln A Z_{\text{eff}}}{T_e^{3/2}} \quad (4.37)$$

ϵ_0 は真空の誘電率。

$[(dn/dr)/n]^{-1} = r_n$ は密度分布の実効的なプラズマ半径である。 $r_n = a$, $\ln A = 20$ とすると $\tau \sim a^2/4D$ の関係から次式を得る。

$$(n\tau)_{\text{TI}} = 7.07 \times 10^{15} \frac{I_p^4 (B_t/5)^2 \beta_{pe}^2 (A/3)^{5/2} Z_{\text{eff}}}{T_e^{11/2}} \left(\frac{1}{2} + \frac{T_e}{2T_i}\right)^2 r_{\text{TI}} \quad (4.38)$$

$$= 2.83 \times 10^{15} \frac{B_t^6 R^4 \beta_{pe}^2 Z_{\text{eff}}}{q^4 A^{1/2} T_e^{1/2}} \left(1 + \frac{T_e}{T_i}\right)^2 \kappa_\ell^2 \cdot r_{\text{TI}} \quad (4.39)$$

ここで β_{pe} は電子の圧力とポロイダル磁気圧の比である。

$$\beta_{pe} = 1.6021 \times 10^{-10} \frac{n_e T_e}{B_p^2 / 2\mu} \quad (4.40)$$

$$n_e = 2.482 \times 10^{15} \frac{\beta_{pe} B_t^2}{q^2 A^2} \frac{1}{T_e} \kappa_\ell^2 \quad (4.41)$$

・新ボーム拡散

閉込め時間は

$$\tau_{\text{NB}} = G \tau_B \quad (4.42)$$

で表わされる。 τ_B はボーム拡散の閉じ込め時間である。

$$\tau_B = \frac{a^2}{4D_B} = 4 \times 10^{-3} \frac{a^2 B_t}{T_e} \quad (4.43)$$

ここで用いたボーム拡散係数は

$$D_B = \frac{1}{16} \frac{kT_e}{eB} = 6.25 \times 10 \frac{T_e}{B} \quad (\text{m}^2/\text{sec}) \quad (4.44)$$

である。⁽¹²⁾ $G = 300$ ⁽¹³⁾ とすると

$$(n\tau)_{\text{NB}} = 2.98 \times 10^{15} \frac{B_t^3 R^2 \beta_{pe}}{q^2 A^4 T_e^2} \kappa_\ell^2 \cdot r_{\text{NB}} \quad (4.45)$$

・実験則

collisional plasma に対する比例則を考える。Alcator の結果から比例係数を決めた実験則は次式で与えられる。⁽¹⁴⁾

$$n\tau = 3.2 \times 10^{-15} n^2 a^2 \sqrt{q} \kappa_L^{3.5} \cdot \gamma_{EX} \quad (4.46)$$

$$= 4.94 \times 10^{15} \frac{B_t^4 R^2 \beta_p^2}{q^{3.5} A^6 T^2} \kappa_L^{3.5} \cdot \gamma_{EX} \quad (4.47)$$

各比例則に掛っている係数 γ は $n\tau$ の大きさを適当に調整する定数である。標準的な比例則は WASH-1295⁽¹⁵⁾ に与えられているが、ここで示した擬古典則と捕獲イオン則の係数は WASH-1295 に比べそれぞれ $1/5 \sim 1/10$ 及び $1/5$ 程小さい。

4.3 プラズマ寸法, $n\tau$ 及び Q 値

この節では代表的なプラズマパラメータに対して、プラズマ寸法, $n\tau$ 及び Q 値の関係を示す。プラズマ軸上の B_t 値は、トロイダルコイルに NbTi と Nb₃Sn を想定してそれぞれに対して 4 T と 6 T を代表的な値として選んでいる (コイル上の最高磁場を与えて B_t を決める方法もあるが、ブランケット厚さ, 蔽遮厚さその他必要な空間は設計によって (稼働率も含む) 影響を受けるので一律には決め難い)。安全係数 q は 2.5 とする。 β_p は A と $1/2$ A の場合を考える。TCT 効果を考慮する場合はビームエネルギー E_B は 200 keV としている。なお不純物は考えていない。

Fig. 4.8~4.11 に $B_t = 4$ T の場合の結果を示す。Fig. 4.8 は $T = 7$ keV, $\beta_p = A$ に対する結果を示す。 Q_F の値によって出力 P_F が異なるのは TCT 効果による。Fig. 4.9 はアスペクト比を変えた場合, Fig. 4.10 は温度を変えた場合の結果をそれぞれ示す。Fig. 4.11 には非円形効果を示す。 $\beta_p = 1/2$ A ($\kappa = 1.5$) の出力は $\beta_p = A$ ($\kappa = 1.0$) の出力と殆んど同じでグラフ上は区別できない。これらのプラズマパラメータから算出した電子とイオンの衝突度 (collisionality parameter) はあまり高くないので実験則の適用は無理かと思われるが、参考のために実験則を考慮した結果も示している。 $T = 6$ keV で $R > 7$ m に対しては捕獲イオン則は実験則より高い $n\tau$ を与えるが、 $T > 6$ keV の温度域では実験則より厳しくなる。寸法を大きくすることの利点は捕獲イオン則の方が実験則より大きいだが、 $T \gtrsim 7$ keV で実験則と同等の $n\tau$ を得るにはサイズをかなり大きくする必要がある。ベータ値が一定の場合の出力は、Fig. 2.5 からも分るように温度効果はそれ程大きくない。温度効果は出力よりも閉込め則に顕著である。

いずれにしても、示した結果では自己点火条件 ($T = 7$ keV で $n\tau \sim 8 \times 10^{14} \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}$) に程遠く、自己点火するには捕獲イオン則を適用した場合、 $T = 7$ keV で $\beta_p = A$ ($=4.0$), $\kappa = 1.5$ 程度にする必要がある。その場合でも主半径は 8 m を超える。また出力は 1000 MW を超える。非円形効果は閉込めに対するよりも (ここでは q を通じての効果のみを考慮), 出力に対する効果の方が大きい (出力 $\propto \kappa_L^4 \kappa$)。高ベータ化の利点を B_t の軽減あるいはサイズの減少の振り向けるか (あるいはどちらに重みを置くか) は、その影響を受ける種々の事柄 (コスト, 壁負荷, 炉構造等) をよく検討する必要がある。この問題は当然 $n\tau$ に対する影響が直接関わるが、既に示したように $n\tau$ の B_t とプラズマ寸法に対する依存性は比例則によってかなり異なる。例えば捕

獲イオン則は B_t の 6 乗に比例するので、高ベータ化による B_t の下げ巾は他の比例則に較べ小さい。出力は B_t の 4 乗に比例するので同じ $n\tau$ なら（高ベータ化分だけ B_t を下げて $n\tau$ を一定に保つ）、出力は大きくなり従って壁負荷は大きくなる。逆に高ベータ化しても出力を変えたくないなら閉込めが悪くなる（Fig. 4.11 から読み取れる）。このことは新ボーム拡散則についてもいえる。擬古典拡散則と実験則の場合も前二者程 $n\tau$ は悪くならないが同様のことが言える。これらの比例則を適用して円形断面と同じ出力で炉を設計したい場合、非円形断面による高ベータ化で B_t を下げる利点はない。もし断面変化なしに高ベータ化をした場合（高ベータプラズマは非円形断面が自然と考えられるが）、実験則は出力と $n\tau$ を変えずに高ベータ化分だけ B_t を下げ得る。一方擬古典則、新ボーム則を捕獲イオン則は高ベータ化しても出力一定ならやはり $n\tau$ は小さくなる。いずれにしても擬古典則と新ボーム則及び捕獲イオン則の場合、壁負荷の増大を許容しなければ高ベータ化の利点はない。

プラズマ寸法と $n\tau$ の関係は比例則によって異なっており高ベータ化によるサイズへの影響も異なる。アスペクト比 A を一定にした場合、主半径 R の影響がもっとも大きいのは捕獲イオン則である。非円形断面による高ベータ化で出力を変えない場合、どの比例則も R 依存性が出力の R 依存性よりも大きいので（非円形度との相対的な大きさが） $n\tau$ は小さくなる。非円形断面によらぬ高ベータ化の場合、出力一定とすると捕獲イオン則の $n\tau$ は変わらず、実験則の $n\tau$ は大きくなり他の比例則の $n\tau$ は小さくなる。

以上の議論は B_t あるいは R の一方を固定した場合であるが、もしトロイダルコイル上の最高磁場を固定した場合は B_t と R の両方が変わるので内容は少し複雑になる。いずれにしろ低いあるいは一定の出力（及び出力密度）での高ベータ化はあまり利点がない。パワーバランス上高ベータ化は出力増大をもたらす、その大きさは閉込め則から決まる。その場合閉込めの良くなった分だけ B_t あるいは R の減少に振り向けることが出来る。

Fig. 4.12~4.14 に $B_t = 6$ T の場合の結果を示す。 $B_t = 4$ T の結果と定性的には同じであるが、考慮した主半径の範囲内で自己点火条件が得られる。捕獲イオン則はもっとも B_t と R 依存性が大きいので $R > 6$ m, $T < 7.5$ keV では実験則より大きいと同程度になる。実験則は自己点火を目ざすにはかなり厳しい比例則である。Fig. 4.8~4.14 から、比例則が 2 倍も変われば同じ Q_F を与えるプラズマ寸法はかなり変化する。比例則の不確かさはこれ以上あるが、解析モデルによってもこの程度の $n\tau$ の変動が生じる（空間依存性の有無など）。

4.4 実験炉（JXFR）におけるパワーバランス

自己点火炉の場合比例則が与えられるとプラズマパラメータは一義的に決まる。一方駆動型炉はプラズマ寸法が決まっても他のプラズマパラメータは種々の選択の余地がある。原研の実験炉（JXFR）は中性粒子ビーム加熱による駆動型炉で、第1次予備設計の段階では $B_t = 6$ T, $R = 6.75$ m, $A = 4.5$ と決められている。ここでは、パワーバランス解析の具体例としてこの条件の下で解析されたパワーバランスの結果の一部を示す。不純物は Si と C が等量つつ存在し完全に電離しているとする。

Fig. 4.15 に $T = 7$ keV における入射パワー P_I , 出力 P_F と $n\tau$ の関係を示す。各比例則がパワーバランスを満す点は図中に記号で印してある。 P_F が P_I と共に大きくなるのは TCT 効

果による。 $Z_{\text{eff}} < 2$ の場合、もし比例則が楽観的な値をとるなら（捕獲イオン則で5倍程度）自己点火の可能性がある。Fig. 4.16 はそれぞれ $T = 7, 8, 9 \text{ keV}$ において、各比例則がパワーバランスを満すために必要な入射パワーと得られる出力を不純物量の関数として示してある。プラズマ出力を 100 MW として $Q_{\text{F}} = 3 \sim 5$ を狙うと捕獲イオン則の場合、 $\beta_{\text{p}} = 2.2$ ($\sim 1/2 \text{ A}$) における運転温度は $7 \sim 8 \text{ keV}$ で許容できる不純物量は $Z_{\text{eff}} = 2 \sim 3$ である。捕獲イオン則の場合、ある Z_{eff} まで入射パワーは減少しそれからゆるやかに上昇する特性がある。最小の入射パワーを与える Z_{eff} は温度と共に大きくなる。Fig. 4.17 に Si, C が 1% 存在する場合の入射パワーと出力をプラズマ温度の関数として示す。擬古典則では入射パワーは温度と共に減少し、捕獲イオン則では温度と共に急上昇する。Fig. 4.18 は $Z_{\text{eff}} = 1.0$ における $n\tau$ と入射パワーの関係をプラズマ温度をパラメータにして示す。図中の曲線上の印は比例則が満す点である。 $n\tau$ の変化が入射パワーに及ぼす影響が各温度に対して読みとれる。

パワーバランスにおいてエネルギー閉じ込め時間を与える比例則の影響は大きい。しかし、比例則はもともと粗い理論近似であり（実験則が用いられる場合もある）、どの比例則が実際の炉に適用できるかという予測の不確かさの問題がある上に、個々の表示式の定数の決定にも不確かさが伴う。後者は密度と温度分布、 $\tau = a^2 / 4D$ などの近似から生じる定数係数の決定の不確かさの問題と考えられよう。ここで取り扱うプラズマパラメータの値の範囲では比例則による $n\tau$ の違いはせいぜい 1 桁であり、多くの場合 factor 5 以下の違いしかない。我々の用いた捕獲イオンと擬古典則の定数係数は、文献⁽¹⁵⁾ (WASH-1295) のそれに較べそれぞれ factor 5 および 5~10 だけ小さい。従って我々のプラズマ条件においては、プラズマのどのような不安定性に対する比例則が適用できるかということも無論重要であるが、比例則の定数係数の不確かさも劣らず重要になる。即ち今までの結果から分かるように、factor 5 の $n\tau$ の違いはパワーバランスに大きな影響を与える。

ここでは捕獲イオン則の閉じ込め時間の不確かさが、出力および入射パワーに及ぼす影響について簡単に述べる。Fig. 4.19 と 4.20 に結果例を示す。図中の R_{TI} は

$$R_{\text{TI}} = \frac{\text{パワーバランス上要求される } n\tau \text{ の値}}{\text{捕獲イオン則で与えられる } n\tau \text{ の値}} \quad (4.48)$$

で与えられる。 $R_{\text{TI}} = 1$ の場合はこれまでの結果と一致する。もし $R_{\text{TI}} = 5$ (WASH-1295 の値に相当) の閉じ込めが可能になるなら、 7 keV の温度で $Z_{\text{eff}} \leq 2$ で自己点火が可能になる (Fig. 4.15 参照)。 $R_{\text{TI}} \approx 10$ 程度まで閉じ込めが楽になると入射パワーを相当軽減でき、またプラズマ温度領域を 15 keV まで広げることができて不純物量の増大に伴う出力の低下を防ぐことができる。 $R_{\text{TI}} \approx 5 \sim 10$ が可能になるなら $B_{\text{t}} = 5 \text{ T}$ に下げた場合、 $Z_{\text{eff}} = 1.0$ で 10 MW 以下の入射パワーで $\sim 50 \text{ MW}$ の出力、 $Z_{\text{eff}} = 4.2$ で $\sim 10 \text{ MW}$ の入射パワーで $\sim 30 \text{ MW}$ の出力を得る。入射装置あるいはコイルの開発如何によっては (B_{t} を下げれば耐応力上設計が楽になる)、このような結果も考慮すべきかも知れない。 $B_{\text{t}} = 4 \text{ T}$ になると閉じ込めの期待がかなり楽観的 ($R_{\text{TI}} > 10$) になる必要があり、出力が大きく低下する ($\sim 20 \text{ MW}$ 以下)。Fig. 4.19 と 4.20 から、閉じ込め時間の不確かさの影響は出力よりも入射パワーに対して著しく、 Z_{eff} が大きくなると両者に対する効果が共にゆるやかになることが分かる。ここで取り上げた比例則は捕獲イオン則であるが、これまで得た結果から他の比例則に対しても類推を行うことは容易であ

る。

次にDとT粒子の密度比がパワーバランスに及ぼす影響について簡単に述べる。field-particle 同志の熱核融合反応による出力 (P_T) は50% D-50% Tの場合がもっとも大きい。一方入射粒子 (D) による出力 (P_B) はT粒子の密度が濃い方が大きくなる。従ってパワーバランス上は、与えられた入射パワーに対して出力 (P_F) を最大にする n_d/n_t , あるいは最小の入射パワーで目的の出力を得る n_d/n_t の値が存在する。

Fig. 4.21と4.22に $Z_{eff} = 1.0$ と4.2のそれぞれに対して、 n_d/n_t が $n\tau$ と入射パワーに及ぼす効果を示す。各曲線は出力一定の下で求められている。 $Z_{eff} = 1.0$ の場合にも出力を100 MWにしたいなら、入射パワーは捕獲イオン則によれば ~ 50 MW ($Q_B \sim 1.5$), 新ボーム則によれば ~ 30 MW ($Q_B \sim 1.3$) になる。 n_d/n_t はそれぞれ ~ 0.05 と ~ 0.2 となりT粒子の存在比が非常に大きい。 $Z_{eff} = 4.2$ の場合、100 MWの出力を与える比例則はないが (捕獲イオンの $n\tau$ は大き過ぎ、新ボームと擬古典則は小さ過ぎる), パワーバランス上は $n_d/n_t = 0.5$ の付近に入射パワーの最小値 (63 MW) がある。出力が80と90 MWの場合、新ボームと擬古典則による解が存在する。しかしいずれも入射パワーは50 MWを越す。出力が90 MWの場合、新ボーム則によれば解が2つあるが、 n_d/n_t の大きい方が望ましい。出力が70 MWまで下がると捕獲イオン則による解が存在する。入射パワーは ~ 30 MWである。

$Z_{eff} = 4.2$ で出力90 MWの場合における新ボーム則による1.0に近い n_d/n_t を除けば、いずれの場合でも比例則によって満される n_d/n_t は小さい (< 0.4)。 n_d/n_t が小さくなり過ぎると出力中に P_B の占める割合が大きくなり、即ち pure TCTに近い炉になり入射パワーが50 MW以下でも望ましくない。出力レベルの維持を n_d/n_t の制御で行う方法は、入射パワーをそれに関連させて制御することも考えるとかなり複雑になる。

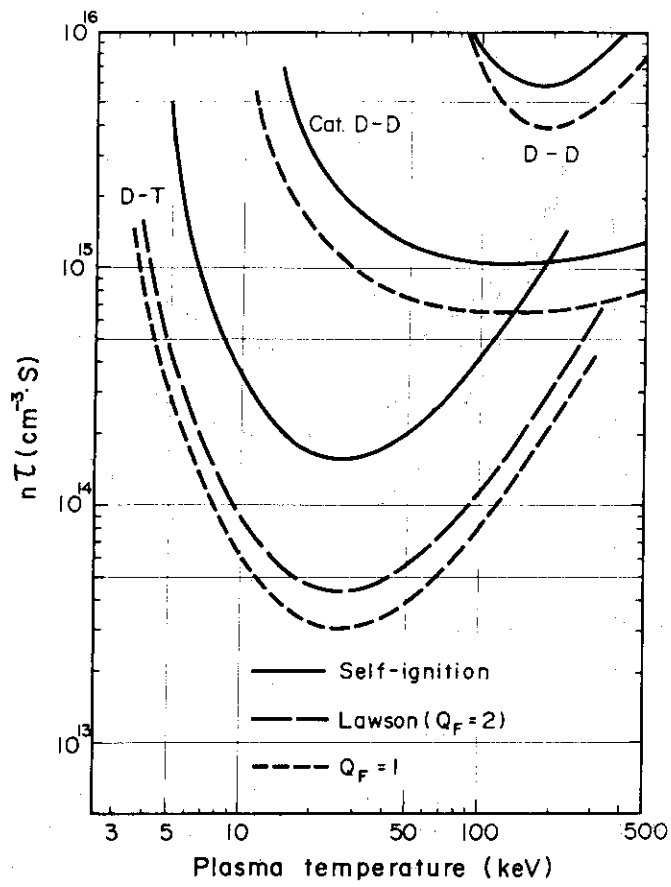


Fig. 4.1 $n\tau$ curves for D-T, catalyzed D-D and D-D reactors

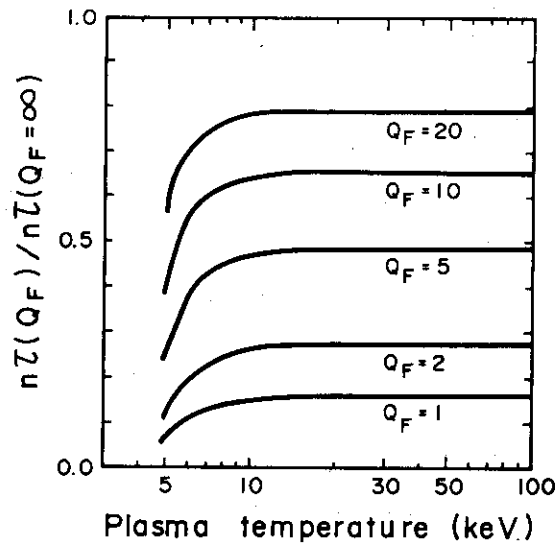


Fig. 4.2 Ratio of $n\tau$ for a given Q_F to $n\tau$ for self-ignition ($Q_F=\infty$)

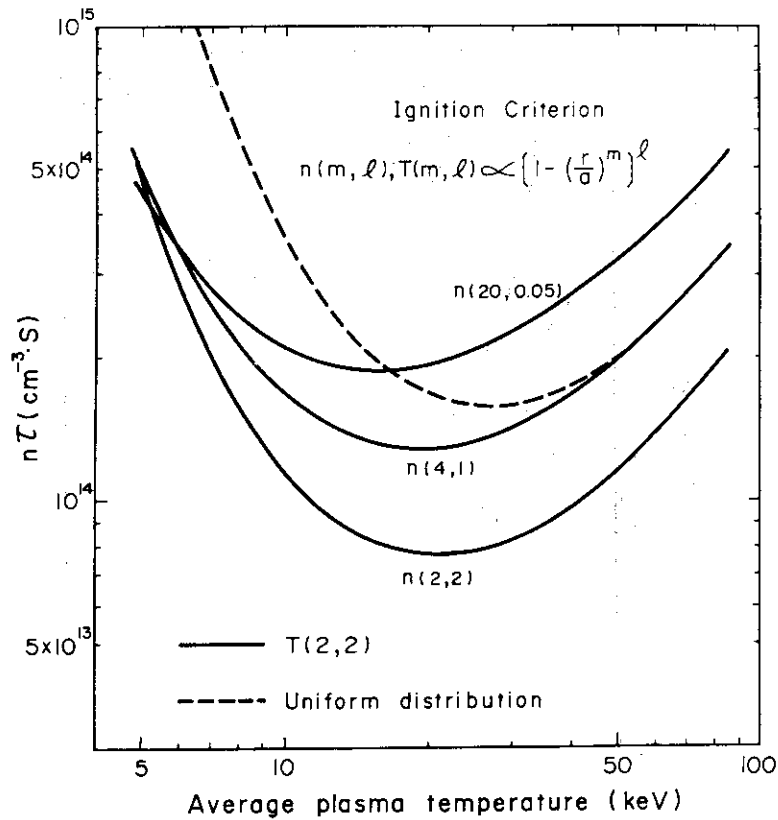


Fig. 4.4(a) $n\tau$ curves for self-ignition, calculated for various density profiles with a temperature profile fixed, $\left[1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2\right]^2$

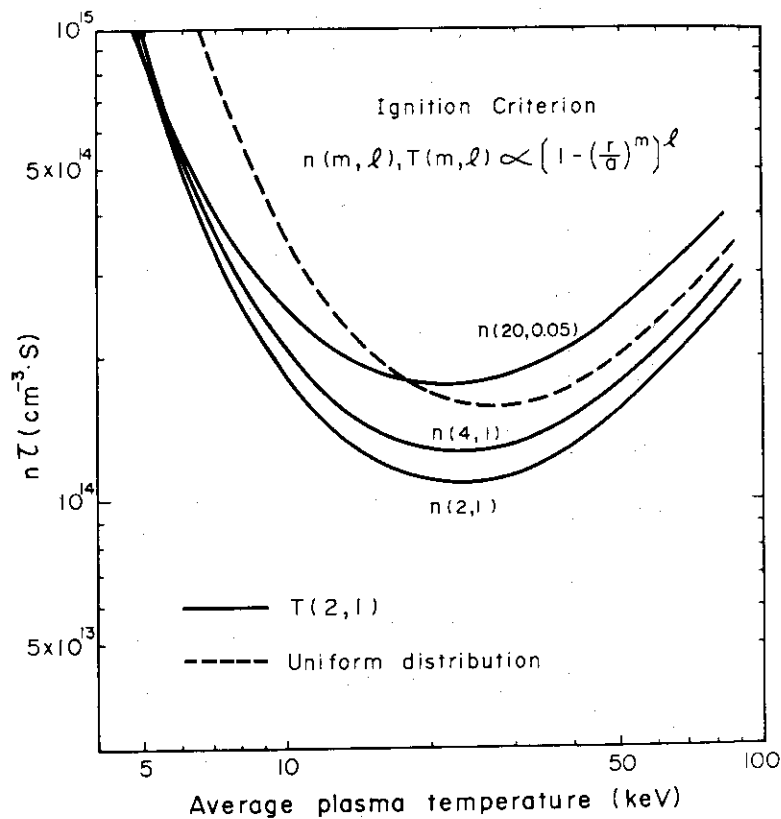


Fig. 4.4(b) $n\tau$ curves for self-ignition, calculated for various density profiles with a temperature profile fixed, $1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2$

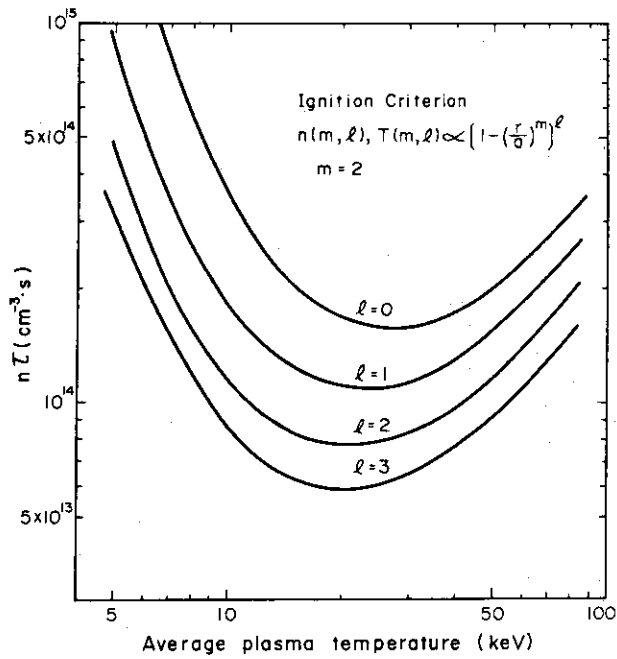


Fig. 4.3 $n\tau$ curves for self-ignition; the same spatial profile used for density and temperature

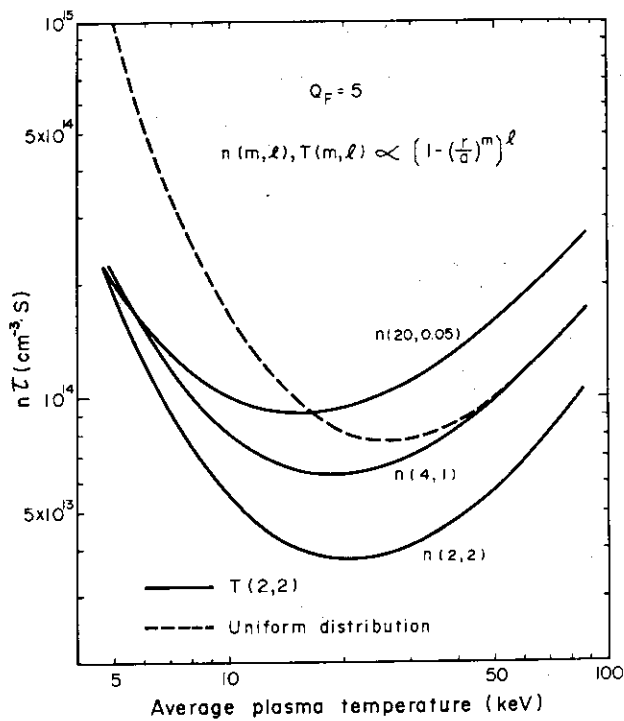


Fig. 4.5 $n\tau$ curves for $Q_F=5$, calculated for various density profiles with a temperature profile fixed, $\left[1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2\right]^2$

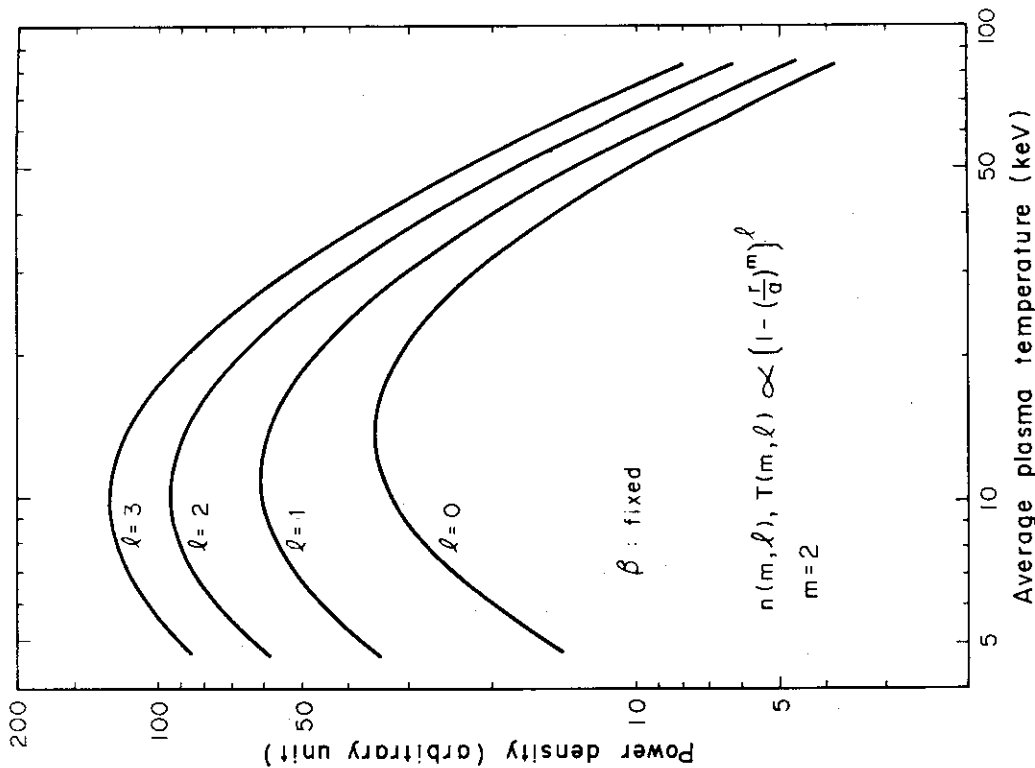


Fig. 4.6 Mean power density with a constraint of constant beta, calculated for the same density and temperature profiles

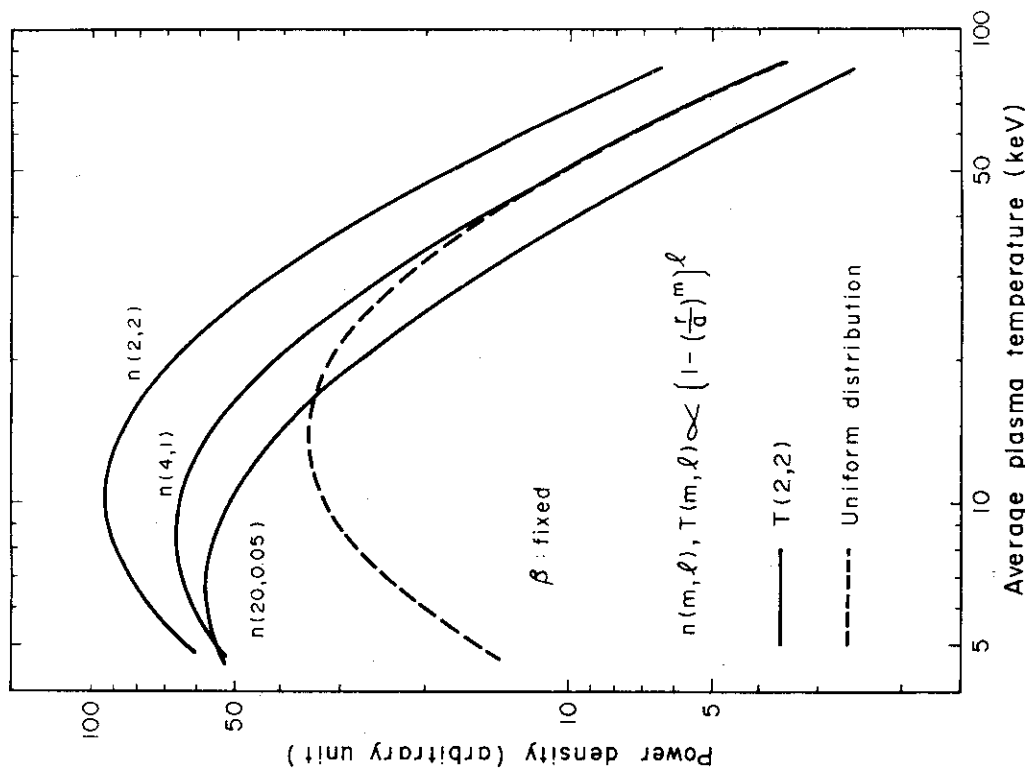


Fig. 4.7 Mean power density with a constraint of constant beta, calculated for various density profiles with a temperature profile fixed, $\left[1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2\right]^2$

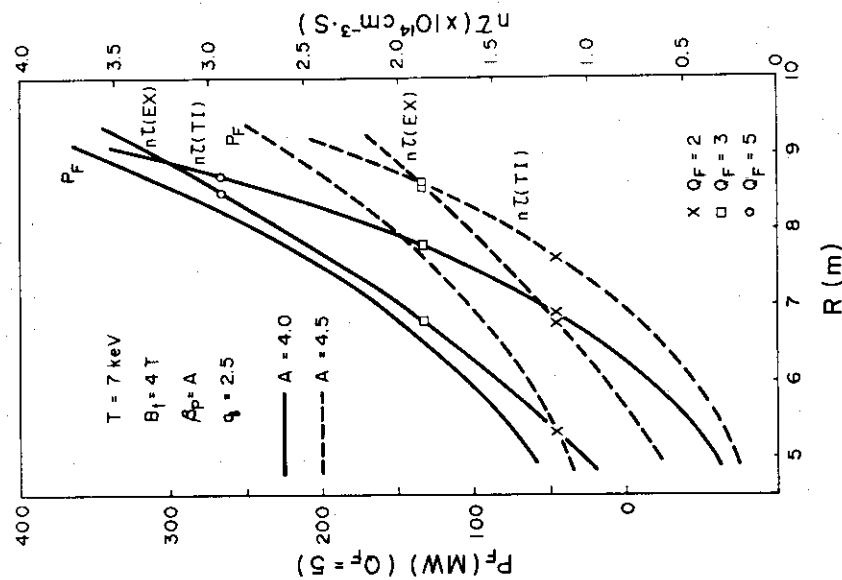


Fig. 4.9 nT and fusion power as a function of major radius for different aspect ratios ($B_T=4\text{T}$, $T=7 \text{ keV}$)

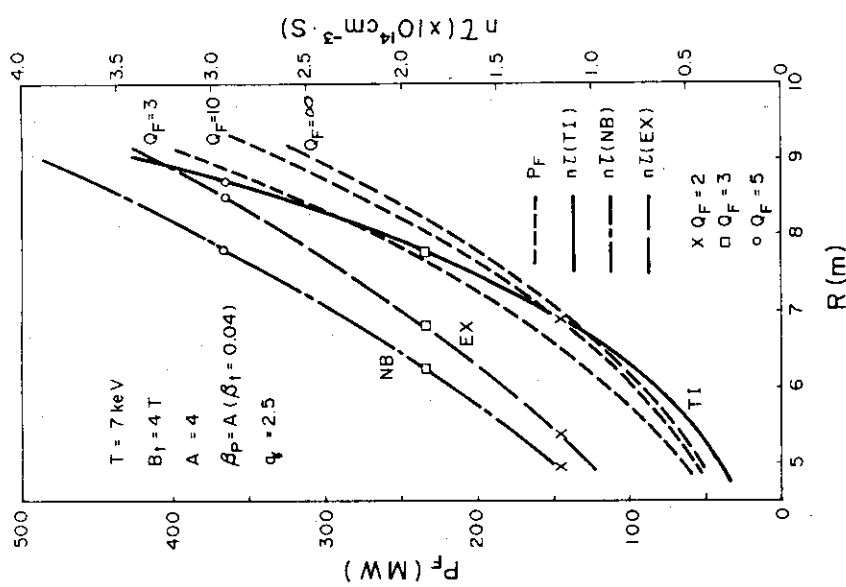


Fig. 4.8 nT and fusion power as a function of major radius ($B_T=4\text{T}$, $T=7 \text{ keV}$)

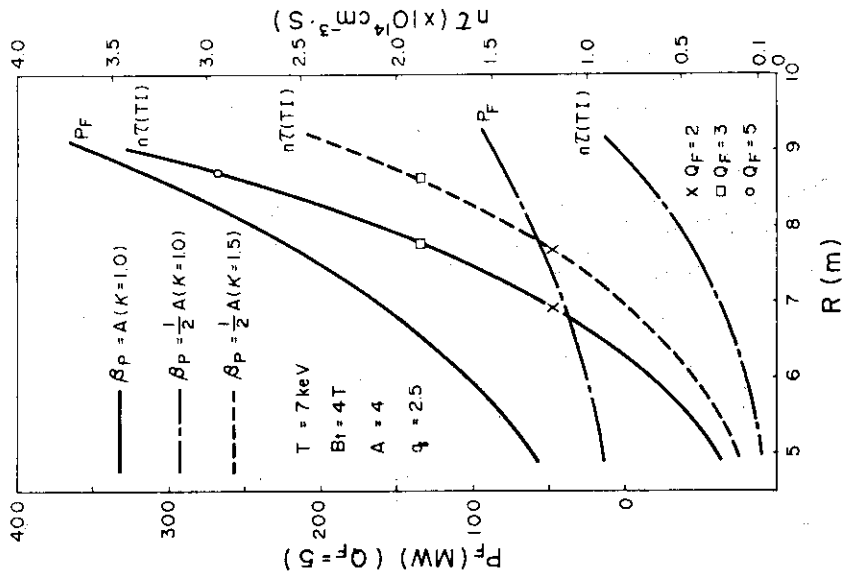


Fig.4.11 nT and fusion power as a function of major radius for circular and non-circular plasmas (Bt=4T, T=7 keV)

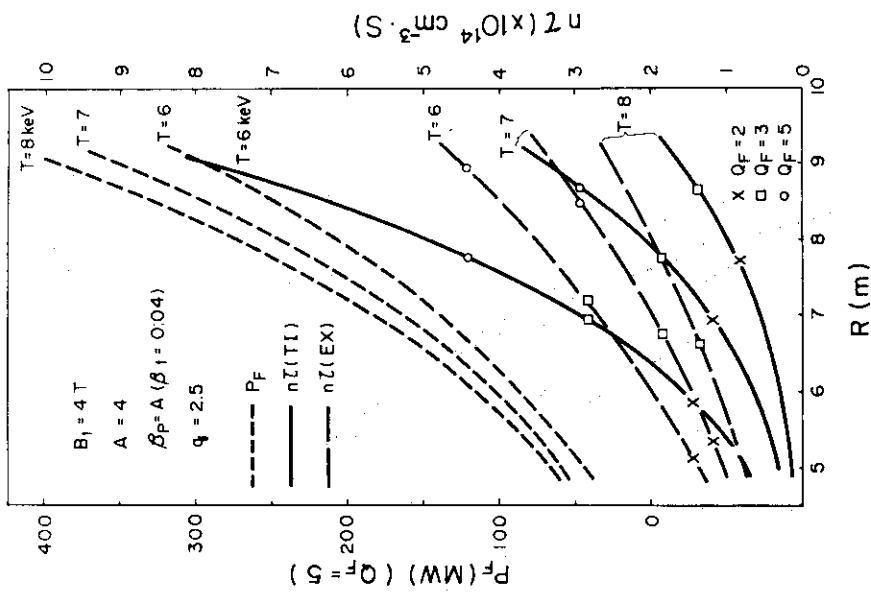


Fig.4.10 nT and fusion power as a function of major radius for different temperatures (Bt=4T)

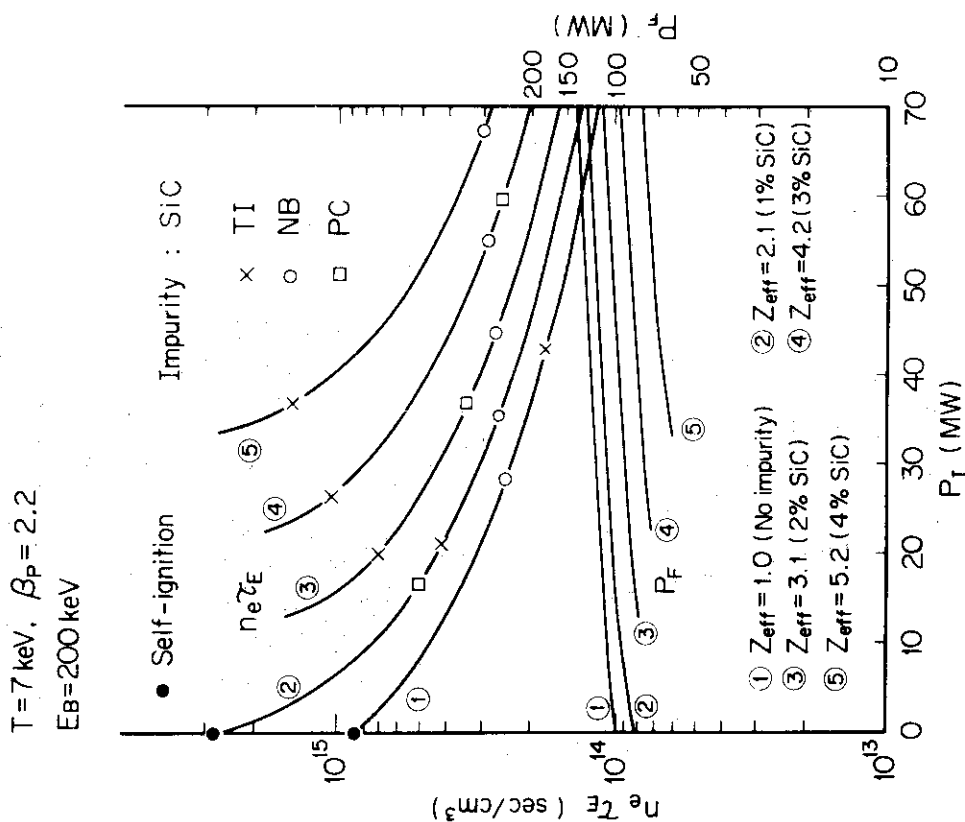


Fig.4.15 Relations among $n\tau$, injection power and fusion power at different impurity concentrations for T-7 keV

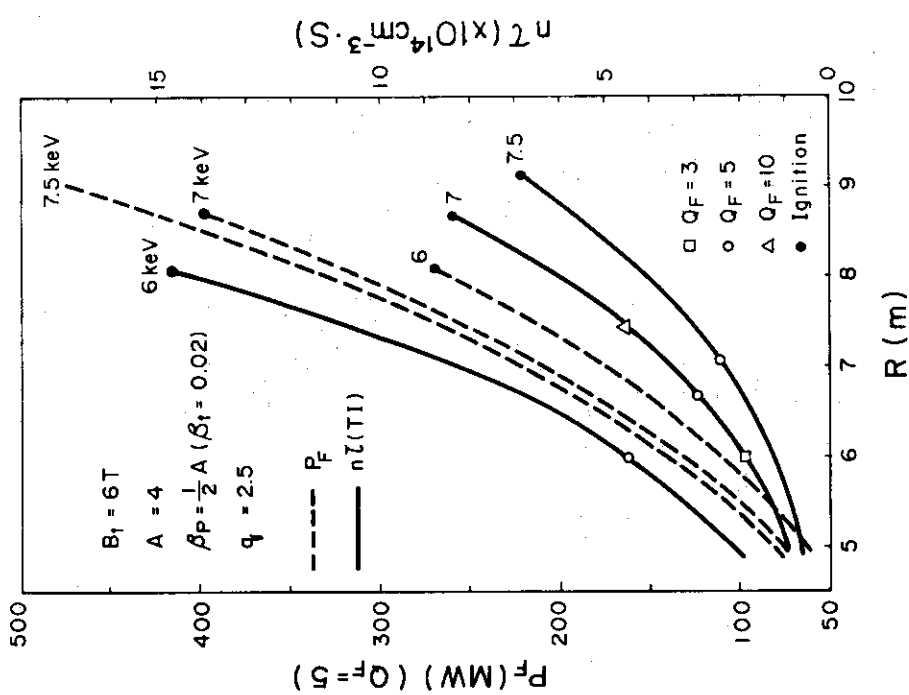


Fig.4.14 $n\tau$ and fusion power as a function of major radius for different temperatures ($B_t = 6 \text{ T}$)

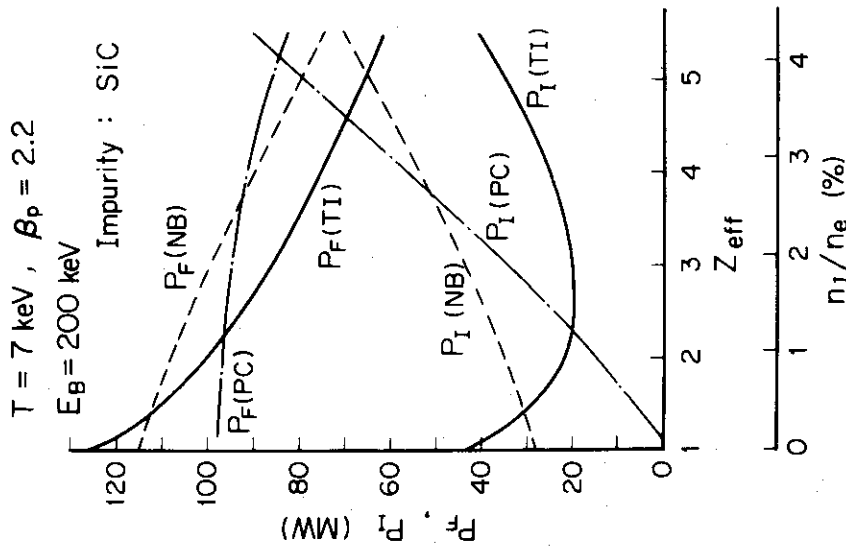


Fig.4.16(a) Fusion power and injection power at $n\tau$ -values predicted by each scaling law (T=7 keV) (SiC impurity)

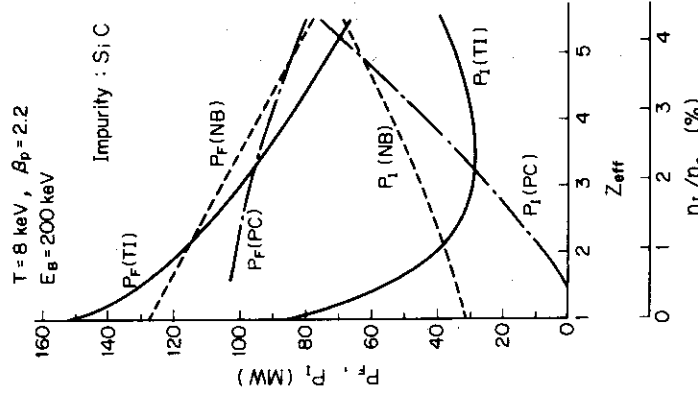


Fig.4.16(b) Fusion power and injection power at $n\tau$ -values predicted by each scaling law (T=8 keV) (SiC impurity)

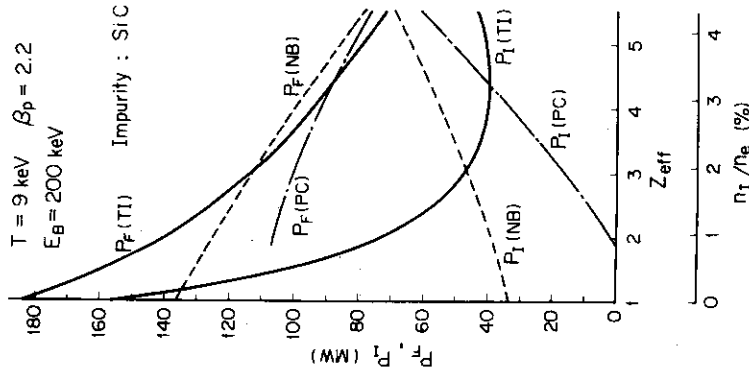


Fig.4.16(c) Fusion power and injection power at $n\tau$ -values predicted by each scaling law (T=9 keV) (SiC impurity)

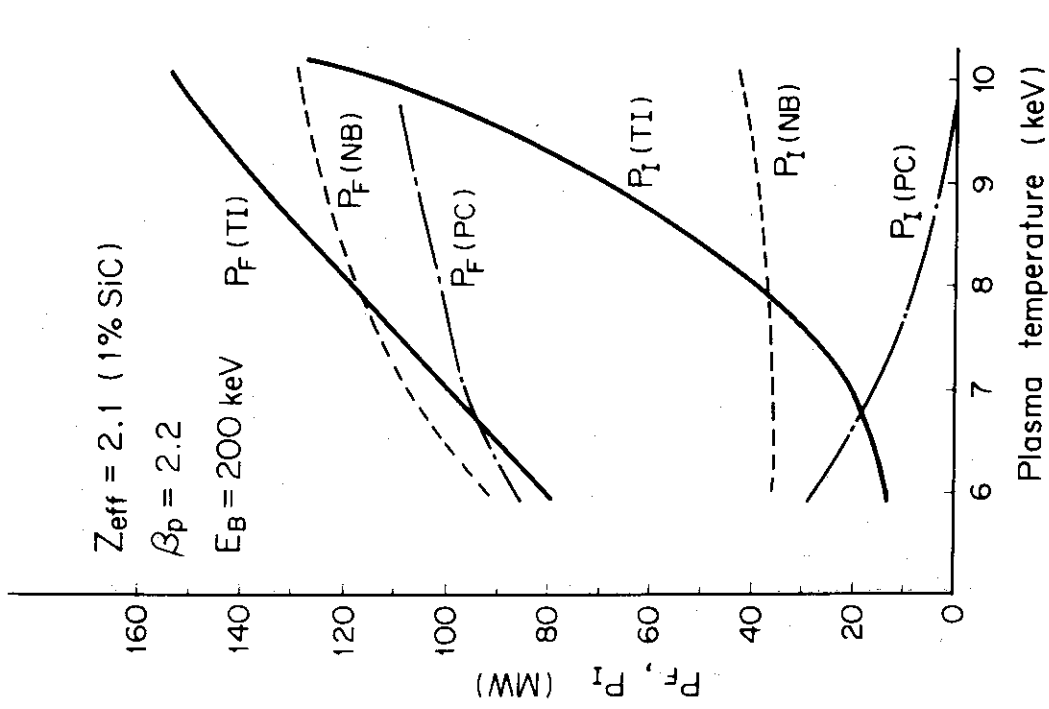


Fig.4.17 Fusion power and injection power as a function of temperature for each scaling law (1% SiC impurity)

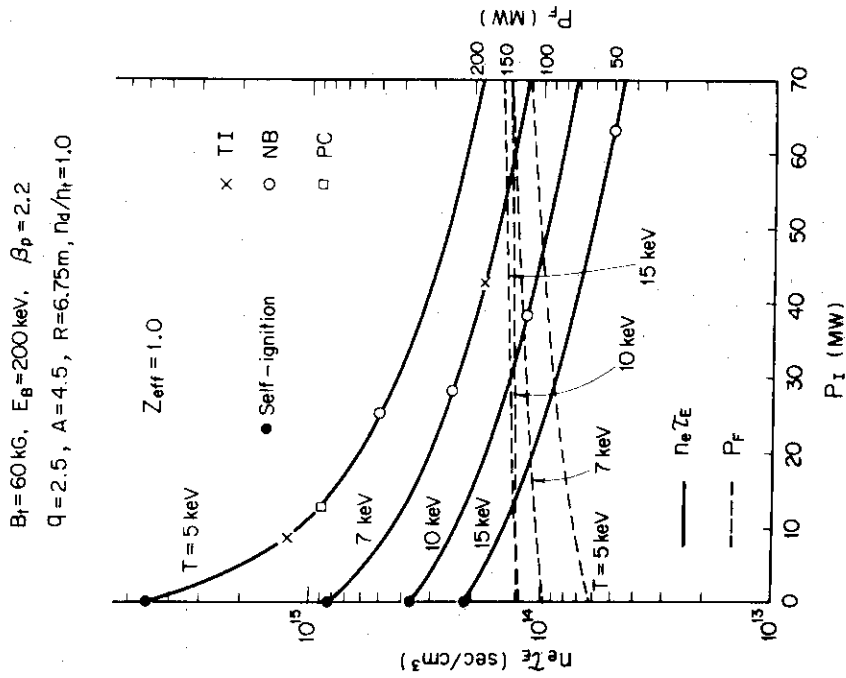


Fig.4.18 Relations among nT_e , injection power and output power for different temperatures ($Z_{eff}=1.0$)

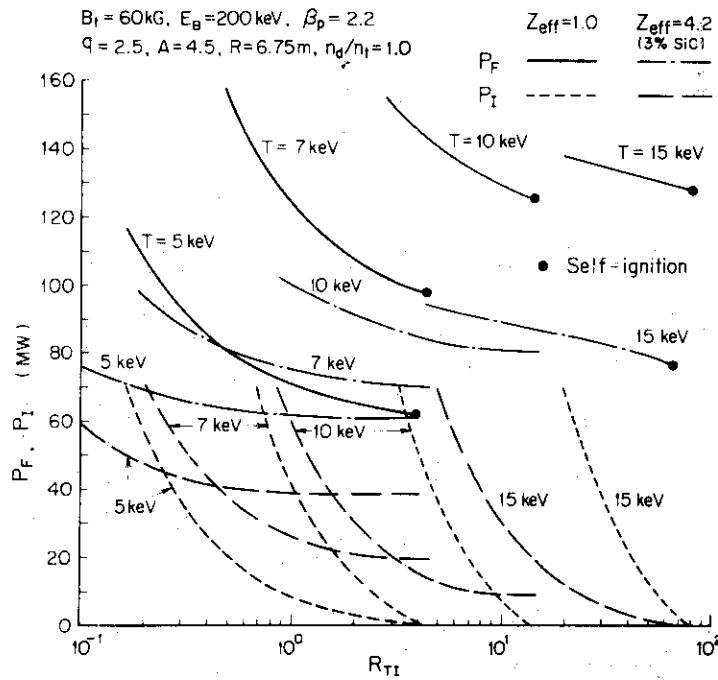


Fig.4.19 Influence of the ratio R_{TI} on injection power and fusion power for different temperatures (R_{TI} : Ratio of required n_t to n_t predicted by trapped-ion mode)

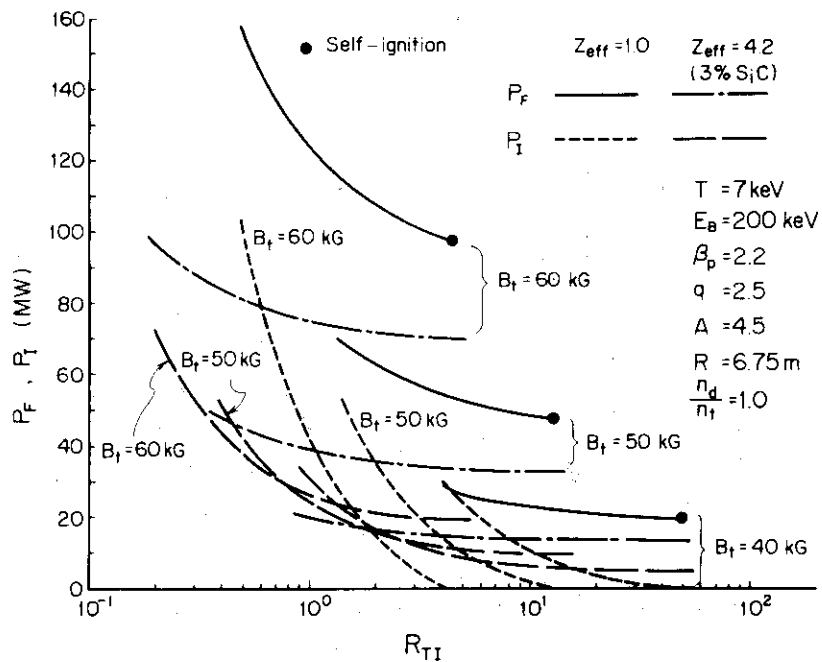


Fig.4.20 Influence of the ratio R_{TI} on injection power and fusion power for different values of B_t

$T=7\text{ keV}$, $E_B=200\text{ keV}$, $B_t=60\text{ kG}$
 $\beta_p=2.2$, $A=4.5$, $q=2.5$, $R=6.75\text{ m}$

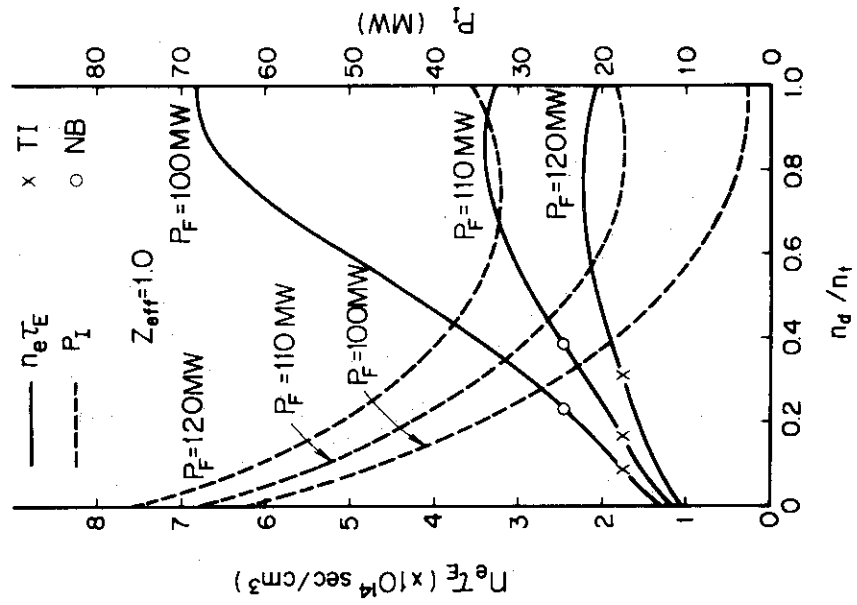


Fig. 4.21 Effect of the ratio n_d/n_t on $n_e T_e$, injection power and output power ($Z_{\text{eff}}=1.0$, $T=7\text{ keV}$)

$T=7\text{ keV}$, $E_B=200\text{ keV}$, $B_t=60\text{ kG}$
 $\beta_p=2.2$, $A=4.5$, $q=2.5$, $R=6.75\text{ m}$

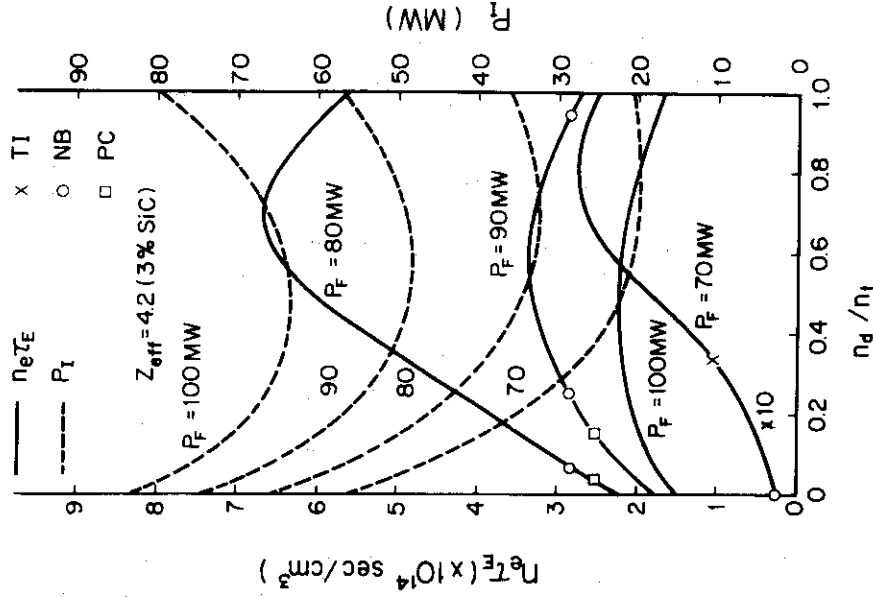


Fig. 4.22 Effect of the ratio n_d/n_t on $n_e T_e$, injection power and output power ($Z_{\text{eff}}=4.2$, $T=7\text{ keV}$)

5. おわりに

この報告書では、実験炉 (J XFR) 第1次予備設計の段階でのプラズマ設計におけるパワーバランス関係の資料をとりまとめた。第1次予備設計では、駆動型炉におけるTCT効果、不純物量、入射パワーと出力の関係を把握してプラズマ条件の運転域を検討することを目的とした。広範囲に炉心プラズマのパワーバランスの特性解析の出来るプログラムをできるだけ短期間に作成する必要から、まず空間依存性のないモデルを用いた。第1次予備設計の目的からはこのようなモデルでも十分であったが、第2次予備設計では、空間依存性とプラズマ-壁相互作用を考慮したより現実的なモデルを用いることにしている。また3.52 MeVアルファ粒子による加熱の空間分布及び減速時間に起因する時間遅れも考慮したパワーバランスの動特性解析も予定している。前者の加熱分布はドリフト運動方程式に基づく軌道計算から、後者の時間遅れはエネルギー群分け近似で解析される。これらのモデルは、一部は既にコード化されており他のものは現在テスト段階にある。しかしこれらの空間依存性を考慮した数値計算は相当時間がかかり解析範囲が限られるので、ある程度設計が進んだ段階で使用するのが望ましいと思われる。

ここで考慮した不純物効果は低Z材料の制動放射損失のみであるが、第2次予備設計では高Z材料も検討する予定である。

参 考 文 献

- (1) 炉設計研究室：“核融合実験炉第1次予備設計”，JAERI - M 7300 (1977)。
- (2) Dawson, J.M., et al.: Phys. Rev. Lett., 26, 1156 (1971)。
- (3) Rose, D.J., Clark, M., Jr.: "Plasmas and Controlled Fusion", (1961) P.81, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- (4) Duane, B.H.: BNWL-1685, P.75 (1972)。
- (5) Sivukhin, D.V.: "Reviews of Plasma Physics", Vol.4, (1966), P.93, Consultants Bureau, New York.
- (6) Butler, S.T., Buckingham, M.J.: Phys. Rev., 126, 1 (1962)。
- (7) Kesner, J., Conn, R.W.: Nuclear Fusion, 16, 397 (1976)。
- (8) Spitzer, L., Jr.: "Physics of Fully Ionized Gases", (1962), P.149, Interscience Publishers, New York.
- (9) Yoshikawa, S., Christofilos, N.C.: Proc. 4th Conf. on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, Madison, 1971, Vol. II, 357 (IAEA, Vienna, 1972)。
- (10) Kadomtsev, B.B., Pogutse, O.P.: Nuclear Fusion, 11, 67 (1971)。
- (11) Braginskii, S.I.: "Reviews of Plasma Physics", Vol.2, (1965), P.205, Consultants Bureau, New York.
- (12) Gibson, A.: "Course on the Stationary and the Quasi-Stationary Toroidal Reactors", Erice-Trapani, 1972, EUR 4999e, 45 (CID, Luxembourg, 1973)。
- (13) Sinnis, J., et al.: Phys. Rev. Lett., 30, 1214 (1972)。
- (14) Cohn, D.R., et al.: Nuclear Fusion, 16, 31 (1976)。
- (15) Dean, S.O., et al.: "Status and Objectives of Tokamak Systems for Fusion Research", WASH-1295, (1974)。
- (16) Dolan, T.J., Stansfield, B.L.: Nuclear Fusion, 13, 960 (1973)。

付録 数値解析プログラム“BAL TOK”とマニュアル

本文に示した一連の方程式を数値計算するプログラムの説明をする。このプログラムの機能は大きく2つに分けられる。前半部は反応率と高エネルギーイオンの減速過程（TCT効果を含む）を取扱う。後半部は前半部の結果を用いてパワーバランスの解析を行い、パワーバランスを満すプラズマパラメータを定める。Fig. A-1に全体の簡単なブロック図を示す。第2, 3章の諸式の計算はサブルーチン SLHEATが（Fig. A-1(a)）、第4章のパワーバランスの計算はサブルーチン PARAMが（Fig. A-1(b)）主体となる。それぞれに必要な補助プログラムがいくつかついている。

I. 入 力

A. 反応率係数及び減速計算のための入力（サブルーチン ARCONT で読み込む）

〔入力形式〕

Card 1 (20 A 4) : 表題

HOL

Card 2 (8 I 6) : オプション

MINJ, MAXW, MCOS, MXUP, IALF, MALF, IFAC, IXSPR

Card 3 (6 E 12.5) : 温度, ビームエネルギー及び積分エネルギー区間

TE, TT, TD, EB0, ELO, EUP

Card 4 (5 E 12.5) : 密度

ANE, PDT, RIE, RIE 1, RIE 2

Card 5 (6 E 12.5) : 不純物の質量及びイオン価

AMI, AMIM1, AMIM2, ZIMP, ZIMP 1, ZIMP 2

〔記号の説明〕

Card 2

MINJ : EUP と ELO 間の積分のエネルギー分割数（通常 300 でよい）。

MAXN : 零なら bulk plasma は Maxwell 分布, 零でなければ non-Maxwell 分布。

MCOS : MAXW \neq 0 の場合に使用。分布関数の角度 θ ((A-1) 式) についての積分の分割数（通常 60 でよい）。

MXUP : MAXW \neq 0 の場合に使用。エネルギー積分の上限を bulk plasma の温度 (TT) の MXUP 倍とする。(Maxwell 分布に近ければ通常 10 でよい。10 以下にすれば分布の truncation (例: ミラー炉) の効果⁽¹⁰⁾が算出できる。)

IALF : 零でなければ 3.52 MeV のアルファ粒子の減速計算を行う。

- MALF : アルファ粒子の減速計算 (3.52 MeV ~ ELO) におけるエネルギー分割数 (通常600でよい)。
- IFAC : 零でなければ反応率係数と減速計算 (TCT 効果含む) のみをやる。零の場合はパワーバランスの計算もする (PARAM の入力必要)。
- IXSPR : 正の場合は全ての計算結果を出力する。負なら各粒子のクーロン対数を除く全ての結果を出力する。零の場合、減速時間、高エネルギーイオン (ビーム, アルファ) が各粒子に与えるエネルギー量、高エネルギーイオンの平均エネルギー及び Q_B のみを出力する。

non-Maxwell 分布での反応率係数の計算式:

$$\langle \sigma v \rangle = \frac{\int_{E_{1L}}^{E_{1U}} dE_1 \int_{E_{2L}}^{E_{2U}} dE_2 \int_0^\pi d\theta f_1(E_1) f_2(E_2) \sin\theta v_r \sigma(v_r)}{\int_{E_{1L}}^{E_{1U}} dE_1 \int_{E_{2L}}^{E_{2U}} dE_2 \int_0^\pi d\theta f_1(E_1) f_2(E_2) \sin\theta} \quad (A-1)$$

$$\left. \begin{aligned} v_r^2 &= v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 v_2 \cos\theta \\ E_1 &= \frac{1}{2} m_1 v_1^2, \quad E_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \end{aligned} \right\} \quad (A-2)$$

ここで $E_{1U} = E_{2U} = TT * MXUP$, $E_{1L} = E_{2L} = ELO$ である。粒子1と2の分布関数 f_1 と f_2 はそれぞれサブルーチン FUNC 1 と FUNC 2 で与える。現在 Maxwell 分布をとりあえずプログラムしているが、使用者が別の non-Maxwell 分布関数に取り替える必要がある。なお積分区間のエネルギー分割は等レザージにしている (即ちビーム粒子に対しては $\ell n(EUP/ELO)/MINJ$, アルファ粒子に対しては $\ell n(3520/ELO)/MALF$ に等しいレザージ巾)。

Card 3

- TE : 電子温度 (keV)
- TT : bulk plasma の T 粒子の温度 (keV)。TT でイオン温度を代表させる。
- TD : bulk plasma の D 粒子の温度 (keV)
- EB0 : ビーム粒子の入射時のエネルギー (keV)。プログラムでは D 粒子を想定しているが、ビーム粒子の質量 (AMD) の設定を変えれば他の粒子を取扱うことができる。
- ELO : 減速計算におけるエネルギー下限 (keV) (通常 0.2 keV でよい)。
- EUP : Maxwell 分布に対する反応率係数の積分のエネルギー上限 (2000 keV で十分)。

Card 4

- ANE : 電子密度 (cm^{-3})
- PDT : D と T 粒子密度の比 (n_d/n_t)
- RIE, RIE 1, RIE 2 : 電子に対する不純物の密度比。3種類の不純物が取扱える。
不純物がなければ入力は不要。

Card 5

AMI, AMIM 1, AMIM 2 : 各不純物の質量 (水素Hを1とした単位)

ZIMP, ZIMP 1, ZIMP 2 : 各不純物のイオン価。

B. パワーバランス計算のための入力 (サブルーチンPARAMで読み込む)

[入力形式]

Card 1 (6E12.5) :

AKAI, FTIM, FNEB, FPSC FTE 1, FTE 2

Card 2 (6E12.5) :

POW, BT, BETP, QSF, RT, ASPT

Card 3 (6E12.5) :

PDT2, PWCH, RHE0, DRHE, PWCHX, EPSN

Card 4 (3I 6, 6F 6.3) : 空間分布

I PROF, MESH, IWT, MND, MNT, MTI, LND, LNT, LTI

I PROF $\neq 0$ なら次のカード必要

Card 4* (6E12.5) :

UWND, UWNT, UWTI

Card 5 (E 12.5) :

CONTND

[記号の説明]

Card 1

AKAI : 非円形度 (b/a)。入力しないとプログラム内で1.0にセットする。

FTIM : 捕獲イオン則の $n\tau$ の大きさを調整する比例定数 γ_{TI} ((4.38)式)

FNEB : 新ボーム拡散に対する同様の比例定数 γ_{NB} ((4.45)式)

FPSC : 擬古典拡散に対する同様の比例定数 γ_{PC} ((4.34)式)

FTE 1, FTE 2 : 捕獲電子不安定性による拡散則のタイプI とIIに対する同様の比例定数

γ_{E1}, γ_{E2} である。この拡散則は次式で与えられる。⁽¹⁵⁾

$$(n\tau)_{E1} = 2.84 \times 10^{15} \frac{B_t^6 R^4 \beta_{pe} Z_{eff}}{T_e^{11/2} q^4 A^{13/2}} \kappa_\ell^4 \cdot \gamma_{E1} \quad (A-3)$$

$$(n\tau)_{E2} = 1.59 \times 10^{14} \frac{B_t^2 R^2 \sqrt{T_e}}{q^2 A^{7/2} Z_{eff}} \kappa_\ell^2 \cdot \gamma_{E2} \quad (A-4)$$

入力しなければ以上の γ 値は全て1.0にセットされる。

Card 2

POW : 出力 (TCT 効果含む) を固定して計算したい場合 (Card 3 のオプションと関

連)に入力する (MW)。

- BT : プラズマ軸上のトロイダル磁場 (T)。
- BETP : 正ならポロイダルベータ値, 負ならその絶対値をトロイダルベータ値とみなす。
- QSF : 安全係数
- RT : 主半径 (m)
- ASPT : アスペクト比

Card 3

- PDT2 : 正の場合 T と電子の密度比 (RTE) をパラメータにする。零ならビームと電子の密度比 (RHE) を, 負なら D と T の密度比 (PDT) をそれぞれパラメータにする。計算の際何を (POW, PDT, RHE のいずれか) 固定するかは PWCH のオプションで決まる。
- PWCH : 零の場合出力 (POW) を固定する。零でなければ PDT2 のオプションに従って RHE, PDT のいずれかを固定する。
- RHE0 : 正または零の場合, RHE をパラメトリックに変える場合の最初の設定値。負の場合はその絶対値を Q_F 値としてそれを満す解を求める。
- DRHE : RHE をパラメトリックに変える場合 ($RHE0 \leq 0$) の変化分
- PWCHX: RHE をパラメトリックに変える回数。
- EPSN : 収束判定条件。入力しないと 0.001 にセットされる。

PDT2 と PWCH のオプションの組合せによる計算内容を表 A-1 に示す。

表 A-1 PDT2 と PWCH のオプションの組合せによる計算内容

PWCH	PDT2	固定されるパラメータ	変化するパラメータ	求められる主要パラメータ
正 または 負	正	RHE	RTE ^{a)}	POW
	零	PDT	RHE ^{b)}	POW
	負	RHE	PDT ^{c)}	POW
零	正	POW	RTE ^{a)}	RHE ^{*)}
	零	POW	RHE ^{b)}	RTE
	負	POW	PDT ^{c)}	RHE ^{*)}

$$a) : RTE = RTE_0 * (1 + 0.1 * x), x = 0 \sim 10 \tag{A-5}$$

$$RTE_0 = 0.5 * (n_d + n_t) / n_e$$

但し n_d, n_t, n_e は ARCONT の入力で決まる密度である。

$$b) : RHE = RHE_0 + (x - 1) * DRHE \tag{A-6}$$

$$x = 1 \sim PWCHX$$

$$c) : PDT = 0.1 * x \quad x = 0 \sim 10 \tag{A-7}$$

- *) : サブルーチン SOLRHE で計算。10 回以上の繰返し計算で求まらないときはサブルーチン INPRHE で内挿法で再度繰返し計算を試みる。それでも解が求まらないとその旨プリントして次のケースに移る。

Fig. A-2 に $PWCH \approx 0$, $PDT2 = 0$ の場合の計算の流れ図を示す。他のオプションの組合せの場合も同様の流れ図になる。

Card 4

I PROF : 零でない場合、密度と温度の空間分布の効果をパワーバランスに考慮する（比例則には考慮していない）。負にすると、高速アルファとビーム粒子の密度をパワーバランス計算で無視するオプションとして使える。

MESH : 空間メッシュ区間の数 (< 100)。

I WT : 零の場合、プラズマ温度の空間平均は密度を重みとする。零でない場合は温度平均に重みをつけない。

MND, LND : D の密度の空間分布を表わす指数

MNT, LNT : T の密度の空間分布を表わす指数

MTI, LTI : プラズマ温度の空間分布を表わす指数

これらの指数は本文中の (4.5) 式の m , n に対応する

Card 4*

UWND : プラズマ境界における D の密度

UWNT : プラズマ境界における T の密度

UWTI : プラズマ境界におけるプラズマ温度

これらの境界値は本文中の (4.5) 式の n_1 と T_1 に対応する。

Card 5

CONTND : 零の場合、PARAM の入力を新にしてパワーバランスの計算を続行する

(ARCONT の入力は生きている。即ちプラズマ温度、ビームエネルギー、不純物の種類と密度比などは変わらない)。零でない場合、ARCONT に戻る。

ARCONT で新に入力しなければ全計算は終了する。

II. 出力

プラズマパラメータを実験炉と同じにした計算例を示す。入力データは Fig. A-3 に与えられている。但しこの例では密度と温度分布に対して放物型を仮定している。出力量が多いので ($I XSPR = 1$) 一部のみを示してある。

Page 1~9 は ARCONT で出力されるもので、Page 1~2 はアルファ粒子の減速計算の結果であり残りは D 粒子 (200 keV) の減速と反応率の計算結果である。non-Maxwellian のオプションを使っているが ($MAXW = 1$) 現在 FUNC 1 と FUNC 2 に入っている関数は Maxwell 分布である。実際に non-Maxwell 分布を用いたければ適当な関数と入れ替える必要がある。

Page 10 は PARAM で出力されるパワーバランスの計算結果である。プラズマは円断面で $Q_P = 5$ としている。

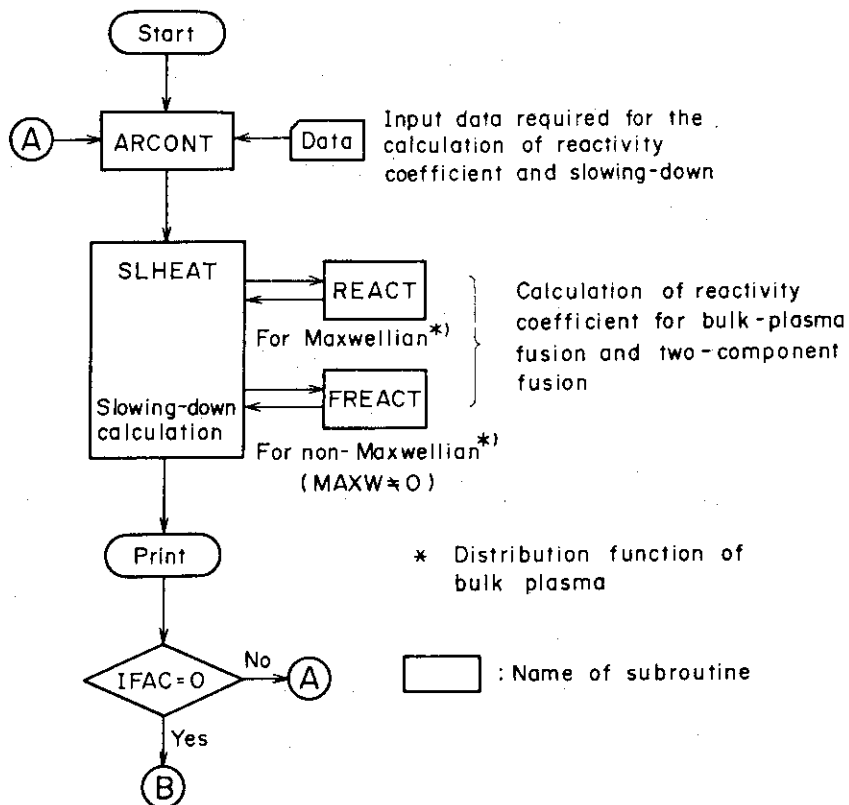


Fig.A-1(a) Flow diagram for reactivity coefficient and slowing-down calculations (main subroutine : SLHEAT)

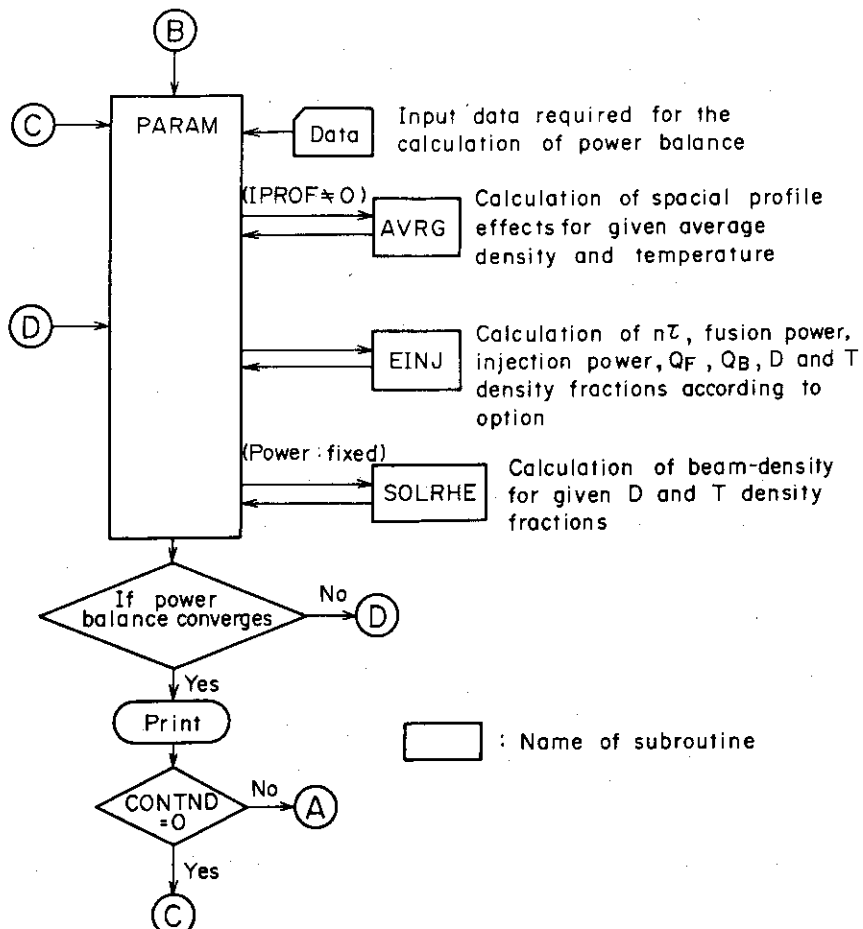


Fig.A-1(b) Flow diagram for power balance calculation (main subroutine : PARAM)

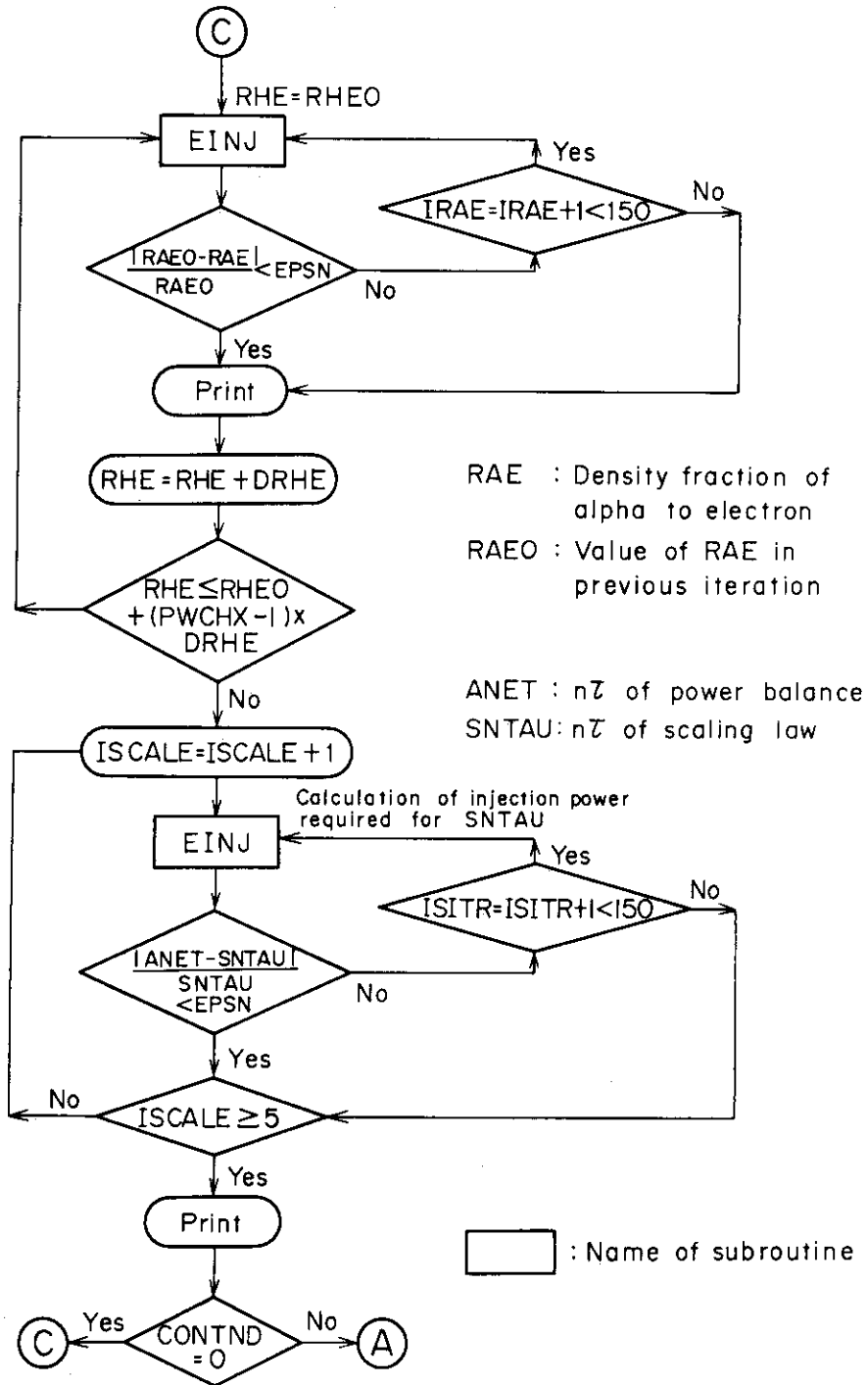


Fig. A-2 Flow diagram of PARAM for the calculation according to options PWCH=0 and PDT2=0 (power calculation with variation of injection power)

OUTPUT OBTAINED FROM INPUT DATA GIVEN IN FIG. A-3

** TE=7.0, TI=7.0, EB0=200, PDT=1.0 RIE=0.

*** ALPHA-PARTICLE ***

TEMPERATURE OF SPECIES (KEV)

ELECTRON ...	0.70000E+01	TRITON ...	0.70000E+01	DEUTERON ...	0.70000E+01
BEAM(M) ...	0.35200E+04				
EUP ...	0.35780E+04	ELO ...	0.20000E+00		

NUMBER DENSITIES (1/CM**3)

ELECTRON ...	0.10000E+15	TRITON ...	0.50000E+14	DEUTERON ...	0.50000E+14
IMPURITY ...	0.0		0.0		0.0

ATOMIC MASS OF IMPURITY ...	0.0	0.0	0.0
IONIC CHARGE OF IMPURITY ...	0.0	0.0	0.0

NUMBER OF MESHES ... MMXE = 600 MMXB = 598

JLAST (AREA SIZE) 23335

TAUE (SEC) 6.12413E-02 DEBYE LENGTH (CM) 4.39832E-03

RESULTS FOR SLOWING-DOWN OF ALPHA-PARTICLE

FINAL ENERGY - TRANSFERED ENERGY	
TRITON	1.06866E+01 - 2.08656E+02
DEUTERON	1.06866E+01 - 2.99196E+02
ELECTRON	1.06866E+01 - 2.94462E+03
FINAL ENERGY - SLOWING-DOWN TIME(SEC)	
TRITON	7.34043E+00 - 7.87032E+00
DEUTERON	8.09607E+00 - 5.31866E+00
ELECTRON	1.05135E+01 - 1.14000E+00
MIXTURE	1.06866E+01 - 2.89915E-01
FINAL ENERGY - AVERAGE ENERGY	1.06866E+01 1.15121E+03

** TE=7.0, TI=7.0 ,EB0=200, PDT=1.0 RIE=0.

*** BEAM-INJECTION ***

AVERAGING ... NON-MAXWELLIAN

MCOS = 60 MXUP = 10

TEMPERATURE OF SPECIES (KEV)

ELECTRON ...	0.70000E+01	TRITON ...	0.70000E+01	DEUTERON ...	0.70000E+01
BEAM(M) ...	0.20000E+03				
EUP ...	0.20000E+04	ELO ...	0.20000E+00		

NUMBER DENSITIES (1/CM**3)

ELECTRON ...	0.10000E+15	TRITON ...	0.50000E+14	DEUTERON ...	0.50000E+14
IMPURITY ...	0.0		0.0		0.0

ATOMIC MASS OF IMPURITY ... 0.0
 IONIC CHARGE OF IMPURITY ... 0.0

NUMBER OF MESHES ... MMXE = 300 MMXB = 225

JLAST (AREA SIZE) ... 9153

TAUE (SEC) ... 1.23276E-01 DEBYE LENGTH (CM) ... 4.39832E-03

FUSION CROSS SECTION FOR D-T REACTION(BARNs)

ENERGY(KEV) - CROSS SECTION		ENERGY(KEV) - CROSS SECTION	
2.0000E+03	1.3422E-01	1.9395E+03	1.3638E-01
1.7688E+03	1.4341E-01	1.7153E+03	1.4597E-01
1.5646E+03	1.5438E-01	1.5171E+03	1.5746E-01
1.3836E+03	1.6770E-01	1.3418E+03	1.7149E-01
1.2237E+03	1.8414E-01	1.1867E+03	1.8888E-01
1.0823E+03	2.0469E-01	1.0496E+03	2.1062E-01
9.5726E+02	2.3065E-01	9.2831E+02	2.3818E-01
8.4663E+02	2.6370E-01	8.2103E+02	2.7331E-01
7.4879E+02	3.0602E-01	7.2615E+02	3.1830E-01
6.6242E+02	3.6040E-01	6.4223E+02	3.6280E-01
5.8572E+02	4.3042E-01	5.6802E+02	4.5088E-01
5.1804E+02	5.2066E-01	5.0237E+02	5.4702E-01
4.5817E+02	6.3687E-01	4.4432E+02	6.4707E-01
4.0522E+02	7.8624E-01	3.9297E+02	8.2976E-01
3.5839E+02	9.7575E-01	3.4756E+02	1.0335E+00
3.1697E+02	1.2212E+00	3.0739E+02	1.2917E+00
2.8034E+02	1.5289E+00	2.7187E+02	1.6171E+00
2.4795E+02	1.9118E+00	2.4043E+02	2.0204E+00
2.1929E+02	2.4248E+00	2.1266E+02	2.5079E+00
1.9395E+02	3.2248E+00	1.8809E+02	3.0721E+00
1.7153E+02	4.5294E+00	1.6635E+02	3.6837E+00
1.5171E+02	6.4338E+00	1.4712E+02	4.2740E+00
1.3418E+02	9.1341E+00	1.3012E+02	4.7339E+00
1.1867E+02	1.1867E+01	1.1508E+02	4.9397E+00
1.0496E+02	1.5842E+01	1.0178E+02	4.8099E+00
9.2831E+02	2.1189E+01	8.9397E+01	4.8099E+00
8.2103E+02	2.8248E+01	8.0025E+01	4.3638E+00
7.2615E+02	3.8849E+01	7.1962E+01	3.7095E+00
6.4223E+02	5.2629E+01	6.4222E+01	2.8990E+00
5.6802E+02	7.0862E+01	5.6846E+01	1.7094E+00
5.0237E+02	9.5064E+01	4.9878E+01	1.2344E+00
4.4432E+02	1.2672E+02	4.3088E+01	8.6867E-01
3.9297E+02	1.6567E+02	3.8109E+01	5.9643E-01
3.4756E+02	2.1090E+02	3.3705E+01	3.9953E-01
3.0739E+02	2.7873E+02	2.9810E+01	2.6089E-01
2.7187E+02	3.8092E+02	2.6365E+01	1.6569E-01
2.4043E+02	5.1565E+02	2.3318E+01	1.0219E-01
2.1266E+02	6.9667E+02	2.0623E+01	6.1062E-02
1.8809E+02	9.4057E+02	1.8240E+01	3.5249E-02
1.6635E+02	1.2787E+03	1.6132E+01	1.9608E-02
1.4712E+02	1.7304E+03	1.4268E+01	1.0479E-02
1.3012E+02	2.3687E+03	1.2619E+01	5.3644E-03
1.1508E+02	3.1500E+03	1.1160E+01	2.6219E-03
1.0178E+02	4.1838E+03	9.8710E+00	1.2194E-03
9.0025E+01	5.6339E+03	8.7503E+00	5.3781E-04
7.9621E+01	7.6240E+03	7.7214E+00	2.2407E-04
7.0420E+01	1.0167E+04	6.8291E+00	8.7849E-05
6.2282E+01	1.3587E+04	6.0399E+00	3.2271E-05
5.5084E+01	1.8587E+04	5.3419E+00	1.1065E-05
4.8718E+01	2.4240E+04	4.7259E+00	3.5230E-06
4.3088E+01	3.1854E+04	4.1185E+00	1.0563E-06
3.8109E+01	4.1932E+04	3.6109E+00	3.2926E-07
3.3705E+01	5.5296E+04	3.2686E+00	9.9219E-08
2.9810E+01	7.2891E+04	2.8908E+00	6.9420E-08
2.6365E+01	9.7635E+04	2.5568E+00	4.7635E-09
2.3318E+01	1.3187E+05	2.2613E+00	3.1758E-09
2.0623E+01	1.8018E+05	1.9963E+00	2.1929E-10
1.8240E+01	2.4164E+05	1.7688E+00	1.5358E-11
1.6132E+01	3.2189E+05	1.5644E+00	1.0633E-11
1.4268E+01	4.3299E+05	1.3836E+00	7.1822E-12
1.2619E+01	5.8299E+05	1.2189E+00	4.8226E-12
1.1160E+01	7.8299E+05	1.0698E+00	3.2999E-13
9.8710E+00	1.0698E+06	9.2926E+00	1.4266E+00
8.7503E+00	1.4266E+06	8.7503E+00	1.6132E+00
7.7214E+00	1.9395E+06	8.2103E+00	1.7153E+00
6.8291E+00	2.6370E+06	7.2615E+00	1.8414E+00
6.0399E+00	3.5839E+06	6.4223E+00	1.9395E+00
5.3644E+00	4.8572E+06	5.6802E+00	2.0469E+00
4.7331E+00	6.4223E+06	4.9283E+00	2.3065E+00
4.2740E+00	8.4663E+06	4.4432E+00	2.6370E+00
3.7095E+00	1.1508E+07	3.9297E+00	2.9831E+00
3.2990E+00	1.5646E+07	3.4756E+00	3.4756E+00
2.8990E+00	2.1090E+07	3.0739E+00	3.9297E+00
2.5079E+00	2.8248E+07	2.7187E+00	4.4432E+00
2.1266E+00	3.8092E+07	2.4043E+00	4.9283E+00
1.7688E+00	5.1565E+07	2.1266E+00	5.4702E+00
1.4712E+00	6.9667E+07	1.8809E+00	6.0399E+00
1.2619E+00	9.4057E+07	1.6635E+00	6.6242E+00
1.0698E+00	1.2787E+08	1.4597E+00	7.2615E+00
9.2926E+00	1.7304E+08	1.2619E+00	7.9621E+00
8.2103E+00	2.3687E+08	1.0823E+00	8.7503E+00
7.2615E+00	3.1500E+08	9.5726E+00	9.5726E+00
6.4223E+00	4.1838E+08	8.9397E+00	1.0496E+01
5.6802E+00	5.6339E+08	8.2103E+00	1.1508E+01
4.9283E+00	7.6240E+08	7.2615E+00	1.2619E+01
4.2740E+00	1.0167E+09	6.4223E+00	1.3836E+01
3.7095E+00	1.3587E+09	5.6802E+00	1.5171E+01
3.2990E+00	1.8587E+09	4.9283E+00	1.6770E+01
2.8990E+00	2.4240E+09	4.3088E+00	1.8414E+01
2.5079E+00	3.1854E+09	3.8109E+00	1.9395E+01
2.1266E+00	4.1932E+09	3.3705E+00	2.0469E+01
1.7688E+00	5.5296E+09	2.9810E+00	2.1090E+01
1.4712E+00	7.2891E+09	2.6365E+00	2.1867E+01
1.2619E+00	9.7635E+09	2.3318E+00	2.2615E+01
1.0698E+00	1.3187E+10	2.0623E+00	2.3418E+01
9.2926E+00	1.8018E+10	1.8240E+00	2.4223E+01
8.2103E+00	2.4164E+10	1.6132E+00	2.5079E+01
7.2615E+00	3.2189E+10	1.4268E+00	2.5839E+01
6.4223E+00	4.3299E+10	1.2619E+00	2.6635E+01
5.6802E+00	5.8299E+10	1.1160E+00	2.7487E+01
4.9283E+00	7.8299E+10	1.0178E+00	2.8297E+01
4.2740E+00	1.0698E+11	9.0025E+00	2.9109E+01
3.7095E+00	1.4266E+11	8.2103E+00	2.9926E+01
3.2990E+00	1.9395E+11	7.2615E+00	3.0739E+01
2.8990E+00	2.6370E+11	6.4223E+00	3.1508E+01
2.5079E+00	3.5839E+11	5.6802E+00	3.2307E+01
2.1266E+00	4.8572E+11	4.9283E+00	3.3118E+01
1.7688E+00	6.4223E+11	4.2740E+00	3.3926E+01
1.4712E+00	8.4663E+11	3.7095E+00	3.4756E+01
1.2619E+00	1.1508E+12	3.2990E+00	3.5584E+01
1.0698E+00	1.5646E+12	2.8990E+00	3.6418E+01
9.2926E+00	2.1090E+12	2.5079E+00	3.7266E+01
8.2103E+00	2.8248E+12	2.1266E+00	3.8118E+01
7.2615E+00	3.8092E+12	1.8809E+00	3.8988E+01
6.4223E+00	5.1565E+12	1.6635E+00	3.9868E+01
5.6802E+00	6.9667E+12	1.4597E+00	4.0759E+01
4.9283E+00	9.4057E+12	1.2619E+00	4.1660E+01
4.2740E+00	1.2787E+13	1.0823E+00	4.2572E+01
3.7095E+00	1.7304E+13	9.5726E+00	4.3487E+01
3.2990E+00	2.3687E+13	8.7503E+00	4.4414E+01
2.8990E+00	3.1500E+13	7.7214E+00	4.5353E+01
2.5079E+00	4.1838E+13	6.8291E+00	4.6294E+01
2.1266E+00	5.6339E+13	6.0399E+00	4.7246E+01
1.7688E+00	7.6240E+13	5.3644E+00	4.8209E+01
1.4712E+00	1.0167E+14	4.7331E+00	4.9184E+01
1.2619E+00	1.3587E+14	4.2740E+00	5.0171E+01
1.0698E+00	1.8587E+14	3.7095E+00	5.1171E+01
9.2926E+00	2.4240E+14	3.2990E+00	5.2184E+01
8.2103E+00	3.1854E+14	2.8990E+00	5.3209E+01
7.2615E+00	4.1932E+14	2.5079E+00	5.4256E+01
6.4223E+00	5.5296E+14	2.1266E+00	5.5314E+01
5.6802E+00	7.2891E+14	1.8809E+00	5.6384E+01
4.9283E+00	9.7635E+14	1.6635E+00	5.7466E+01
4.2740E+00	1.3187E+15	1.4597E+00	5.8560E+01
3.7095E+00	1.8018E+15	1.2619E+00	5.9666E+01
3.2990E+00	2.4164E+15	1.0823E+00	6.0784E+01
2.8990E+00	3.2189E+15	9.0025E+00	6.1914E+01
2.5079E+00	4.3299E+15	8.2103E+00	6.3056E+01
2.1266E+00	5.8299E+15	7.2615E+00	6.4211E+01
1.7688E+00	7.8299E+15	6.4223E+00	6.5379E+01
1.4712E+00	1.0698E+16	5.6802E+00	6.6560E+01
1.2619E+00	1.4266E+16	4.9283E+00	6.7754E+01
1.0698E+00	1.9395E+16	4.2740E+00	6.8964E+01
9.2926E+00	2.6370E+16	3.7095E+00	7.0188E+01
8.2103E+00	3.5839E+16	3.2990E+00	7.1427E+01
7.2615E+00	4.8572E+16	2.8990E+00	7.2681E+01
6.4223E+00	6.4223E+16	2.5079E+00	7.3950E+01
5.6802E+00	8.4663E+16	2.1266E+00	7.5234E+01
4.9283E+00	1.1508E+17	1.8809E+00	7.6533E+01
4.2740E+00	1.5646E+17	1.6635E+00	7.7847E+01
3.7095E+00	2.1090E+17	1.4597E+00	7.9176E+01
3.2990E+00	2.8248E+17	1.2619E+00	8.0520E+01
2.8990E+00	3.8092E+17	1.0823E+00	8.1879E+01
2.5079E+00	5.1565E+17	9.0025E+00	8.3254E+01
2.1266E+00	6.9667E+17	8.2103E+00	8.4645E+01
1.7688E+00	9.4057E+17	7.2615E+00	8.6041E+01
1.4712E+00	1.2787E+18	6.4223E+00	8.7453E+01
1.2619E+00	1.7304E+18	5.6802E+00	8.8881E+01
1.0698E+00	2.3687E+18	4.9283E+00	9.0326E+01
9.2926E+00	3.1500E+18	4.2740E+00	9.1787E+01
8.2103E+00	4.1838E+18	3.7095E+00	9.3264E+01
7.2615E+00	5.6339E+18	3.2990E+00	9.4768E+01
6.4223E+00	7.6240E+18	2.8990E+00	9.6339E+01
5.6802E+00	1.0167E+19	2.5079E+00	9.7976E+01
4.9283E+00	1.3587E+19	2.1266E+00	9.9684E+01
4.2740E+00	1.8587E+19	1.8809E+00	1.0144E+02
3.7095E+00	2.4240E+19	1.6635E+00	1.0317E+02
3.2990E+00	3.2189E+19	1.4597E+00	1.0496E+02
2.8990E+00	4.3299E+19	1.2619E+00	1.0681E+02
2.5079E+00	5.8299E+19	1.0823E+00	1.0871E+02
2.1266E+00	7.8299E+19	9.0025E+00	1.1066E+02
1.7688E+00	1.0698E+20	8.2103E+00	1.1266E+02
1.4712E+00	1.4266E+20	7.2615E+00	1.1471E+02
1.2619E+00	1.9395E+20	6.4223E+00	1.1681E+02
1.0698E+00	2.6370E+20	5.6802E+00	1.1896E+02
9.2926E+00	3.5839E+20	4.9283E+00	1.2116E+02
8.2103E+00	4.8572E+20	4.2740E+00	1.2341E+02
7.2615E+00	6.4223E+20	3.7095E+00	1.2571E+02
6.4223E+00	8.4663E+20	3.2990E+00	1.2806E+02
5.6802E+00	1.1508E+21	2.8990E+00	1.3046E+02
4.9283E+00	1.5646E+21	2.5079E+00	1.3291E+02
4.2740E+00	2.1090E+21	2.1266E+00	1.3541E+02
3.7095E+00	2.8248E+21	1.8809E+00	1.3796E+02
3.2990E+00	3.8092E+21	1.6635E+00	1.4056E+02
2.8990E+00	5.1565E+21	1.4597E+00	1.4321E+02
2.5079E+00	6.9667E+21	1.2619E+00	1.4591E+02
2.1266E+00	9.4057E+21	1.0823E+00	1.4866E+02
1.7688E			

1.26192E+00	3.28731E-14	1.22376E+00	1.79552E-14	1.18676E+00	9.75537E-15	1.15088E+00	5.23617E-15
1.11609E+00	2.78232E-15	1.08234E+00	1.46337E-15	1.04962E+00	7.61709E-16	1.01788E+00	3.92319E-16
9.87107E-01	1.99510E-16	9.37262E-01	1.00763E-16	9.28319E-01	1.00763E-16	9.00252E-01	2.47605E-17
8.73033E-01	1.20670E-17	8.46637E-01	5.81315E-18	8.21039E-01	5.02308E-17	7.96216E-01	1.30209E-18
7.72142E-01	6.03198E-19	7.48797E-01	2.77848E-19	7.26157E-01	2.76770E-18	7.04202E-01	5.63965E-20
6.82911E-01	2.49240E-20	6.62263E-01	1.08717E-20	6.42240E-01	1.25976E-19	6.22822E-01	1.98720E-21
6.03991E-01	8.33392E-22	5.85730E-01	3.83848E-22	5.68021E-01	4.67932E-21	5.50847E-01	5.62245E-23
5.34192E-01	2.22461E-23	5.18041E-01	1.71958E-23	5.02378E-01	1.40044E-22	4.87189E-01	1.25967E-24
4.72459E-01	4.69094E-25	4.58174E-01	1.71958E-25	4.44322E-01	3.35039E-24	4.30888E-01	2.20196E-26
4.17860E-01	7.68805E-27	4.05226E-01	2.63967E-27	3.92974E-01	6.20359E-26	3.81093E-01	2.95632E-28
3.69571E-01	9.63798E-29	3.58397E-01	3.08666E-29	3.47361E-01	8.91047E-28	3.37052E-01	2.99789E-30
3.26862E-01	9.08643E-31	3.16979E-01	2.70239E-31	3.07395E-01	9.70821E-30	2.98101E-01	2.25569E-32
2.89088E-01	6.32694E-33	2.80348E-01	1.73926E-33	2.71187E-01	7.88414E-32	2.63652E-01	1.23375E-34
2.55680E-01	3.19189E-35	2.47940E-01	8.06990E-36	2.40455E-01	4.68444E-34	2.33183E-01	4.83099E-37
2.26133E-01	1.14318E-37	2.19296E-01	2.64397E-38	2.12666E-01	1.99640E-36	2.06236E-01	1.31921E-39

REACTIVITY OF D-T REACTION FOR DELTA-INJECTION

ENERGY(KEV)	REACTIVITY(CM**3/S)
2.0000E+02	1.9488E+15
1.7688E+02	1.9393E+02
1.5646E+02	1.7159E+02
1.4805E+02	1.5171E+02
1.4237E+02	1.4287E+15
1.3836E+02	1.3418E+02
1.2237E+02	1.1867E+02
1.0723E+02	1.0496E+02
9.5826E+01	9.2834E+01
8.4663E+01	8.2103E+01
7.4879E+01	7.2615E+01
6.6226E+01	6.2638E+01
5.8572E+01	5.4280E+01
5.1804E+01	4.7237E+01
4.5917E+01	4.1483E+01
4.0522E+01	3.6927E+01
3.5639E+01	3.3475E+01
3.1197E+01	3.0739E+01
2.8034E+01	2.8171E+01
2.4951E+01	2.6043E+01
2.1929E+01	2.4266E+01
1.9393E+01	2.2818E+01
1.7153E+01	2.1880E+01
1.5171E+01	2.1129E+01
1.3418E+01	2.0508E+01
1.1867E+01	2.0044E+01
1.0496E+01	1.9737E+01
9.2834E+00	1.9535E+01
8.2103E+00	1.9423E+01
7.2615E+00	1.9407E+01
6.4280E+00	1.9485E+01
5.6927E+00	1.9653E+01
5.0522E+00	1.9909E+01
4.5171E+00	2.0242E+01
4.0522E+00	2.0674E+01
3.6927E+00	2.1197E+01
3.3475E+00	2.1867E+01
3.0739E+00	2.2653E+01
2.8171E+00	2.3560E+01
2.6043E+00	2.4593E+01
2.4266E+00	2.5759E+01
2.2818E+00	2.7054E+01
2.1880E+00	2.8488E+01
2.1129E+00	2.9974E+01
2.0508E+00	3.1612E+01
2.0044E+00	3.3395E+01
1.9737E+00	3.5330E+01
1.9535E+00	3.7524E+01
1.9423E+00	3.9888E+01
1.9407E+00	4.2481E+01
1.9485E+00	4.5336E+01
1.9653E+00	4.8488E+01
1.9909E+00	5.1951E+01
2.0242E+00	5.5736E+01
2.0674E+00	5.9861E+01
2.1197E+00	6.4344E+01
2.1867E+00	6.9188E+01
2.2653E+00	7.4411E+01
2.3560E+00	7.9922E+01
2.4593E+00	8.5655E+01
2.5759E+00	9.1744E+01
2.7054E+00	9.8211E+01
2.8488E+00	1.0511E+02
2.9974E+00	1.1244E+02
3.1612E+00	1.2033E+02
3.3395E+00	1.2888E+02
3.5330E+00	1.3811E+02
3.7524E+00	1.4811E+02
3.9888E+00	1.5888E+02
4.2481E+00	1.7044E+02
4.5336E+00	1.8288E+02
4.8488E+00	1.9622E+02
5.1951E+00	2.1144E+02
5.5736E+00	2.2811E+02
5.9861E+00	2.4655E+02
6.4344E+00	2.6688E+02
6.9188E+00	2.8933E+02
7.4411E+00	3.1411E+02
7.9922E+00	3.4133E+02
8.5655E+00	3.7111E+02
9.1744E+00	4.0466E+02
9.8211E+00	4.4177E+02
1.0511E+01	4.8288E+02
1.1244E+01	5.2833E+02
1.2033E+01	5.7866E+02
1.2888E+01	6.3311E+02
1.3811E+01	6.9288E+02
1.4811E+01	7.5733E+02
1.5888E+01	8.2688E+02
1.7044E+01	9.0177E+02
1.8288E+01	9.8244E+02
1.9622E+01	1.0700E+03
2.1144E+01	1.1733E+03
2.2811E+01	1.2933E+03
2.4655E+01	1.4311E+03
2.6688E+01	1.5866E+03
2.8933E+01	1.7611E+03
3.1411E+01	1.9566E+03
3.4133E+01	2.1733E+03
3.7111E+01	2.4088E+03
4.0466E+01	2.6688E+03
4.4177E+01	2.9566E+03
4.8288E+01	3.2777E+03
5.2833E+01	3.6333E+03
5.7866E+01	4.0288E+03
6.3311E+01	4.4588E+03
6.9288E+01	4.9311E+03
7.5733E+01	5.4466E+03
8.2688E+01	5.9933E+03
9.0177E+01	6.5811E+03
9.8244E+01	7.2177E+03
1.0700E+02	7.8933E+03
1.1733E+02	8.6177E+03
1.2933E+02	9.3933E+03
1.4311E+02	1.0244E+04
1.5866E+02	1.1188E+04
1.7611E+02	1.2266E+04
1.9566E+02	1.3466E+04
2.1733E+02	1.4833E+04
2.4088E+02	1.6377E+04
2.6688E+02	1.8111E+04
2.8933E+02	1.9988E+04
3.1411E+02	2.2133E+04
3.4133E+02	2.4566E+04
3.7111E+02	2.7288E+04
4.0466E+02	3.0366E+04
4.4177E+02	3.3833E+04
4.8288E+02	3.7711E+04
5.2833E+02	4.1966E+04
5.7866E+02	4.6488E+04
6.3311E+02	5.1411E+04
6.9288E+02	5.6177E+04
7.5733E+02	6.1288E+04
8.2688E+02	6.6933E+04
9.0177E+02	7.3566E+04
9.8244E+02	8.0511E+04
1.0700E+03	8.8177E+04
1.1733E+03	9.6488E+04
1.2933E+03	1.0566E+05
1.4311E+03	1.1733E+05
1.5866E+03	1.3088E+05
1.7611E+03	1.4633E+05
1.9566E+03	1.6377E+05
2.1733E+03	1.8333E+05
2.4088E+03	2.0511E+05
2.6688E+03	2.2933E+05
2.8933E+03	2.5611E+05
3.1411E+03	2.8566E+05
3.4133E+03	3.1833E+05
3.7111E+03	3.5466E+05
4.0466E+03	3.9488E+05
4.4177E+03	4.3933E+05
4.8288E+03	4.8833E+05
5.2833E+03	5.4177E+05
5.7866E+03	5.9988E+05
6.3311E+03	6.6311E+05
6.9288E+03	7.3066E+05
7.5733E+03	8.0288E+05
8.2688E+03	8.8066E+05
9.0177E+03	9.6466E+05
9.8244E+03	1.0555E+06
1.0700E+04	1.1588E+06
1.1733E+04	1.2766E+06
1.2933E+04	1.4088E+06
1.4311E+04	1.5566E+06
1.5866E+04	1.7233E+06
1.7611E+04	1.9111E+06
1.9566E+04	2.1188E+06
2.1733E+04	2.3488E+06
2.4088E+04	2.6066E+06
2.6688E+04	2.8966E+06
2.8933E+04	3.2233E+06
3.1411E+04	3.5911E+06
3.4133E+04	4.0000E+06
3.7111E+04	4.4566E+06
4.0466E+04	4.9633E+06
4.4177E+04	5.5266E+06
4.8288E+04	6.1511E+06
5.2833E+04	6.8388E+06
5.7866E+04	7.5833E+06
6.3311E+04	8.3911E+06
6.9288E+04	9.2566E+06
7.5733E+04	1.0188E+07
8.2688E+04	1.1288E+07
9.0177E+04	1.2533E+07
9.8244E+04	1.3933E+07
1.0700E+05	1.5488E+07
1.1733E+05	1.7211E+07
1.2933E+05	1.9133E+07
1.4311E+05	2.1188E+07
1.5866E+05	2.3466E+07
1.7611E+05	2.5988E+07
1.9566E+05	2.8766E+07
2.1733E+05	3.1833E+07
2.4088E+05	3.5211E+07
2.6688E+05	3.8866E+07
2.8933E+05	4.2833E+07
3.1411E+05	4.7211E+07
3.4133E+05	5.1933E+07
3.7111E+05	5.7011E+07
4.0466E+05	6.2466E+07
4.4177E+05	6.8333E+07
4.8288E+05	7.4611E+07
5.2833E+05	8.1333E+07
5.7866E+05	8.8511E+07
6.3311E+05	9.6177E+07
6.9288E+05	1.0433E+08
7.5733E+05	1.1300E+08
8.2688E+05	1.2266E+08
9.0177E+05	1.3333E+08
9.8244E+05	1.4511E+08
1.0700E+06	1.5811E+08
1.1733E+06	1.7233E+08
1.2933E+06	1.8788E+08
1.4311E+06	2.0488E+08
1.5866E+06	2.2333E+08
1.7611E+06	2.4366E+08
1.9566E+06	2.6511E+08
2.1733E+06	2.8833E+08
2.4088E+06	3.1333E+08
2.6688E+06	3.4066E+08
2.8933E+06	3.7011E+08
3.1411E+06	4.0188E+08
3.4133E+06	4.3566E+08
3.7111E+06	4.7188E+08
4.0466E+06	5.1066E+08
4.4177E+06	5.5233E+08
4.8288E+06	5.9711E+08
5.2833E+06	6.4466E+08
5.7866E+06	6.9511E+08
6.3311E+06	7.4866E+08
6.9288E+06	8.0511E+08
7.5733E+06	8.6466E+08
8.2688E+06	9.2711E+08
9.0177E+06	9.9233E+08
9.8244E+06	1.0611E+09
1.0700E+07	1.1333E+09
1.1733E+07	1.2111E+09
1.2933E+07	1.2966E+09
1.4311E+07	1.3888E+09
1.5866E+07	1.4888E+09
1.7611E+07	1.5966E+09
1.9566E+07	1.7133E+09
2.1733E+07	1.8388E+09
2.4088E+07	1.9733E+09
2.6688E+07	2.1188E+09
2.8933E+07	2.2766E+09
3.1411E+07	2.4466E+09
3.4133E+07	2.6288E+09
3.7111E+07	2.8233E+09
4.0466E+07	3.0366E+09
4.4177E+07	3.2611E+09
4.8288E+07	3.5066E+09
5.2833E+07	3.7666E+09
5.7866E+07	4.0433E+09
6.3311E+07	4.3388E+09
6.9288E+07	4.6511E+09
7.5733E+07	4.9811E+09
8.2688E+07	5.3266E+09
9.0177E+07	5.6866E+09
9.8244E+07	6.0633E+09
1.0700E+08	6.4566E+09
1.1733E+08	6.8666E+09
1.2933E+08	7.2933E+09
1.4311E+08	7.7366E+09
1.5866E+08	8.1966E+09
1.7611E+08	8.6733E+09
1.9566E+08	9.1666E+09
2.1733E+08	9.6766E+09
2.4088E+08	1.0200E+10
2.6688E+08	1.0766E+10
2.8933E+08	1.1366E+10
3.1411E+08	1.1988E+10
3.4133E+08	1.2633E+10
3.7111E+08	1.3311E+10
4.0466E+08	1.4011E+10
4.4177E+08	1.4733E+10
4.8288E+08	1.5488E+10
5.2833E+08	1.6266E+10
5.7866E+08	1.7066E+10
6.3311E+08	1.7888E+10
6.9288E+08	1.8733E+10
7.5733E+08	1.9611E+10
8.2688E+08	2.0511E+10
9.0177E+08	2.1433E+10
9.8244E+08	2.2388E+10
1.0700E+09	2.3366E+10
1.1733E+09	2.4388E+10
1.2933E+09	2.5433E+10
1.4311E+09	2.6511E+10
1.5866E+09	2.7633E+10
1.7611E+09	2.8788E+10
1.9566E+09	2.9966E+10
2.1733E+09	3.1188E+10
2.4088E+09	3.2466E+10
2.6688E+09	3.3811E+10
2.8933E+09	3.5233E+10
3.1411E+09	3.6666E+10
3.4133E+09	3.8166E+10
3.7111E+09	3.9766E+10
4.0466E+09	4.1433E+10
4.4177E+09	4.3166E+10
4.8288E+09	4.4966E+10
5.2833E+09	4.6888E+10
5.7866E+09	4.8911E+10
6.3311E+09	5.1033E+10
6.9288E+09	5.3266E+10
7.5733E+09	5.5611E+10
8.2688E+09	5.8066E+10
9.0177E+09	6.0633E+10
9.8244E+09	6.3311E+10
1.0700E+10	6.6066E+10
1.1733E+10	6.8966E+10
1.2933E+10	7.2033E+10
1.4311E+10	7.5266E+10
1.5866E+10	7.8666E+10
1.7611E+10	8.2233E+10
1.9566E+10	8.5966E+10
2.1733E+10	8.9866E+10
2.4088E+10	9.3933E+10
2.6688E+10	9.8166E+10
2.8933E+10	1.0255E+11
3.1411E+10	1.0766E+11
3.4133E+10	1.1311E+11
3.7111E+10	1.1888E+11
4.0466E+10	1.2488E+11
4.4177E+10	1.3166E+11
4.8288E+10	1.3866E+11
5.2833E+10	1.4588E+11
5.7866E+10	1.5333E+11
6.3311E+10	1.6111E+11
6.9288E+10	1.6911E+11
7.5733E+10	1.7733E+11
8.2688E+10	1.8588E+11
9.0177E+10	1.9466E+11
9.8244E+10	2.0366E+11
1.0700E+11	2.1288E+11
1.1733E+11	2.2233E+11
1.2933E+11	2.3211E+11
1.4311E+11	2.4211E+11
1.5866E+11	2.5233E+11
1.7611E+11	2.6288E+11
1.9566E+11	2.7366E+11
2.1733E+11	2.8466E+11
2.4088E+11	2.9588E+11
2.6688E+11	3.0733E+11
2.8933E+11	3.1911E+11
3.1411E+11	3.

BEAM PARTICLE DENSITY FOR UNIT INJECTION RATE (PER UNIT ENERGY INTERVAL)			
2.0000E+02	3.45518E-20	1.93953E+02	7.34653E-04
1.76887E+02	7.64681E-04	1.71539E+02	7.74196E-04
1.56446E+02	8.01038E-04	1.51716E+02	8.09364E-04
1.38366E+02	8.32295E-04	1.34183E+02	8.39211E-04
1.22376E+02	8.57879E-04	1.18676E+02	8.63501E-04
1.08224E+02	8.78356E-04	1.04962E+02	8.82570E-04
9.57260E+01	8.92794E-04	9.28318E+01	8.95392E-04
8.46636E+01	9.00805E-04	8.21038E+01	9.01818E-04
7.48796E+01	9.02606E-04	7.26156E+01	9.02138E-04
6.62262E+01	8.98682E-04	6.42239E+01	8.96885E-04
5.85729E+01	8.89768E-04	5.68020E+01	8.86877E-04
5.18040E+01	8.76882E-04	5.02377E+01	8.73180E-04
4.58174E+01	8.61301E-04	4.44321E+01	8.57163E-04
4.05226E+01	8.44602E-04	3.92974E+01	8.40459E-04
3.58396E+01	8.28591E-04	3.47560E+01	8.24930E-04
3.16979E+01	8.15282E-04	3.07395E+01	8.12627E-04
2.80348E+01	8.06859E-04	2.71871E+01	8.05789E-04
2.47950E+01	8.05707E-04	2.40453E+01	8.06865E-04
2.19296E+01	8.14560E-04	2.12665E+01	8.18712E-04
1.93953E+01	8.36806E-04	1.88089E+01	8.44965E-04
1.71539E+01	8.77106E-04	1.66353E+01	8.90748E-04
1.51716E+01	9.42516E-04	1.47129E+01	9.64017E-04
1.34183E+01	1.04481E-03	1.30126E+01	1.07834E-03
1.18676E+01	1.20552E-03	1.15088E+01	1.25916E-03
1.82402E+02	1.88089E+02	7.44893E-04	7.54906E-04
1.61323E+02	1.66353E+02	7.83441E-04	7.92391E-04
1.42680E+02	1.47128E+02	8.17359E-04	8.25007E-04
1.26191E+02	1.30126E+02	8.45742E-04	8.51886E-04
1.11608E+02	1.15088E+02	8.68733E-04	8.73742E-04
9.87103E+01	1.01788E+02	8.86384E-04	8.89787E-04
8.73032E+01	9.00251E+01	8.97593E-04	8.99395E-04
7.72141E+01	7.96215E+01	9.02457E-04	9.02718E-04
6.82910E+01	7.04201E+01	9.01321E-04	9.00165E-04
6.03990E+01	6.22821E+01	8.94796E-04	8.92415E-04
5.34191E+01	5.50846E+01	8.83749E-04	8.80409E-04
4.72458E+01	4.87188E+01	8.69334E-04	8.65368E-04
4.17859E+01	4.30887E+01	8.52982E-04	8.48787E-04
3.69570E+01	3.81092E+01	8.36390E-04	8.32423E-04
3.26861E+01	3.37052E+01	8.21467E-04	8.18241E-04
2.89088E+01	2.98101E+01	8.10315E-04	8.08379E-04
2.55680E+01	2.63851E+01	8.05215E-04	8.05173E-04
2.26133E+01	2.33183E+01	8.08691E-04	8.11240E-04
2.00000E+01	2.06236E+01	8.23755E-04	8.29763E-04
1.76887E+01	1.82402E+01	8.54333E-04	8.65003E-04
1.56446E+01	1.61323E+01	9.06083E-04	9.23277E-04
1.38366E+01	1.42680E+01	9.88036E-04	1.01485E-03
1.22376E+01	1.26191E+01	1.11589E-03	1.15803E-03
1.08224E+01	1.11608E+01	1.31999E-03	1.38932E-03

REACTIVITY OF D-T REACTION FOR DOUBLE-MAXWELLIAN AVERAGING

ENERGY(KEV) - REACTIVITY(CM**3/S)	ENERGY(KEV) - REACTIVITY(CM**3/S)	ENERGY(KEV) - REACTIVITY(CM**3/S)	ENERGY(KEV) - REACTIVITY(CM**3/S)
2.0000E+02	6.26783E-16	1.93953E+02	6.37675E-16
1.76887E+02	6.70337E-16	1.71539E+02	6.81182E-16
1.56446E+02	7.13403E-16	1.51716E+02	7.23389E-16
1.38366E+02	7.55049E-16	1.34183E+02	7.65109E-16
1.22376E+02	7.94130E-16	1.18676E+02	8.03348E-16
1.08234E+02	8.29318E-16	1.04962E+02	8.37338E-16
9.57260E+01	8.59154E-16	9.28318E+01	8.65600E-16
8.46636E+01	8.82123E-16	8.21038E+01	8.86616E-16
7.48796E+01	8.96737E-16	7.21038E+01	8.99272E-16
6.62262E+01	9.01641E-16	6.42239E+01	9.02131E-16
5.85729E+01	8.95722E-16	5.68020E+01	8.92454E-16
5.18040E+01	8.78228E-16	5.02377E+01	8.72001E-16
4.58174E+01	8.48873E-16	4.4321E+01	8.39700E-16
4.05226E+01	8.07931E-16	3.92974E+01	7.95974E-16
3.58396E+01	7.56284E-16	3.47560E+01	7.41862E-16
3.16979E+01	6.95428E-16	3.07395E+01	6.79006E-16
2.80348E+01	6.27418E-16	2.71871E+01	6.09581E-16
2.47950E+01	5.54737E-16	2.40455E+01	5.36136E-16
2.19296E+01	4.80126E-16	2.12665E+01	4.61499E-16
1.93953E+01	4.06356E-16	1.88089E+01	3.88354E-16
1.71539E+01	3.36001E-16	1.66353E+01	3.19210E-16
1.51716E+01	2.71219E-16	1.47129E+01	2.56095E-16
1.34835E+01	2.13599E-16	1.30126E+01	2.00437E-16
1.18676E+01	1.64069E-16	1.15088E+01	1.52996E-16
1.04962E+01	1.22903E-16	1.01788E+01	1.13894E-16
9.26318E+00	8.98007E-17	9.00251E+00	8.27091E-17
8.21039E+00	6.40258E-17	7.96215E+00	5.86124E-17
7.26113E+00	4.43705E-17	7.04201E+00	4.05634E-17
6.42239E+00	3.03157E-17	6.22822E+00	2.74338E-17
5.68020E+00	2.01620E-17	5.50846E+00	1.81442E-17
5.02378E+00	1.31200E-17	4.87188E+00	1.17444E-17
4.44321E+00	8.37700E-18	4.30887E+00	7.44173E-18
3.92974E+00	5.21261E-18	3.81092E+00	4.61713E-18
3.47560E+00	3.18327E-18	3.37052E+00	2.80468E-18
3.07395E+00	1.90281E-18	2.98101E+00	1.66742E-18
2.71871E+00	1.11271E-18	2.63652E+00	9.69619E-19
2.40433E+00	6.36069E-19	2.33383E+00	5.51039E-19
2.12665E+00	3.55109E-19	2.06236E+00	3.05787E-19
1.88089E+00	1.93417E-19	1.82402E+00	1.65498E-19
1.66353E+00	1.02659E-19	1.61323E+00	8.72578E-20
1.47129E+00	5.30306E-20	1.42680E+00	4.47614E-20
1.30126E+00	2.66266E-20	1.26192E+00	2.23108E-20
1.15088E+00	1.29768E-20	1.11608E+00	1.07904E-20
1.01788E+00	6.13002E-21	9.87106E+01	5.05641E-21
9.00231E+01	2.80256E-21	8.73033E+01	2.29236E-21
8.21039E+01	1.23818E-21	7.72142E+01	1.00330E-21
7.04202E+01	5.27788E-22	6.82911E+01	4.23999E-22
6.22822E+01	2.16703E-22	6.03991E+01	1.72422E-22
5.50846E+01	8.35609E-23	5.34192E+01	6.17393E-23
4.87189E+01	3.24726E-23	4.72459E+01	2.52759E-23
4.30887E+01	1.17760E-23	4.17860E+01	9.07871E-24
3.81039E+01	4.08982E-24	3.69570E+01	3.11742E-24
3.37052E+01	1.35376E-24	3.26862E+01	1.02103E-24
2.98101E+01	4.28106E-25	2.89088E+01	3.18411E-25
2.63652E+01	1.28497E-25	2.55680E+01	9.43358E-26
2.33183E+01	3.65812E-26	2.126133E+01	2.64938E-26
2.00000E+02	1.82402E+02	1.88089E+02	1.82402E+02
1.76887E+02	1.63233E+02	1.63233E+02	1.63233E+02
1.56446E+02	1.42680E+02	1.42680E+02	1.42680E+02
1.38366E+02	1.26191E+02	1.26191E+02	1.26191E+02
1.22376E+02	1.11608E+02	1.11608E+02	1.11608E+02
1.08234E+02	9.87103E+01	9.87103E+01	9.87103E+01
9.57260E+01	8.73033E+01	8.73033E+01	8.73033E+01
8.46636E+01	7.72142E+01	7.72142E+01	7.72142E+01
7.48796E+01	6.82911E+01	6.82911E+01	6.82911E+01
6.62262E+01	6.03991E+01	6.03991E+01	6.03991E+01
5.85729E+01	5.34192E+01	5.34192E+01	5.34192E+01
5.18040E+01	4.72459E+01	4.72459E+01	4.72459E+01
4.58174E+01	4.17860E+01	4.17860E+01	4.17860E+01
4.05226E+01	3.69570E+01	3.69570E+01	3.69570E+01
3.58396E+01	3.26862E+01	3.26862E+01	3.26862E+01
3.16979E+01	2.89088E+01	2.89088E+01	2.89088E+01
2.80348E+01	2.55680E+01	2.55680E+01	2.55680E+01
2.47950E+01	2.126133E+01	2.126133E+01	2.126133E+01
2.19296E+01	1.82402E+01	1.82402E+01	1.82402E+01
1.93953E+01	1.63233E+01	1.63233E+01	1.63233E+01
1.71539E+01	1.42680E+01	1.42680E+01	1.42680E+01
1.51716E+01	1.26191E+01	1.26191E+01	1.26191E+01
1.34835E+01	1.11608E+01	1.11608E+01	1.11608E+01
1.18676E+01	9.87103E+00	9.87103E+00	9.87103E+00
1.04962E+01	8.73033E+00	8.73033E+00	8.73033E+00
9.26318E+00	7.72142E+00	7.72142E+00	7.72142E+00
8.21039E+00	6.82911E+00	6.82911E+00	6.82911E+00
7.26113E+00	6.03991E+00	6.03991E+00	6.03991E+00
6.42239E+00	5.34192E+00	5.34192E+00	5.34192E+00
5.68020E+00	4.72459E+00	4.72459E+00	4.72459E+00
5.02378E+00	4.17860E+00	4.17860E+00	4.17860E+00
4.44321E+00	3.69570E+00	3.69570E+00	3.69570E+00
3.92974E+00	3.26862E+00	3.26862E+00	3.26862E+00
3.47560E+00	2.89088E+00	2.89088E+00	2.89088E+00
3.07395E+00	2.55680E+00	2.55680E+00	2.55680E+00
2.71871E+00	2.126133E+00	2.126133E+00	2.126133E+00
2.40433E+00	1.82402E+00	1.82402E+00	1.82402E+00
2.12665E+00	1.63233E+00	1.63233E+00	1.63233E+00
1.88089E+00	1.42680E+00	1.42680E+00	1.42680E+00
1.66353E+00	1.26191E+00	1.26191E+00	1.26191E+00
1.47129E+00	1.11608E+00	1.11608E+00	1.11608E+00
1.30126E+00	9.87103E+00	9.87103E+00	9.87103E+00
1.15088E+00	8.73033E+00	8.73033E+00	8.73033E+00
1.01788E+00	7.72142E+00	7.72142E+00	7.72142E+00
9.00231E+00	6.82911E+00	6.82911E+00	6.82911E+00
8.21039E+00	6.03991E+00	6.03991E+00	6.03991E+00
7.26113E+00	5.34192E+00	5.34192E+00	5.34192E+00
6.42239E+00	4.72459E+00	4.72459E+00	4.72459E+00
5.68020E+00	4.17860E+00	4.17860E+00	4.17860E+00
5.02378E+00	3.69570E+00	3.69570E+00	3.69570E+00
4.44321E+00	3.26862E+00	3.26862E+00	3.26862E+00
3.92974E+00	2.89088E+00	2.89088E+00	2.89088E+00
3.47560E+00	2.55680E+00	2.55680E+00	2.55680E+00
3.07395E+00	2.126133E+00	2.126133E+00	2.126133E+00
2.71871E+00	1.82402E+00	1.82402E+00	1.82402E+00
2.40433E+00	1.63233E+00	1.63233E+00	1.63233E+00
2.12665E+00	1.42680E+00	1.42680E+00	1.42680E+00
1.88089E+00	1.26191E+00	1.26191E+00	1.26191E+00
1.66353E+00	1.11608E+00	1.11608E+00	1.11608E+00
1.47129E+00	9.87103E+00	9.87103E+00	9.87103E+00
1.30126E+00	8.73033E+00	8.73033E+00	8.73033E+00
1.15088E+00	7.72142E+00	7.72142E+00	7.72142E+00
1.01788E+00	6.82911E+00	6.82911E+00	6.82911E+00
9.00231E+00	6.03991E+00	6.03991E+00	6.03991E+00
8.21039E+00	5.34192E+00	5.34192E+00	5.34192E+00
7.26113E+00	4.72459E+00	4.72459E+00	4.72459E+00
6.42239E+00	4.17860E+00	4.17860E+00	4.17860E+00
5.68020E+00	3.69570E+00	3.69570E+00	3.69570E+00
5.02378E+00	3.26862E+00	3.26862E+00	3.26862E+00
4.44321E+00	2.89088E+00	2.89088E+00	2.89088E+00
3.92974E+00	2.55680E+00	2.55680E+00	2.55680E+00
3.47560E+00	2.126133E+00	2.126133E+00	2.126133E+00
3.07395E+00	1.82402E+00	1.82402E+00	1.82402E+00
2.71871E+00	1.63233E+00	1.63233E+00	1.63233E+00
2.40433E+00	1.42680E+00	1.42680E+00	1.42680E+00
2.12665E+00	1.26191E+00	1.26191E+00	1.26191E+00
1.88089E+00	1.11608E+00	1.11608E+00	1.11608E+00
1.66353E+00	9.87103E+00	9.87103E+00	9.87103E+00
1.47129E+00	8.73033E+00	8.73033E+00	8.73033E+00
1.30126E+00	7.72142E+00	7.72142E+00	7.72142E+00
1.15088E+00	6.82911E+00	6.82911E+00	6.82911E+00
1.01788E+00	6.03991E+00	6.03991E+00	6.03991E+00
9.00231E+00	5.34192E+00	5.34192E+00	5.34192E+00
8.21039E+00	4.72459E+00	4.72459E+00	4.72459E+00
7.26113E+00	4.17860E+00	4.17860E+00	4.17860E+00
6.42239E+00	3.69570E+00	3.69570E+00	3.69570E+00
5.68020E+00	3.26862E+00	3.26862E+00	3.26862E+00
5.02378E+00	2.89088E+00	2.89088E+00	2.89088E+00
4.44321E+00	2.55680E+00	2.55680E+00	2.55680E+00
3.92974E+00	2.126133E+00	2.126133E+00	2.126133E+00
3.47560E+00	1.82402E+00	1.82402E+00	1.82402E+00
3.07395E+00	1.63233E+00	1.63233E+00	1.63233E+00
2.71871E+00	1.42680E+00	1.42680E+00	1.42680E+00
2.40433E+00	1.26191E+00	1.26191E+00	1.26191E+00
2.12665E+00	1.11608E+00	1.11608E+00	1.11608E+00
1.88089E+00	9.87103E+00	9.87103E+00	9.87103E+00
1.66353E+00	8.73033E+00	8.73033E+00	8.73033E+00
1.47129E+00	7.72142E+00	7.72142E+00	7.72142E+00
1.30126E+00	6.82911E+00	6.82911E+00	6.82911E+00
1.15088E+00	6.03991E+00	6.03991E+00	6.03991E+00
1.01788E+00	5.34192E+00	5.34192E+00	5.34192E+00
9.00231E+00	4.72459E+00	4.72459E+00	4.72459E+00
8.21039E+00	4.17860E+00	4.17860E+00	4.17860E+00
7.26113E+00	3.69570E+00	3.69570E+00	3.69570E+00
6.42239E+00	3.26862E+00	3.26862E+00	3.26862E+00
5.68020E+00	2.89088E+00	2.89088E+00	2.89088E+00
5.02378E+00	2.55680E+00	2.55680E+00	2.55680E+00
4.44321E+00	2.126133E+00	2.126133E+00	2.126133E+00
3.92974E+00	1.82402E+00	1.82402E+00	1.82402E+00
3.47560E+00	1.63233E+00	1.63233E+00	1.63233E+00
3.07395E+00	1.42680E+00	1.42680E+00	1.42680E+00
2.71871E+00	1.26191E+00	1.26191E+00	1.26191E+00
2.40433E+00	1.11608E+00	1.11608E+00	1.11608E+00
2.12665E+00	9.87103E+00	9.87103E+00	9.87103E+00
1.88089E+00	8.73033E+00	8.73033E+00	8.73033E+00
1.66353E+00	7.72142E+00	7.72142E+00	7.72142E+00
1.47129E+00	6.82911E+00	6.82911E+00	6.82911E+00
1.30126E+00	6.03991E+00	6.03991E+00	6.03991E+00
1.15088E+00	5.34192E+00	5.34192E+00	5.34192E+00
1.0178			

DISTRIBUTION OF REACTION RATE FOR DOUBLE-MAXWELLIAN
 REACTIVITY ... 3.9819E-17 FOR 7.00(KEV)

MIDDLE ENERGY POINT	5.024E+01(KEV)	REACTIVITY ... 3.9819E-17 FOR 7.00(KEV)	7.92307E-68
2.00000E+03	2.37077E-74	1.93953E+03	1.82402E+03
1.76887E+03	8.80148E-66	1.71539E+03	1.61232E+03
1.56446E+03	3.6929E-58	1.51716E+03	1.42297E-60
1.38366E+03	1.72063E-51	1.34183E+03	4.31382E-53
1.22376E+03	1.48349E-45	1.18676E+03	5.68415E-47
1.08234E+03	2.65941E-40	1.04962E+03	1.48186E-41
9.57260E+02	1.5189E-35	9.28338E+02	9.24277E-37
8.46636E+02	1.57157E-31	8.12038E+02	1.63134E-32
7.48796E+02	7.03440E-28	7.26156E+02	9.44816E-29
6.62262E+02	1.21330E-24	6.42239E+02	2.04583E-25
5.85729E+02	9.01129E-22	5.68030E+02	1.85769E-22
5.18040E+02	3.17787E-19	5.02377E+02	7.82532E-20
4.58174E+02	5.79873E-17	4.44321E+02	1.67107E-17
4.05226E+02	5.90438E-15	3.92974E+02	4.17859E-15
3.58396E+02	3.58492E-13	3.47560E+02	1.95581E-13
3.16979E+02	1.37574E-11	3.07395E+02	1.34358E-11
2.80348E+02	3.51115E-10	2.71871E+02	5.75361E-10
2.47950E+02	6.22859E-09	2.40453E+02	2.89088E-09
2.19296E+02	7.97489E-08	2.12665E+02	1.35344E-09
1.93953E+02	7.60407E-07	1.88089E+02	2.00000E-07
1.71539E+02	5.3497E-06	1.66353E+02	4.44201E-07
1.51716E+02	3.13236E-05	1.47129E+02	3.45231E-06
1.34183E+02	1.39355E-04	1.30126E+02	1.56846E+02
1.18676E+02	4.93917E-04	1.16088E+02	1.38366E+02
1.04962E+02	1.40182E-03	1.01788E+02	1.22376E+02
9.24277E+01	3.25405E-03	9.00251E+01	1.08234E+02
8.12038E+01	6.19132E-03	7.86213E+01	9.57261E+01
7.26156E+01	1.00591E-02	7.04202E+01	8.46636E+01
6.42239E+01	1.42012E-02	6.22822E+01	7.48796E+01
5.68030E+01	1.77793E-02	5.50846E+01	6.62262E+01
5.02377E+01	2.00627E-02	4.87188E+01	5.85729E+01
4.44321E+01	2.06605E-02	4.30887E+01	4.72402E+01
3.92974E+01	1.95967E-02	3.81092E+01	4.05226E+01
3.47560E+01	1.72380E-02	3.37052E+01	3.58396E+01
3.07395E+01	1.41331E-02	2.98101E+01	3.16979E+01
2.71872E+01	1.08400E-02	2.63652E+01	2.80348E+01
2.40453E+01	7.79824E-03	2.33183E+01	2.47950E+01
2.12666E+01	5.27123E-03	2.06236E+01	2.19296E+01
1.88089E+01	3.51511E-03	1.82402E+01	1.93953E+01
1.66353E+01	2.00534E-03	1.61323E+01	1.51716E+01
1.47129E+01	1.12911E-03	1.42680E+01	1.34183E+01
1.30126E+01	5.97930E-04	1.26492E+01	1.18676E+01
1.15088E+01	2.9720E-04	1.11608E+01	1.04962E+01
1.01788E+01	1.38911E-04	9.87106E+00	9.28338E+00
9.00251E+00	6.07309E-05	8.73033E+00	8.12038E+00
7.86213E+00	2.48309E-05	7.73143E+00	7.26156E+00
7.04202E+00	9.46248E-06	6.82911E+00	6.42239E+00
6.22822E+00	3.35214E-06	6.03991E+00	5.68030E+00
5.50846E+00	1.10036E-06	5.34192E+00	5.02377E+00
4.87188E+00	3.39485E-07	4.72495E+00	4.44321E+00
4.30887E+00	9.29426E-08	4.17860E+00	3.92974E+00
3.81092E+00	2.37169E-08	3.69570E+00	3.47560E+00
3.37052E+00	5.51501E-09	3.26862E+00	3.07395E+00
2.98101E+00	1.16264E-09	2.89088E+00	2.80348E+00
2.63652E+00	2.20977E-10	2.56808E+00	2.47950E+00
2.33183E+00	3.63652E+00	2.26133E+00	2.19296E+00
2.06236E+00	5.170907E-12	2.00000E+00	1.93953E+00
1.82402E+00			1.71539E+00
1.61232E+00			1.42297E-60
1.42297E-60			4.31382E-53
1.26156E-29			5.68415E-47
1.08234E-41			9.24277E-37
9.24277E-37			1.63134E-32
8.12038E-29			9.44816E-29
7.26156E-25			2.04583E-25
6.42239E-22			1.85769E-22
5.68030E-20			7.82532E-20
5.02377E-17			1.67107E-17
4.44321E-15			4.17859E-15
3.92974E-13			1.95581E-13
3.47560E-11			1.34358E-11
3.07395E-10			5.75361E-10
2.80348E-09			2.89088E-09
2.47950E-09			1.35344E-09
2.19296E-07			2.00000E-07
1.93953E-06			4.44201E-07
1.71539E-05			3.45231E-06
1.51716E-05			1.56846E+02
1.34183E-05			1.38366E+02
1.18676E-04			1.22376E+02
1.04962E-04			1.08234E+02
9.24277E-04			9.57261E+01
8.12038E-03			8.46636E+01
7.26156E-03			7.48796E+01
6.42239E-02			6.62262E+01
5.68030E-02			5.85729E+01
5.02377E-02			4.72402E+01
4.44321E-02			4.05226E+01
3.92974E-02			3.58396E+01
3.47560E-02			3.16979E+01
3.07395E-02			2.80348E+01
2.80348E-02			2.47950E+01
2.47950E-02			2.19296E+01
2.19296E-02			1.93953E+01
1.93953E-02			1.71539E+01
1.71539E-02			1.51716E+01
1.51716E-02			1.34183E+01
1.34183E-02			1.18676E+01
1.18676E-02			1.04962E+01
1.04962E-02			9.28338E+00
9.28338E+00			8.12038E+00
8.12038E+00			7.26156E+00
7.26156E+00			6.42239E+00
6.42239E+00			5.68030E+00
5.68030E+00			5.02377E+00
5.02377E+00			4.44321E+00
4.44321E+00			3.92974E+00
3.92974E+00			3.47560E+00
3.47560E+00			3.07395E+00
3.07395E+00			2.80348E+00
2.80348E+00			2.47950E+00
2.47950E+00			2.19296E+00
2.19296E+00			1.93953E+00
1.93953E+00			1.71539E+00
1.71539E+00			1.51716E+00
1.51716E+00			1.34183E+00
1.34183E+00			1.18676E+00
1.18676E+00			1.04962E+00
1.04962E+00			9.28338E+00
9.28338E+00			8.12038E+00
8.12038E+00			7.26156E+00
7.26156E+00			6.42239E+00
6.42239E+00			5.68030E+00
5.68030E+00			5.02377E+00
5.02377E+00			4.44321E+00
4.44321E+00			3.92974E+00
3.92974E+00			3.47560E+00
3.47560E+00			3.07395E+00
3.07395E+00			2.80348E+00
2.80348E+00			2.47950E+00
2.47950E+00			2.19296E+00
2.19296E+00			1.93953E+00
1.93953E+00			1.71539E+00
1.71539E+00			1.51716E+00
1.51716E+00			1.34183E+00
1.34183E+00			1.18676E+00
1.18676E+00			1.04962E+00
1.04962E+00			9.28338E+00
9.28338E+00			8.12038E+00
8.12038E+00			7.26156E+00
7.26156E+00			6.42239E+00
6.42239E+00			5.68030E+00
5.68030E+00			5.02377E+00
5.02377E+00			4.44321E+00
4.44321E+00			3.92974E+00
3.92974E+00			3.47560E+00
3.47560E+00			3.07395E+00
3.07395E+00			2.80348E+00
2.80348E+00			2.47950E+00
2.47950E+00			2.19296E+00
2.19296E+00			1.93953E+00
1.93953E+00			1.71539E+00
1.71539E+00			1.51716E+00
1.51716E+00			1.34183E+00
1.34183E+00			1.18676E+00
1.18676E+00			1.04962E+00
1.04962E+00			9.28338E+00
9.28338E+00			8.12038E+00
8.12038E+00			7.26156E+00
7.26156E+00			6.42239E+00
6.42239E+00			5.68030E+00
5.68030E+00			5.02377E+00
5.02377E+00			4.44321E+00
4.44321E+00			3.92974E+00
3.92974E+00			3.47560E+00
3.47560E+00			3.07395E+00
3.07395E+00			2.80348E+00
2.80348E+00			2.47950E+00
2.47950E+00			2.19296E+00
2.19296E+00			1.93953E+00
1.93953E+00			1.71539E+00
1.71539E+00			1.51716E+00
1.51716E+00			1.34183E+00
1.34183E+00			1.18676E+00
1.18676E+00			1.04962E+00
1.04962E+00			9.28338E+00
9.28338E+00			8.12038E+00
8.12038E+00			7.26156E+00
7.26156E+00			6.42239E+00
6.42239E+00			5.68030E+00
5.68030E+00			5.02377E+00
5.02377E+00			4.44321E+00
4.44321E+00			3.92974E+00
3.92974E+00			3.47560E+00
3.47560E+00			3.07395E+00
3.07395E+00			2.80348E+00
2.80348E+00			2.47950E+00
2.47950E+00			2.19296E+00
2.19296E+00			1.93953E+00
1.93953E+00			1.71539E+00
1.71539E+00			1.51716E+00
1.51716E+00			1.34183E+00
1.34183E+00			1.18676E+00
1.18676E+00			1.04962E+00
1.04962E+00			9.28338E+00
9.28338E+00			8.12038E+00
8.12038E+00			7.26156E+00
7.26156E+00			6.42239E+00
6.42239E+00			5.68030E+00
5.68030E+00			5.02377E+00
5.02377E+00			4.44321E+00
4.44321E+00			3.92974E+00
3.92974E+00			3.47560E+00
3.47560E+00			3.07395E+00
3.07395E+00			2.80348E+00
2.80348E+00			2.47950E+00
2.47950E+00			2.19296E+00
2.19296E+00			1.93953E+00
1.93953E+00			1.71539E+00
1.71539E+00			1.51716E+00
1.51716E+00			1.34183E+00
1.34183E+00			1.18676E+00
1.18676E+00			1.04962E+00
1.04962E+00			9.28338E+00
9.28338E+00			8.12038E+00
8.12038E+00			7.26156E+00
7.26156E+00			6.42239E+00
6.42239E+00			5.68030E+00
5.68030E+00			5.02377E+00
5.02377E+00			4.44321E+00
4.44321E+00			3.92974E+00
3.92974E+00			3.47560E+00
3.47560E+00			3.07395E+00
3.07395E+00			2.80348E+00
2.80348E+00			2.47950E+00
2.47950E+00			2.19296E+00
2.19296E+00			1.93953E+00
1.93953E+00			1.71539E+00
1.71539E+00			1.51716E+00
1.51716E+00			1.34183E+00
1.34183E+00			1.18676E+00
1.18676E+00			1.04962E+00
1.04962E+00			9.28338E+00
9.28338E+00			8.12038E+00
8.12038E+00			7.26156E+00
7.26156E+00			6.42239E+00
6.42239E+00			5.68030E+00
5.68030E+00			5.02377E+00
5.02377E+0			

1.82402E+00	1.76888E+00	4.54223E-13	1.71539E+00	2.67212E-13	1.66353E+00	1.55883E-13
1.61323E+00	1.56446E+00	5.17066E-14	1.51716E+00	2.93923E-14	1.47129E+00	1.65602E-14
1.42680E+00	1.38366E+00	5.11572E-15	1.34483E+00	2.80414E-15	1.30126E+00	1.52263E-15
1.26192E+00	1.22376E+00	4.36149E-16	1.18676E+00	2.30016E-16	1.15088E+00	1.20096E-16
1.11609E+00	1.08234E+00	3.17507E-17	1.04962E+00	1.60721E-17	1.01788E+00	8.04951E-18
9.87107E-01	1.95443E-18	1.95443E-18	9.28319E-01	9.47175E-19	9.00252E-01	4.53871E-19
8.73033E-01	1.00673E-19	1.00673E-19	8.21039E-01	4.65882E-20	7.96216E-01	2.12986E-20
7.72142E-01	4.29135E-21	4.29135E-21	7.26137E-01	1.89091E-21	7.04202E-01	8.22340E-22
6.82911E-01	6.462263E-01	1.49620E-22	6.42240E-01	6.25613E-23	6.22822E-01	2.58069E-23
6.03991E-01	5.85730E-01	4.21282E-24	5.68021E-01	1.66646E-24	5.50847E-01	6.49774E-25
5.34192E-01	5.18041E-01	9.45244E-26	5.02378E-01	3.52202E-26	4.87189E-01	1.29438E-26
4.72459E-01	4.58174E-01	1.66613E-27	4.44322E-01	3.83593E-28	4.30888E-01	2.01114E-28
4.17860E-01	4.05226E-01	2.27233E-29	3.92974E-01	7.44636E-30	3.81093E-01	2.39830E-30
3.69571E-01	3.58397E-01	2.35950E-31	3.47361E-01	7.20342E-32	3.37052E-01	2.15910E-32
3.26862E-01	3.16979E-01	1.83352E-33	3.07395E-01	5.19176E-34	2.98101E-01	1.44163E-34
2.89088E-01	2.80348E-01	1.04696E-35	2.71872E-01	2.73655E-36	2.63652E-01	7.00268E-37
2.55680E-01	2.47950E-01	4.30831E-38	2.40953E-01	1.03426E-38	2.33183E-01	2.428661E-39
2.26133E-01	2.19236E-01	1.25149E-40	2.12866E-01	2.74452E-41		
7.65772E-13	1.76888E+00	4.54223E-13	1.71539E+00	2.67212E-13	1.66353E+00	1.55883E-13
9.01666E-14	1.56446E+00	5.17066E-14	1.51716E+00	2.93923E-14	1.47129E+00	1.65602E-14
9.24647E-15	1.38366E+00	5.11572E-15	1.34483E+00	2.80414E-15	1.30126E+00	1.52263E-15
8.18891E-16	1.22376E+00	4.36149E-16	1.18676E+00	2.30016E-16	1.15088E+00	1.20096E-16
6.20703E-17	1.08234E+00	3.17507E-17	1.04962E+00	1.60721E-17	1.01788E+00	8.04951E-18
3.98819E-18	1.95443E-18	1.95443E-18	9.28319E-01	9.47175E-19	9.00252E-01	4.53871E-19
2.15007E-19	1.00673E-19	1.00673E-19	8.21039E-01	4.65882E-20	7.96216E-01	2.12986E-20
9.61988E-21	4.29135E-21	4.29135E-21	7.26137E-01	1.89091E-21	7.04202E-01	8.22340E-22
3.53082E-22	6.462263E-01	1.49620E-22	6.42240E-01	6.25613E-23	6.22822E-01	2.58069E-23
6.03991E-01	5.85730E-01	4.21282E-24	5.68021E-01	1.66646E-24	5.50847E-01	6.49774E-25
5.34192E-01	5.18041E-01	9.45244E-26	5.02378E-01	3.52202E-26	4.87189E-01	1.29438E-26
4.72459E-01	4.58174E-01	1.66613E-27	4.44322E-01	3.83593E-28	4.30888E-01	2.01114E-28
4.17860E-01	4.05226E-01	2.27233E-29	3.92974E-01	7.44636E-30	3.81093E-01	2.39830E-30
3.69571E-01	3.58397E-01	2.35950E-31	3.47361E-01	7.20342E-32	3.37052E-01	2.15910E-32
3.26862E-01	3.16979E-01	1.83352E-33	3.07395E-01	5.19176E-34	2.98101E-01	1.44163E-34
2.89088E-01	2.80348E-01	1.04696E-35	2.71872E-01	2.73655E-36	2.63652E-01	7.00268E-37
2.55680E-01	2.47950E-01	4.30831E-38	2.40953E-01	1.03426E-38	2.33183E-01	2.428661E-39
5.57623E-40	2.19236E-01	1.25149E-40	2.12866E-01	2.74452E-41		

RESULTS FOR SLOWING-DOWN OF BEAM

FINAL ENERGY - TRANSFERED ENERGY

TRITON 1.08234E+01 - 5.05578E+01
 DEUTERON 1.08234E+01 - 7.17098E+01
 ELECTRON 1.08234E+01 - 6.69091E+01

FINAL ENERGY - SLOWING-DOWN TIME(SEC)

TRITON 5.85729E+00 - 7.02839E-01
 DEUTERON 6.82910E+00 - 5.04625E-01
 ELECTRON 1.04962E+01 - 1.52170E+00
 MIXTURE 1.08234E+01 - 1.59790E-01

FINAL ENERGY - AVERAGE ENERGY 1.08234E+01 1.02571E+02
 FUSION CROSS SECTION ... 1.02434E-15(BEAM)

ENERGY MULTIPLICATION FACTORS

DELTA-ENERGY INJECTION 0.720187
 FUSION PROBABILITY 0.008184

* PLASMA SHAPE CIRCULAR

* SCALING FACTORS FTIM = 1.00 FTE2 = 1.00 FNEB = 1.00 FPSC = 1.00 FTE1 = 1.00
 * PROFILE CONSIDERED .. MESH = 40 MND = 2.00 MNT = 2.00 MTL = 2.00
 LND = 1.00 LNT = 1.00 LTI = 1.00

* BOUNDARY VALUES UWND = 0.0 UUNT = 0.0 UWTJ = 0.0

** POWER(MW) ** 0.0 TOROIDAL FIELD(T) 6.0000
 POLOIDAL BETA 2.2000 SAFETY FACTOR 2.5000
 TOROIDAL BETA 0.0174 PLASMA CURRENT(MA) 4.0000
 TOROIDAL RADIUS(M) 6.7500 ASPECT RATIO 4.5000
 PDZ 0.0 PWCH -1.0000
 EPSN 0.0010

* SPATIAL PROFILE

MESH POINTS
 0.0 3.7500E-02 7.5000E-02 1.1250E-01 1.5000E-01 1.8750E-01 2.2500E-01 2.6250E-01
 3.0000E-01 3.3750E-01 3.7500E-01 4.1250E-01 4.5000E-01 4.8750E-01 5.2500E-01 5.6250E-01
 6.0000E-01 6.3750E-01 6.7500E-01 7.1250E-01 7.5000E-01 7.8750E-01 8.2500E-01 8.6250E-01
 9.0000E-01 9.3750E-01 9.7500E-01 1.0125E+00 1.0500E+00 1.0875E+00 1.1250E+00 1.1625E+00
 1.2000E+00 1.2375E+00 1.2750E+00 1.3125E+00 1.3500E+00 1.3875E+00 1.4250E+00 1.4625E+00
 1.5000E+00

DEUTERON DENSITY(1/CM**3)

1.000E+14 9.9938E+13 9.9750E+13 9.9438E+13 9.9000E+13 9.8438E+13 9.7750E+13 9.6938E+13
 9.600E+13 9.4938E+13 9.3750E+13 9.2438E+13 9.1000E+13 8.9438E+13 8.7750E+13 8.5938E+13
 8.400E+13 8.1938E+13 7.9750E+13 7.7438E+13 7.5000E+13 7.2438E+13 6.9750E+13 6.6938E+13
 6.400E+13 6.0938E+13 5.7750E+13 5.4438E+13 5.1000E+13 4.7438E+13 4.3750E+13 3.9938E+13
 3.600E+13 3.1938E+13 2.7750E+13 2.3438E+13 1.9000E+13 1.4438E+13 9.7500E+12 4.9375E+12
 2.0862E+07 AVERAGE = 5.0000E+13

TRITON DENSITY(1/CM**3)

1.000E+14 9.9938E+13 9.9750E+13 9.9438E+13 9.9000E+13 9.8438E+13 9.7750E+13 9.6938E+13
 9.600E+13 9.4938E+13 9.3750E+13 9.2438E+13 9.1000E+13 8.9438E+13 8.7750E+13 8.5938E+13
 8.400E+13 8.1938E+13 7.9750E+13 7.7438E+13 7.5000E+13 7.2438E+13 6.9750E+13 6.6938E+13
 6.400E+13 6.0938E+13 5.7750E+13 5.4438E+13 5.1000E+13 4.7438E+13 4.3750E+13 3.9938E+13
 3.600E+13 3.1938E+13 2.7750E+13 2.3438E+13 1.9000E+13 1.4438E+13 9.7500E+12 4.9375E+12
 2.0862E+07 AVERAGE = 5.0000E+13

ION TEMPERATURE(KEV)

1.0493E+01 1.0487E+01 1.0467E+01 1.0434E+01 1.0389E+01 1.0329E+01 1.0257E+01 1.0112E+01
 1.0074E+01 9.8622E+00 9.8376E+00 9.8225E+00 9.8090E+00 9.7985E+00 9.7885E+00 9.7800E+00
 8.8143E+00 8.5961E+00 8.3685E+00 8.2590E+00 8.1701E+00 8.0912E+00 8.0225E+00 7.9640E+00
 6.7158E+00 6.3984E+00 6.0600E+00 5.7124E+00 5.3517E+00 4.9778E+00 4.5909E+00 4.1908E+00
 3.7776E+00 3.3513E+00 2.9119E+00 2.4594E+00 1.9938E+00 1.5150E+00 1.0231E+00 5.1812E-01
 2.1891E-06 AVERAGE = 7.0000E+00

BEAM-FUSION REACTIVITY(CM**3/S)

1.3382E-15 1.3377E-15 1.3363E-15 1.3304E-15 1.3304E-15 1.3259E-15 1.3205E-15 1.3140E-15
 1.3068E-15 1.2983E-15 1.2886E-15 1.2779E-15 1.2779E-15 1.2660E-15 1.2535E-15 1.2336E-15
 1.2236E-15

1.2070E-15 1.1889E-15 1.1696E-15 1.1487E-15 1.1263E-15 1.1022E-15 1.0764E-15 1.0487E-15
 1.0191E-15 9.8740E-16 9.5339E-16 9.1689E-16 8.7769E-16 8.3552E-16 7.9008E-16 7.4103E-16
 6.8793E-16 6.3030E-16 5.6755E-16 4.9900E-16 4.2382E-16 3.4099E-16 2.4910E-16 1.4530E-16
 1.1049E-16
 AVERAGE = 1.0179E-15 1.0624E-15 FOR 7.00(KEV)

BEAM-FUSION MULTIPLICATION
 1.0383E+00 1.0377E+00 1.0357E+00 1.0324E+00 1.0277E+00 1.0217E+00 1.0144E+00 1.0056E+00
 9.9579E-01 9.7134E-01 9.5696E-01 9.4110E-01 9.2393E-01 9.0503E-01 8.8458E-01 8.6090E-01
 8.6266E-01 8.3897E-01 8.1371E-01 7.8665E-01 7.5793E-01 7.2737E-01 6.9507E-01 6.6090E-01
 6.2494E-01 5.8715E-01 5.4756E-01 5.0212E-01 4.6320E-01 4.1865E-01 3.7277E-01 3.2984E-01
 2.7826E-01 2.3058E-01 1.8355E-01 1.3820E-01 9.5875E-02 5.8368E-02 2.7965E-02 7.4739E-03
 2.4381E-10
 AVERAGE = 6.4017E-01 6.6814E-01 FOR 7.00(KEV)

DOUBLE-MAXWELLIAN FUSION REACTIVITY(CM**3/S)
 1.2283E-16 1.2264E-16 1.2207E-16 1.2113E-16 1.1982E-16 1.1814E-16 1.1610E-16 1.1371E-16
 1.1096E-16 1.0788E-16 1.0447E-16 1.0075E-16 9.6731E-17 9.2433E-17 8.7877E-17 8.3087E-17
 7.8087E-17 7.2910E-17 6.7588E-17 6.2158E-17 5.6611E-17 5.1144E-17 4.5654E-17 4.0244E-17
 3.4970E-17 2.9891E-17 2.5066E-17 2.0554E-17 1.6412E-17 1.2694E-17 9.4431E-18 6.8924E-18
 4.4588E-18 2.7390E-18 1.5061E-18 7.0613E-19 2.5867E-19 6.2231E-20 6.3290E-21 5.3011E-23
 0.0

* PROFILE CORRECTION .. 2.1580(FUSION REACTION) 0.9581(BEAM REACTION) 1.4003(BREMSSTRAHLUNG)
 * APPROXIMATE SLOWING-DOWN CALCULATIONS 2.2973E+02(ALPHA) 2.8992E-01(ALPHA)
 CRITICAL ENERGY 1.1561E+02(BEAM) 2.51114E-01(ALPHA)
 SLOWING-DOWN TIME ... 1.4293E-01(BEAM)

* FRACTION OF BEAM ... 0.0 FRACTION OF IMPURITY ... 0.0 FRACTION OF TRITIUM ... 0.50000
 FRACTION OF ALPHA ... 0.0 ALPHA FROM BULK PLA. ... 0.0 ALPHA FROM BEAM ... 0.0
 CHARGE OF IMPURITY ... 0.0 EFFECTIVE CHARGE ... 0.0 EFFECTIVE TEMP. ... 7.00000
 ENERGY CONF. TIME ... 2.99060E+00 ELECTRON DENSITY ... 1.11031E+14 NE-T(AUKSEC/CM**3) ... 3.32049E+14
 N-T(TRAPPED ION) ... 1.95113E+14 N-T(PSEUDO-CLASSICAL) ... 1.05830E+15 N-T(NEO-BOHM) ... 2.56888E+14
 N-T(TRAPPED ELE.-1) ... 1.08779E+13 PRES. TO ELECTRON ... 5.71127E+14 PRESSURE (J/CM**3) ... 2.49036E-01
 PRES. TO PLASMA ... 1.00000E+00 POWER BY BEAM(AVXS) ... 0.0 POWER BY BULK PLASMA ... 2.23769E+02
 POWER BY BEAM ... 0.0 SLOWING DOWN TIME ... 1.43915E-01
 CRITICAL ENGY(BEAM) ... 1.15607E+02 SLOWING DOWN TIME ... 2.61112E-01
 CRITICAL ENGY(ALF.) ... 2.29726E+02 RADIATION LOSS(MW) ... 7.32667E+00
 ENERGY LOSS(DIFF.) ... 3.74463E+01

*** POWER CALCULATION ***
 * FRACTION OF BEAM ... 0.0 FRACTION OF IMPURITY ... 0.0 FRACTION OF TRITIUM ... 0.50000
 (NO. OF ITERATION ... 1) ALPHA FROM BULK PLA. ... 0.0 ALPHA FROM BEAM ... 0.0
 FUSION X-SECTION ... 8.59293E-17 K SOL = 0 KEND = 0 HOT-ALPHA(AVERAGE) ... 0.00062
 CHARGE OF IMPURITY ... 0.0 RATIO OF D TO T ... 1.00000E+00(PDT) (PDT1) ... 7.00000
 Q-VALUE(FUSION) ... 0.0 EFFECTIVE CHARGE ... 1.00000 EFFECTIVE TEMP. ... 7.00000
 ENERGY CONF. TIME ... 2.99060E+00 W-B VALUE(BEAM FUSION) ... 0.0 POWER * W-VALUE ... 0.0
 N-T(TRAPPED ION) ... 1.95113E+14 ELECTRON DENSITY ... 1.11031E+14 NE-T(AUKSEC/CM**3) ... 3.32049E+14
 N-T(TRAPPED ELE.-1) ... 1.08779E+13 N-T(PSEUDO-CLASSICAL) ... 1.05830E+15 N-T(KSEC/CM**3) ... 2.56888E+14
 PRES. TO PLASMA ... 1.00000E+00 PRES. TO ELECTRON ... 5.71127E+14 N-T(NEO-BOHM) ... 2.56888E+14
 POWER BY BEAM ... 0.0 POWER BY BEAM(AVXS) ... 0.0 POWER BY BULK PLASMA ... 2.49036E-01
 TOTAL POWER (MW) ... 2.23769E+02 SLOWING DOWN TIME ... 1.43915E-01
 CRITICAL ENGY(BEAM) ... 1.15607E+02 SLOWING DOWN TIME ... 2.61112E-01
 CRITICAL ENGY(ALF.) ... 2.29726E+02 RADIATION LOSS(MW) ... 7.32667E+00
 ENERGY LOSS(DIFF.) ... 3.74463E+01

```

*** SOLUTION FOR QF = 5.00 ***
*
FRACTION OF BEAM ... 0.00701
FRACTION OF ALPHA ... 0.00321
(ND. OF ITERATION ... 2 )
FUSION X-SECTION ... 8.59293E-17
CHARGE OF IMPURITY ... 0.0
Q-VALUE(FUSION) ... 5.00000E+00
ENERGY CONF. TIME ... 1.15990E+00
N-T(TRAPPED ION) ... 1.95113E+14
N-T(TRAPPED ELE.-1) ... 1.08779E+13
PRES. TO PLASMA ... 1.00000E+00
POWER BY BEAM ... 3.28083E+01
TOTAL POWER (MW) ... 2.59577E+02
CRITICAL ENGY(BEAM) ... 1.15607E+02
CRITICAL ENGY(CALF.) ... 2.29726E+02
ENERGY LOSS(DIFF.) ... 9.85487E+01
INJECTION POWER(MW) ... 5.19377E+01

FRACTION OF IMPURITY ... 0.0
ALPHA FROM BULK PLA. ... 0.00277
KSOI = 0
RATIO OF D TO T ... 1.00000E+00(PDT)
EFFECTIVE CHARGE ... 1.00000
QW-VALUE(BEAM FUSION) ... 6.89742E-01
ELECTRON DENSITY ... 1.11031E+14
N-T(PSEUDO-CLASSICAL) ... 1.05830E+15
N-T(TRAPPED ELE.-2) ... 5.71127E+14
PRES. TO ELECTRON ... 2.00000E+00
POWER BY BEAM(AVXS) ... 3.28236E+01

SLOWING DOWN TIME ... 1.43915E-01
SLOWING DOWN TIME ... 2.61112E-01
RADIATION LOSS(MW) ... 7.32667E+00
5.19155E+01 5.19377E+01

FRACTION OF TRITIUM ... 0.50000
ALPHA FROM BEAM ... 0.00044
HOT-ALPHA(AVERAGE) ... 0.00072
EFFECTIVE TEMP. ... 7.00000
POWER * Q-VALUE ... 1.28789E+03
NE-TAU(SEC/CM**3) ... 1.28789E+14
N-T(NEO-BOHM) ... 2.56888E+14
PRESSURE(J/CM**3) ... 2.49036E-01
POWER BY BULK PLASMA ... 2.23769E+02
    
```

JAERI - M 7769 正 誤 表

ページ	行	誤	正
表紙			
4	上 6	$\sqrt{\frac{2k}{m_1}}$	$\sqrt{\frac{2k}{m_1}}$
	上 9	A_1/\sqrt{E}	A_1/\sqrt{E}
8	下 1	ρ_2	ρ_{\perp}
9	上 2	ρ	ρ_{\perp}
	上 3, 4	(3.7)	} (3.7)
	上 5	ρ	ρ_{\perp}
	下 1	$\bar{E}_x = \bar{E}_x = \frac{1}{\tau_{sx}} \int_0^{\tau_{SD}} E dt$	$\bar{E}_x = \frac{1}{\tau_{sx}} \int_0^{\tau_{sx}} E dt$
10	下 8	電子に与えられた	電子に与えられる
12	下 3	$\frac{E_c^{3/2}}{E}$	$\frac{E_c^{3/2}}{\sqrt{E}}$
22	上 6	$n\tau$	$n\tau =$
27	下 3	$\frac{kT_e}{eB_1 r}$	$\left(\frac{kT_e}{eB_1 r} \right)$
32	上 11	捕獲イオン	捕獲イオン則
40	Fig 4. 15	T = 7 keV	T = 7 keV
47	上 1	……"BAL TOK"とマニュアル	……"BAL TOK"のマニュアル
48	上 12	$E_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2, E_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$	$E_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2, E_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$
	上 16	等レザージ	等レザージ
51	上 16	m, n	m, l
53	Fig A-2	PWCH = 0 and PDT2 = 0	PWCH = 0 and PDT2 = 0