

JAERI-M

7154

円筒殻状試料に入射する D-d 中性子の
実効エネルギー分布の計算

1977年7月

五 藤 博

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.

円筒殻状試料に入射する D-d 中性子の
実効エネルギー分布の計算

日本原子力研究所東海研究所 原子炉工学部

五 藤 博

(1977年6月16日受理)

厚い重水素メタルターゲットを d^+ イオンで照射して得られる中性子について、その放出対称軸に対して直交するように置かれた核分裂計数管がどのようなエネルギー分布の中性子を受けるかを求める計算方法が導かれている。計算方式はモンテカルロ法による。フォートラン・プログラムが含まれている。

JAERI-M 7154

Calculation of the Effective D-d Neutron Energy Distribution
Incident on a Cylindrical Shell Sample

Hiroshi GOTOH

Division of Reactor Engineering,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received June 16, 1977)

A method is proposed to calculate the effective energy distribution of neutrons incident on a cylindrical shell sample placed perpendicularly to the direction of the deuteron beam bombarding a deuterium metal target. The Monte Carlo method is used and the Fortran program is contained.

Keywords: D-d Neutron, Neutron Energy Distribution,
Cylindrical Shell Sample, Monte Carlo Method,
Fortran Program

目 次

1. まえがき	1
2. 問 題	1
3. 解法と計算結果	2
3.1 重心系における最大放出角	2
3.2 D-d 反応の微分断面積	3
3.3 θ'_{\max} より小さい角度で中性子を放出するD-d 反応の断面積	3
3.4 メタルターゲット中でのd ⁺ イオンのエネルギー損失	4
3.5 D-d 中性子を発生させるd ⁺ イオン・エネルギー- E_1 の確率密度関数	4
3.6 E_1 のサンプリング	5
3.7 中性子放出方向のサンプリング	5
3.8 立体幾何学的関係	5
3.9 中性子のエネルギー	6
3.10 フォートラン・プログラムおよび計算結果	6
4. あとがき	10
引用文献	10
付録 フォートラン・プログラム・リスティング	11

1. まえがき

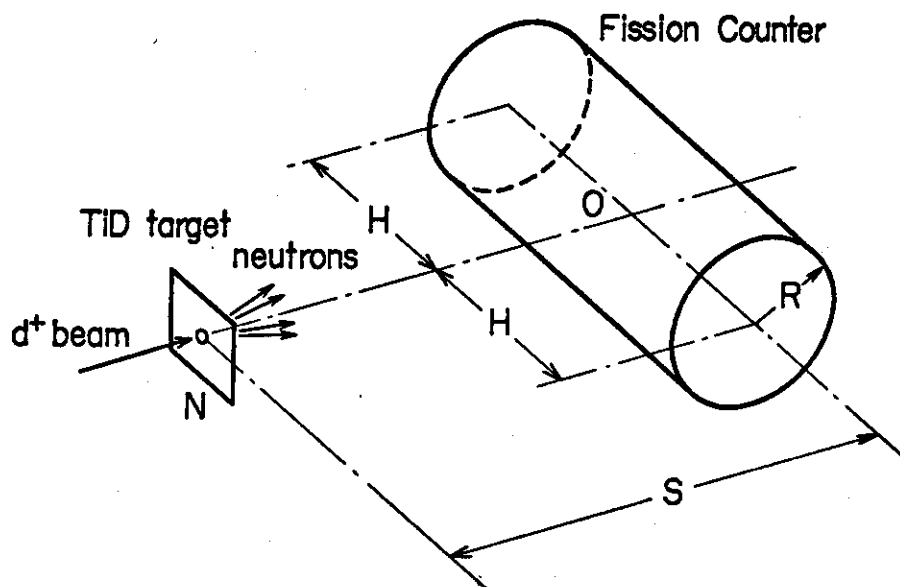
著者は、中性子放出量の絶対測定法の研究の一部として、種々の実験配置について中性子入射量の計算法に関して体系的検討を行なっている。その過程において、同じ研究機関の研究者から、厚い重水素メタルターゲットから発生するD-d中性子の放出軸に対して直交するように置かれた核分裂計数管の核分裂性物質に入射する中性子の実効的なエネルギー分布を計算してもらいたいとの申し入れを受けた。この報告は、その申し入れに対する回答である。

この報告で取扱われている幾何学的配置は、加速器による中性子を用いる実験において、その高い幾何学的対称性の故に、しばしば採用されるもののようである。著者は、それ以前にも、同種の配置における中性子入射量の算出法について、複数人の研究者から相談を受けたことがあった。

著者の構想による全体的な成果を報告するまでには、まだかなりの日時を要する見込みである。ここに述べた主題は、外観上かなり限定されたものである。しかし、同種の計算の出発点となり得る多くの要素を含んでいる。これらの要素は、上記の構造のなかで用意されたものである。

2. 問 題

この報告で取扱う幾何学的配置は、第1図に示すものである。すなわち、重水素メタルターゲット(TiD)にエネルギー E_0 MeVの d^+ イオンが入射し、D-d中性子を発生する。ターゲットの前方に、円筒殻状の核分裂性物質の陽極をもつ核分裂計数管をその中心軸が d^+ イオンの入射方向と直交するように置いてあるものとする。そして問題は、その核分裂性物質に生じた核反応がどのよう



第1図 実験配置

1. まえがき

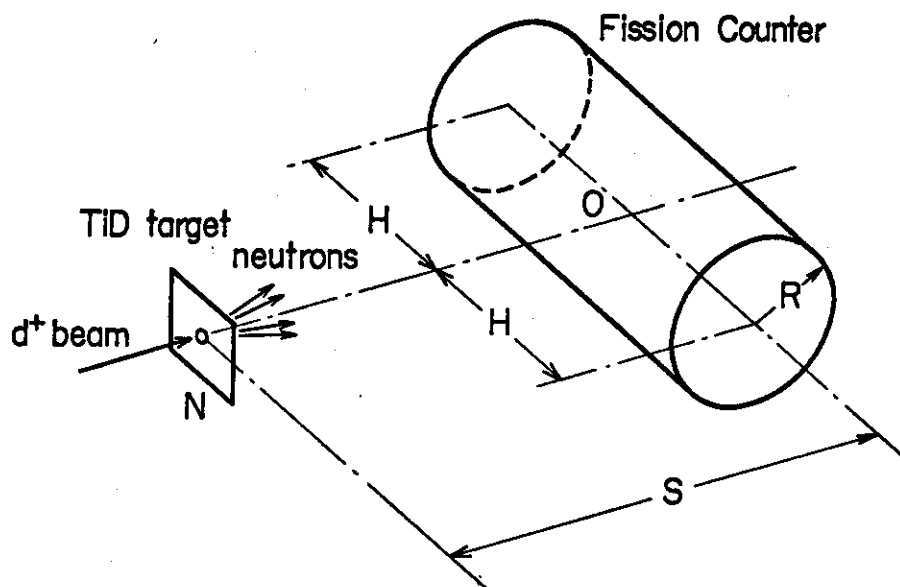
著者は、中性子放出量の絶対測定法の研究の一部として、種々の実験配置について中性子入射量の計算法に関して体系的検討を行なっている。その過程において、同じ研究機関の研究者から、厚い重水素メタルターゲットから発生するD-d中性子の放出軸に対して直交するように置かれた核分裂計数管の核分裂性物質に入射する中性子の実効的なエネルギー分布を計算してもらいたいとの申し入れを受けた。この報告は、その申し入れに対する回答である。

この報告で取扱われている幾何学的配置は、加速器による中性子を用いる実験において、その高い幾何学的対称性の故に、しばしば採用されるもののようである。著者は、それ以前にも、同種の配置における中性子入射量の算出法について、複数人の研究者から相談を受けたことがあった。

著者の構想による全体的な成果を報告するまでには、まだかなりの日時を要する見込みである。ここに述べた主題は、外観上かなり限定されたものである。しかし、同種の計算の出発点となり得る多くの要素を含んでいる。これらの要素は、上記の構造のなかで用意されたものである。

2. 問 題

この報告で取扱う幾何学的配置は、第1図に示すものである。すなわち、重水素メタルターゲット(TiD)にエネルギー E_0 MeVの d^+ イオンが入射し、D-d中性子を発生する。ターゲットの前方に、円筒殻状の核分裂性物質の陽極をもつ核分裂計数管をその中心軸が d^+ イオンの入射方向と直交するように置いてあるものとする。そして問題は、その核分裂性物質に生じた核反応がどのよう



第1図 実験配置

なエネルギー分布の中性子によって誘起されたと考えるべきかということである。

D-d中性子源の大きさは、点状線源と考えられるものとする。中性子源から計数管中心軸までの距離をS cmとし、計数管内の円筒状の核分裂性物質塗布面の直径を2R cmとする。また、その円筒の長さを2H cmとし、その中心点がd⁺イオンの入射直線上にあるものとする。メタルターゲットの厚さは、エネルギーE₀に対して無限厚とみなせるものとする。中性子のエネルギー分布は、ここでは相対値のみを扱う。

3. 解法と計算結果

解として要求される物理量は、数学的にいえば、2重積分量である。しかし、その積分領域は、2つの積分変数に関する複雑な連立方程式の解としてしか求められないので、いわゆる数値積分法は用いず、モンテカルロ法によって積分することにする。

3.1 重心系における最大放出角

D-d反応の断面積はd⁺イオンのエネルギーが小さくなるほど小さくなる。また、d⁺イオンの単位エネルギー損失あたりの走行距離は、そのエネルギーが小さくなるほど小さくなる。幾何学的配置条件から考えて、あらかじめ、中性子の放出立体角を限定することがサンプリングの効率を上げるためには望ましい。また、D-d反応の角度分布を表わす微分断面積は、重心系における放出角のルジャンドル多項式についての係数として与えられている¹⁾。

幾何学的条件から、実験室系における中性子の放出角(d⁺イオン入射直線と中性子放出直線のなす角θ)の最大値θ_{max}は、かなり複雑な算式になりそうである。ここでは、それより若干ゆとりをとって、簡単に、

$$\cos \theta_{\max} = \frac{S - R}{\sqrt{(S - R)^2 + H^2 + R^2}} \quad (1)$$

とする。θに対応する重心系における角θ'は、d⁺イオンのエネルギーE_iに依存し、その値が大きいほど大きい。したがって、計数管に入射する中性子の重心系における最大の角θ'_{max}はd⁺イオンの入射エネルギーE₀について求めておけばよい。それは重心系と実験室系のあいだの角度の変換式²⁾

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta'}{\cos \theta' + \rho} \quad (2)$$

を用いて、次のようになる。

$$\cos \theta'_{\max} = \rho_{\max} \cdot \sin^2 \theta_{\max} + \cos \theta_{\max} \cdot \sqrt{1 - \rho_{\max}^2 + \rho_{\max}^2 \cos^2 \theta_{\max}} \quad (3)$$

なエネルギー分布の中性子によって誘起されたと考えるべきかということである。

D-d中性子源の大きさは、点状線源と考えられるものとする。中性子源から計数管中心軸までの距離をS cmとし、計数管内の円筒状の核分裂性物質塗布面の直径を2R cmとする。また、その円筒の長さを2H cmとし、その中心点がd⁺イオンの入射直線上にあるものとする。メタルターゲットの厚さは、エネルギーE₀に対して無限厚とみなせるものとする。中性子のエネルギー分布は、ここでは相対値のみを扱う。

3. 解法と計算結果

解として要求される物理量は、数学的にいえば、2重積分量である。しかし、その積分領域は、2つの積分変数に関する複雑な連立方程式の解としてしか求められないので、いわゆる数値積分法は用いず、モンテカルロ法によって積分することにする。

3.1 重心系における最大放出角

D-d反応の断面積はd⁺イオンのエネルギーが小さくなるほど小さくなる。また、d⁺イオンの単位エネルギー損失あたりの走行距離は、そのエネルギーが小さくなるほど小さくなる。幾何学的配置条件から考えて、あらかじめ、中性子の放出立体角を限定することがサンプリングの効率を上げるためには望ましい。また、D-d反応の角度分布を表わす微分断面積は、重心系における放出角のルジャンドル多項式についての係数として与えられている¹⁾。

幾何学的条件から、実験室系における中性子の放出角(d⁺イオン入射直線と中性子放出直線のなす角θ)の最大値θ_{max}は、かなり複雑な算式になりそうである。ここでは、それより若干ゆとりをとって、簡単に、

$$\cos \theta_{\max} = \frac{S - R}{\sqrt{(S - R)^2 + H^2 + R^2}} \quad (1)$$

とする。θに対応する重心系における角θ'は、d⁺イオンのエネルギーE_iに依存し、その値が大きいほど大きい。したがって、計数管に入射する中性子の重心系における最大の角θ'_{max}はd⁺イオンの入射エネルギーE₀について求めておけばよい。それは重心系と実験室系のあいだの角度の変換式²⁾

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta'}{\cos \theta' + \rho} \quad (2)$$

を用いて、次のようになる。

$$\cos \theta'_{\max} = \rho_{\max} \cdot \sin^2 \theta_{\max} + \cos \theta_{\max} \cdot \sqrt{1 - \rho_{\max}^2 + \rho_{\max}^2 \cos^2 \theta_{\max}} \quad (3)$$

ここで、 ρ_{\max} は入射エネルギー E_0 に対応する ρ の値であり、 ρ^2 は次式で与えられる²⁾。

$$\rho^2 = \frac{M_1 M_3}{M_2 M_4} \cdot \frac{E_1}{E_1 + Q + \frac{M_1 Q}{M_2}} \quad (4)$$

ここで、 E_1 は粒子1のエネルギーであり、 M_1 および M_2 は重水素核の質量、 M_3 は中性子の質量、 M_4 は ^3He の質量であり、 Q は反応の Q 値である。

$$Q = M_1 + M_2 - M_3 - M_4 \quad (5)$$

3.2 D-d 反応の微分断面積

D-d 反応の微分断面積についての最新のもっともよく検討されている報告は Liskien および Paulsen によるものである¹⁾。

その報告においては、微分断面積を重心系においてルジャンドル多項式で展開し、

$$\frac{d\sigma}{d\omega}(\theta') = \frac{d\sigma}{d\omega}(0^\circ) \sum_{i=0}^5 A_{2i} P_{2i}(\cos\theta') \quad (6)$$

$d\sigma/d\omega(0^\circ)$ および A_{2i} ($i = 0, 1, 2, 3$) は d^+ イオンエネルギー (MeV) 0.02 (0.01) 0.10, 0.10 (0.05) 1.00, 1.00 (0.10) 3.00, 3.00 (0.50) 10.00 に対して与えられている。

3.3 θ'_{\max} より小さい角度で中性子を放出する D-d 反応の断面積

θ'_{\max} より小さい放出角をもって中性子を放出する D-d 反応の断面積 $\sigma_{\theta' < \theta'_{\max}}(E_1)$ は、前節の微分断面積を積分することによって得られる。

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta' < \theta'_{\max}} &= \int_{\theta' < \theta'_{\max}} \frac{d\sigma}{d\omega}(\theta') d\omega \\ &= 2\pi \cdot \frac{d\sigma}{d\omega}(0^\circ) \sum_{i=0}^5 A_{2i} \int_{\cos\theta'_{\max}}^1 P_{2i}(\mu) d\mu \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、われわれはルジャンドル多項式の不定積分を必要とする。これは、次の漸化式および初期条件によって形式的に導くことができる(証明略)。

$$\int_z^1 P_n(z) dz = \frac{P_{n-1}(z) - z \cdot P_n(z)}{n+1} \quad (8)$$

$$P_{-1}(z) = 1$$

$$P_0(z) = 1$$

3.4 メタルタ-ゲット中でのd⁺イオンのエネルギー-損失

J.H.Coon がチタンに重水素ガスを原子数比で1対1の割合で吸着させた物質について、d⁺イオンのエネルギー-損失をD原子1個あたりのStopping cross section $\epsilon(E)$ の形で算出している(単位は $ev \cdot cm^2$)。このデータは少し古い³⁾が、他に適当なものがみつからないこと、大きく違っているとは考えられないことから、これを採用することにした。

3.5 D-d中性子を発生させるd⁺イオン・エネルギー- E_1 の確率密度関数

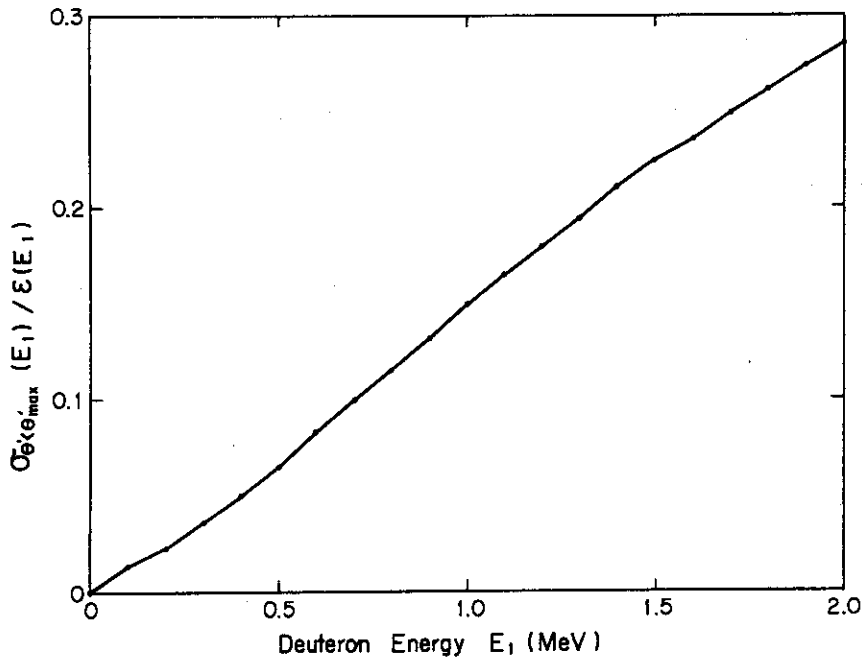
D-d反応を起すd⁺イオンのエネルギー- E_1 の確率密度関数 $P(E_1)$ は、前々節で求めた $\theta_{\theta' < \theta'_{max}}(E_1)$ の前節で述べたstopping cross section $\epsilon(E_1)$ に対する比に比例する。

$$P(E_1) = C \cdot \frac{\sigma_{\theta' < \theta'_{max}}(E_1)}{\epsilon(E_1)} \tag{9}$$

ここで定数Cは

$$\int_0^{E_0} P(E_1) dE_1 = 1 \tag{10}$$

と規格化するためのものである。実際の計算においては、規格化定数Cは求める必要はない。第2図に $\sigma_{\theta' < \theta'_{max}}(E_1) / \epsilon(E_1)$ を示す。この関数は取扱うエネルギー-範囲では単調増加関数となっている。



第2図 $\sigma_{\theta' < \theta'_{max}}(E_1) / \epsilon(E_1)$ のグラフ

3.6 E_1 のサンプリング

D-d 中性子を発生させる d⁺イオンのエネルギー E_1 のサンプリングは、棄却法によって行なう。サンプリングの効率は 50% を少し割った程度で、かなり良い効率である。エネルギーのメッシュ点以外は、直線内挿によることにする。計算時間の短縮を行なうため、概算によって棄却および受入れを行なう方法を併用した。

3.7 中性子放出方向のサンプリング

中性子の放出方向のサンプリングは、次の手順にしたがって行なう。

- 1) 区間 $(\cos \theta'_{\max}, 1)$ の一様乱数によって $\cos \theta'$ をサンプリングする。
- 2) エネルギーに対する直線内挿によりルジャンドル係数 A_{2i} ($i = 0, 1, 2, 3$) ($E_0 < 2\text{MeV}$ では $A_3 = A_{10} = 0$) からエネルギー E_1 に対するルジャンドル係数 AA_{2i} ($i = 0, 1, 2, 3$) を得る。
- 3) AA_{2i} を用いて、 $\sum_{i=0}^3 AA_{2i} \cdot P_{2i}(\cos \theta')$ ($\equiv \text{DFCROS}$) を求める。
- 4) 区間 $(0, 1)$ の一様乱数によって、 ξ を求める。
- 5) $\xi \leq \text{DFCROS}$ ならば $\cos \theta'$ を受入れ、次の操作に移る。しからざれば手順 1) に帰り、再び $\cos \theta'$ のサンプリングを試みる。

$$6) \quad \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1 - \cos^2 \theta'}{(\cos \theta' + \rho)^2}}} \quad (11)$$

によって、実験室系における放出角 θ の余弦を求める。

- 7) 方位角 ϕ は、区間 $(0, \pi/2)$ から一様サンプリングする。

3.8 立体幾何学的関係

第 3 図に計数管と中性子源の幾何学的配置の関係図を示す。角 θ と ϕ を図のようにとると、角 α の正接は次の関係によって求められる。

$$\tan \alpha = \tan \theta \cdot \cos \phi \quad (12)$$

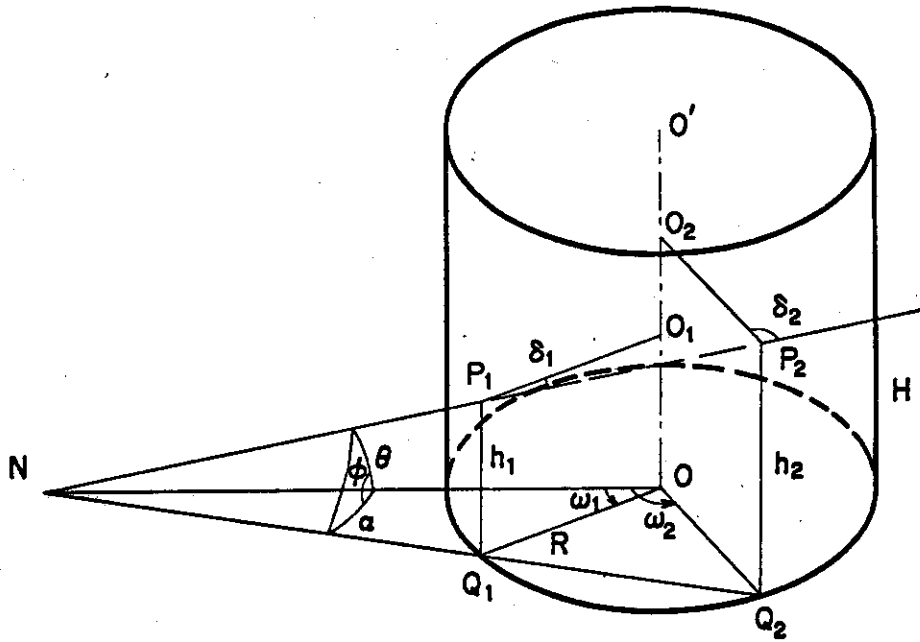
中性子の飛行直線が円柱面と交わる点を P_1 および P_2 とし、それぞれの点における内向きの法線と飛行方向のなす角を δ_1 および δ_2 とし、角 ω_1 および ω_2 を図のようにとれば、

$$\cos \omega_i = \frac{S \cdot \sin^2 \alpha \pm \cos \alpha \sqrt{R^2 - S^2 \cdot \sin^2 \alpha}}{R} \quad (1, 2 \text{ と複号は同順}) \quad (13)$$

となる。この根が実数でない場合には、飛行直線は円柱面と交わらない。

また、点 P_1 および P_2 の底面からの高さ h_1 および h_2 は

$$h^2_i = \{ (S - R \cos \omega_i) \tan \theta + R \cdot \sin \omega_i \} \{ (S - R \cdot \cos \omega_i) \tan \theta - R \cdot \sin \omega_i \} \quad (i = 1, 2) \quad (14)$$



第3図 計算のための幾何学的関係図

によって与えられる。

h_i ($i=1, 2$) が円柱面の高さ H よりも大きい場合は、交点は計数管の実効長よりもはみ出していることになる。

また、 $\cos \delta_i$ ($i=1, 2$) は

$$\cos \delta_i = \frac{R - S \cdot \cos \omega_i}{\sqrt{h_i^2 + S^2 + R^2 - 2R \cdot R \cos \omega_i}}, \quad (i=1, 2) \quad (15)$$

によって与えられる。核分裂性物質のみかけ上の厚さは実際の厚さよりも $1/|\cos \delta_i|$ 倍だけ厚くなる。

3.9 中性子のエネルギー

実験室系で放出角 θ で放出される中性子のエネルギー E_3 は、非相対論的近似では、

$$E_3 = M_1 M_3 \left(\frac{\sqrt{\eta + \cos^2 \theta_3} + \cos \theta}{M_3 + M_4} \right)^2 \quad (16)$$

$$\eta = \frac{M_3 + M_4}{M_1 M_3} \left(M_4 - M_1 + \frac{M_4 Q}{E_1} \right) \quad (17)$$

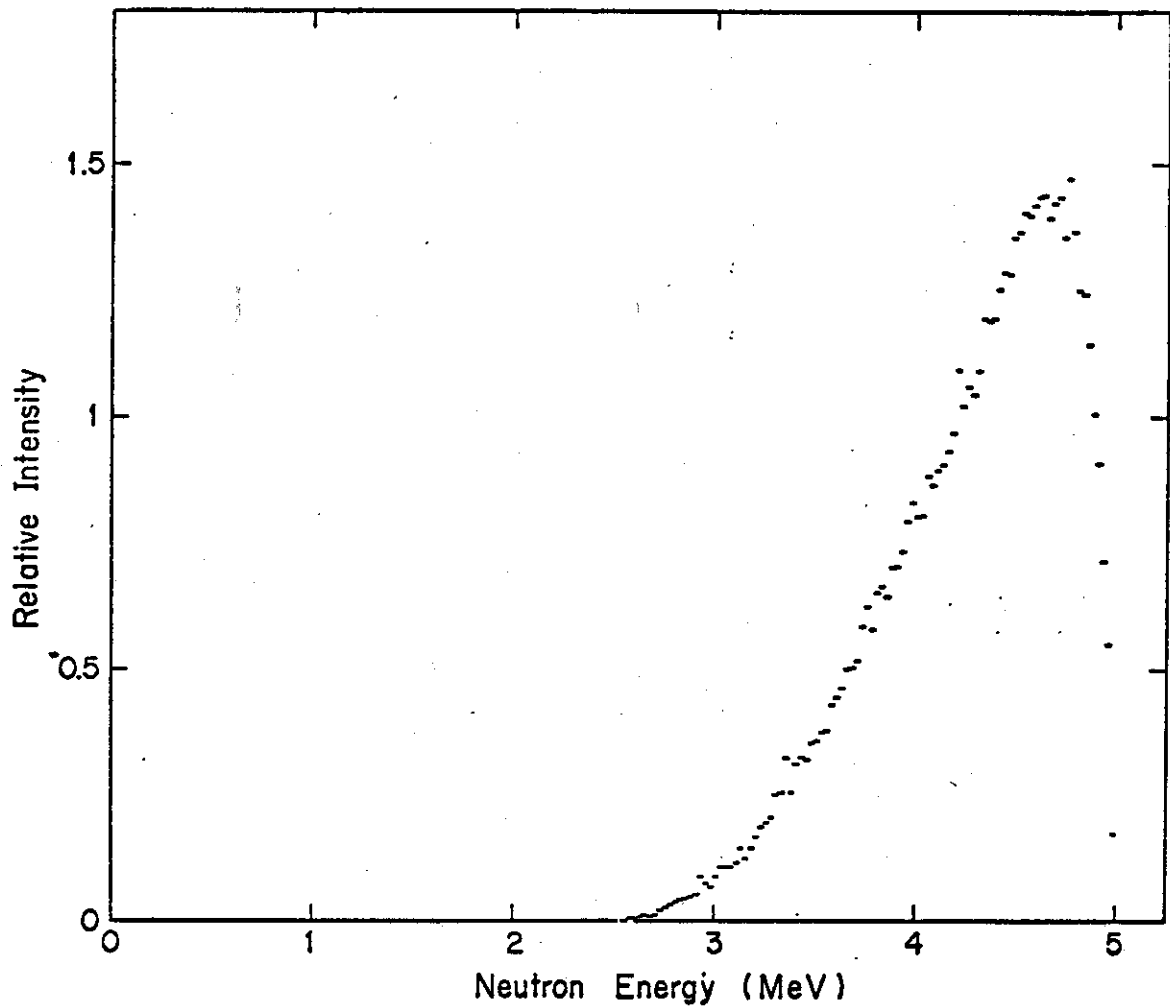
によって与えられる。

3.10 フォートラン・プログラムおよび計算結果

前節までの検討をもとに、フォートラン・プログラムを作成した。コメントカード4枚を含めて、

全体で121枚となった(プログラム・リスティングは付録参照)。

$S=1$ cm, $R=0$, 15 cm, $H=1$ cmとした場合の計算結果は, 0.025 MeV 刻みの度数分布として現わせば, 第1表のようになる。度数の総数は $500,000$ である。グラフ化すると第4図のようになる。



第4図 円筒殻状試料に入射する中性子の実効的エネルギー分布

第1表 計算結果

θ_{\max}	θ'_{\max}						
0.64346	0.78718						
μ	0	1	2	3	4	5	6
$\overline{P_i}(\cos\theta'_{\max})$	1.00000	0.78718	0.42947	0.03867	0.26884	0.41866	0.37034
$\int_{\cos\theta'_{\max}}^1 P_i(\theta)d\mu$	0.21282	0.19018	0.14970	0.09976	0.05006	0.00923	0.01719

E_1 (MeV)	$\sigma_{\theta'} < \theta'_{\max}(E_1) / \epsilon(E_1)$
0.0	0.0
0.100000	0.01276
0.200000	0.02255
0.300000	0.03600
0.400000	0.04951
0.500000	0.06471
0.600000	0.08270
0.700000	0.09955
0.800000	0.11492
0.900000	0.13191
1.000000	0.14920
1.100000	0.16479
1.200000	0.17940
1.300000	0.19442
1.400000	0.21028
1.500000	0.22429
1.600000	0.23565
1.700000	0.24953
1.800000	0.26108
1.900000	0.27337
2.000000	0.28434

4. あとがき

この報告で述べた手法は、T-D, T-P, ${}^6\text{Li}$ -P反応などの中性子に関する計算には、定数を変更するだけで、そのまま用いることができる。

ここでは、中性子で照射される試料は円筒殻状であるとしたが、円柱状試料についての計算には若干のプログラム変更を加えればよい。

これらの計算を1本のプログラムで、すべて含ませるようにすることも容易である。しかしそのような改造は、必要になったときに行なえばよいことであると考え、依頼事項に応えた原型のままにしておく。この計算結果は、核物理第1研究室竹腰英子氏らのレポートに引用されている。⁴⁾

引用文献

- 1) H. Liskien and A. Paulsen, Nuclear Data Tables, 11(1973)569-619
- 2) J. Monahan, "Kinematics of Neutron-Producing Reactions", P.49-72, Part I, Fast Neutron Physics, edited by J. B. Marion and J. L. Fowler, Interscience Publishers, Inc., (1960)
- 3) J. H. Coon, "Targets for the Production of Neutrons", P. 677-720, ibid
- 4) E. Takekoshi and Y. Tsukihashi, " ${}^{239}\text{Pu}$ Fission Isomer in the Reaction with 3-5 MeV Neutrons", J. Phys. Soc. Japan 42 (1977) №5

4. あとがき

この報告で述べた手法は、T-D, T-P, ${}^6\text{Li}$ -P反応などの中性子に関する計算には、定数を変更するだけで、そのまま用いることができる。

ここでは、中性子で照射される試料は円筒殻状であるとしたが、円柱状試料についての計算には若干のプログラム変更を加えればよい。

これらの計算を1本のプログラムで、すべて含ませるようにすることも容易である。しかしそのような改造は、必要になったときに行なえばよいことであると考え、依頼事項に応えた原型のままにしておく。この計算結果は、核物理第1研究室竹腰英子氏らのレポートに引用されている。⁴⁾

引用文献

- 1) H. Liskien and A. Paulsen, Nuclear Data Tables, 11(1973)569-619
- 2) J. Monahan, "Kinematics of Neutron-Producing Reactions", P.49-72, Part I, Fast Neutron Physics, edited by J.B. Marion and J.L. Fowler, Interscience Publishers, Inc., (1960)
- 3) J.H. Coon, "Targets for the Production of Neutrons", P.677-720, ibid
- 4) E. Takekoshi and Y. Tsukihashi, " ${}^{239}\text{Pu}$ Fission Isomer in the Reaction with 3-5 MeV Neutrons", J. Phys. Soc. Japan 42 (1977) №5

付録 フォートラン・プログラム・リストインク

1000000

1000000

```

000000 COMMENT : EFFECTIVE NEUTRON SPECTRUM INCIDENT ON A CYLINDRICAL SHELL
000000 COMMENT : SAMPLE PLACED PERPENDICULARLY TO THE SYMMETRY AXIS OF D-D
000000 COMMENT : NEUTRON EMISSION FROM A THICK DEUTERIUM METAL TARGET
000000 COMMENT : PROGRAMMED BY H.GOTCH, FOR E.TAKEKOSHI, NOV.27, 1976
000000 DOUBLE PRECISION DTOMAX,PIR
000000 DIMENSION DIS(210),AC(21,6),P(8),SP(8),PROB(21,2),PP(7),AA(4),C
000000 DATA DIS/210*0./,A/0./,2./,4./,6./,7./,13./,4./,11./,4./,13./,4./,15./,1./,16./,5./,17./,8./,
000000 120./,21./,21./,9./,22./,7./,23./,4./,24./,24./,6./,25./,2./,25./,8./,26./,4./,1./,1./,671./,605./,5
000000 1532./,506./,483./,465./,447./,432./,418./,405./,393./,381./,370./,360./,35
000000 142./,334./,326./,318./,0./,323./,379./,408./,426./,437./,443./,445./,445./,
000000 1./,439./,434./,428./,422./,416./,410./,404./,398./,392./,387./,382./,0./,006
000000 16./,029./,042./,057./,074./,090./,109./,125./,142./,158./,174./,189./,203./,
000000 1./,228./,240./,251./,260./,270./,10*0./,001./,003./,005./,008./,011./,014./,
000000 1./,020./,023./,027./,030./,9./,30./,38./,36./,34./,31./,28./,25./,8./,24./,0./,22./,2
000000 16./,19./,3./,18./,3./,17./,3./,16./,3./,15./,5./,14./,9./,14./,2./,13./,7./,13./,2./,12./,8./
000000 NR=5
000000 NP=6
000000 PI=3, 1425926
000000 FM1=1876,098
000000 FM2=1876,098

```

00310 500

IDENT=000

```

00311 FM3=999.555
00312 FM4=9999.974
00313 FM5=FM1+FM2-FM3-FM4
00314 FM6=FM3+FM4
00315 FM7=FM4-FM1
00316 FM8=FM4*0
00317 FM9=FM1*FM3
00318 E0=1.8
00319 RH02X=FM1*FM3/FM2/FM4*E0/(E0+0+FM1*0/FM2)
00320 RH0X=SQRT(RH02X)
00321 S=1
00322 R=.15
00323 H=1
00324 CTMAX=(S-R)/SQRT((S-R)**2+H*H+R*R)
00325 CTCMAX=RHOX*(1.-CTMAX*CTMAX)+CTMAX*SQRT(1.-RH02X+RH02X*CTMAX**2)
00326 TMAX
00327 00328 00329 00330 00331 00332 00333 00334 00335
00336 00337 00338 00339 00340 00341 00342 00343 00344 00345
00346 00347 00348 00349 00350
1)
P(I)=1
DO 300 I=0,6
CALL LEGD(CTCMAX,I,POR,ILL)
IF(ILL.NE.0)GO TO 300
300 P(I+2)=POR
WRITE(NP,30)CTMAX,CTCMAX,(P(I+2),I=0,6)
30 FORMAT(1X,9F8.5)
DO 320 I=0,6
SP(I+2)=(P(I+1)-CTCMAX*P(I+2))/FLOAT(I+1)
WRITE(NP,30)(SP(I+2),I=0,6)
DO 340 I=1,21
X=0
PROB(I,1)=FLOAT(I-1)/10.
DO 330 J=2.5
00500

```

00510 300

IDENT=000

```

00511  X=AC(I,J)*SP(2*J-2)
00512  XE(I,2)=AC(I,1)*X/A(I,6)
00513  DO 350 I=1,21
00514  WRITE(NP,40)(PROB(I,J),J=1,2)
00515  FORMAT(IX,2F10.5)
00516  CONTINUE
00517  K=IFIX(E0/.1)+1
00518  E11=E0-.1*FLOAT(K-1)
00519  PROX=(PROB(K,2)*(1-E11)+PROB(K+1,2)*E11)/.1
00520  GO TO 810
00521  900 WRITE(NP,90)I,ILL,POR
00522  90  FORMAT(IX,2I10,F10.5)
00523  STOP
00524  810 CONTINUE
00525  N=5E5
00526  PP(I)=1.
00527  II=0
00528  DO 360 III=1,N
00529  E1=E0*RANDOM(0)
00530  K=IFIX(E1/.1)+1
00531  E11=E1-.1*FLOAT(K-1)
00532  PRO=PROX*RANDOM(0)
00533  IF(PRO.GT.PROB(K+1,2))GO TO 360
00534  IF(PRO.LE.PROB(K,2))GO TO 410
00535  PRO1=(PROB(K,2)*(1-E11)+PROB(K+1,2)*E11)/.1
00536  IF(PRO.GT.PRO1)GO TO 360
00537  410 CONTINUE
00538  DO 420 I=1,4
00539  AAC(I)=(A(K,I+1)*(1-E11)+A(K+1,I+1)*E11)/.1
00540  CTC=(1.-CTCMAX)*RANDOM(0)+CTCMAX
00541  425

```

=L 0101100

ICENT=000

```

000100      PP(2)=CTC
000110      DO 430 I=1,5
000120      PP(I+2)=(FLOAT(2*I+1)*CTC*PP(I+1)-FLOAT(I)*PP(I))/FLOAT(I+1)
000130      DFCRS=0
000140      DO 440 I=1,4
000150      DFCRS=DFCRS+AH(I)*PP(2*I-1)
000160      IF(RANDOM(0).GT.DFCRS)GO TO 425
000170      RHO2=FM1*FM3/FM2+FM4*E1/(E1+0+FM1*0/FM2)
000180      RHO=SORT(RHO2)
000190      CT=1./SORT(1+(1.-CTC*CTC))/(CTC+RHO)**2
000200      X=1.-CT*CT
000210      IF(X.LE.0.)GO TO 360
000220      TT=SQRT(X)/CT
000230      TH=TT*COS(PI/2.*RANDOM(0))
000240      CA=1./SQRT(1.+TH*TH)
000250      SA=TH*CA
000260      X=RR-(S*SA)**2
000270      IF(X.LE.0.)GO TO 800
000280      ETA=FM3*(FM4+FM40/E1)/FM13
000290      E3=FM1*FM3*E1*(SQRT(ETA+CT*CT)+CT)/(FM3+FM4)**2
000300      X=SQRT(X)
000310      CO(1)=(S*SA*SA+CA*X)/R
000320      CO(2)=(S*SA*SA-CA*X)/R
000330      DO 700 J=1,2
000340      X=1.-CO(J)*CO(J)
000350      IF(X.LE.0.)GO TO 360
000360      SO=SQRT(X)
000370      HI=((S-R*CO(J))*TT+R*SO)*((S-R*CO(J))*TT-R*SO)
000380      IF(HI.LE.0.)GO TO 360
000390      HI=SQRT(HI)
000400
000410
000420
000430
000440
000450
000460
000470
000480
000490
000500
000510
000520
000530
000540
000550
000560
000570
000580
000590
000600
000610
000620
000630
000640
000650
000660
000670
000680
000690
000700
000710
000720
000730
000740
000750
000760
000770
000780
000790
000800
000810
000820
000830
000840
000850
000860
000870
000880
000890
000900
000910
000920
000930
000940
000950
000960
000970
000980
000990
001000
001010
001020
001030
001040
001050
001060
001070
001080
001090
001100

```

#L 1110,1400

IDENT=900

```

011110 IF(CH1 GE .H) GO TO 800
011120 CDIU=H1*H1+S*S+R*R-2.*S*R*CO(J)
011130 IF(CDIU LE .0) GO TO 360
011140 CDIU=SQRT(CDIU)/ABS(R-S*CO(J))
011150 K=INT(E3/.025)
011160 DIS(K)=DIS(K)+CDIU
011170 I=I+1
011180 CONTINUE
011190 CONTINUE
012000 NP=11
012100 WRITE(NP,80)DIS
012200 FORMAT(1X,10F7.0)
012300 X=0
012400 DO 910 I=1,210
012500 X=X+DIS(I)
012600 CONTINUE
012700 WRITE(NP,91)N,I,X
012800 FORMAT(1X,2I10,F10.0)
012900 STOP
013000 END

```