

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

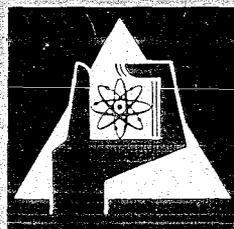
Dezember 1970

KFK 1182

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Schneller Brüter

Ein Monte-Carlo Programm zur Berechnung  
der Ansprechwahrscheinlichkeit eines Bor-NaJ-Zählers

V. Brandl



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Dezember 1970

KFK-1182

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Schneller Brüter

Ein Monte-Carlo Programm zur Berechnung  
der Ansprechwahrscheinlichkeit  
eines Bor-NaJ-Zählers

Volker Brandl

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1950

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

RESEARCH REPORT  
NO. 100

1950

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein Monte-Carlo-Programm für die Berechnung der Ansprechwahrscheinlichkeit eines B-NaJ-Neutronenzählers. Der Zähler basiert im wesentlichen auf dem Nachweis der 478 keV Photonen aus der Reaktionsfolge:  $B^{10} + n = Li^{*7} + \alpha + 2.3 \text{ MeV}$ ;  $Li^{*7} \rightarrow Li^7 + \gamma + 478 \text{ keV}$ . Elastische Mehrfachstreuung der Neutronen an  $B^{10}$  und eventuell auch an  $(CH_2)_n$  wird exakt berücksichtigt. In einer beliebig wählbaren Energiegruppe der Neutronen wird die Ansprechwahrscheinlichkeit im wesentlichen durch Analog-Monte-Carlo berechnet. In den übrigen Energiegruppen wird sie gleichzeitig mittels eines Nichtanalog-Verfahrens - durch Registrieren geeigneter Gewichte - bestimmt. Die wichtigsten Eingabegrößen des Programms sind die Geometrie des Zählers und Wirkungsquerschnitte.

## Abstract

This paper describes a Monte-Carlo-code for the evaluation of the efficiency of a B-NaJ neutron counter. The counter detects the 478 keV gammas from the sequence of reactions:  $B^{10} + n = Li^{*7} + \alpha + 2.3 \text{ MeV}$ ;  $Li^{*7} \rightarrow Li^7 + \gamma + 478 \text{ keV}$ . Multiple elastic scattering of the neutrons on  $B^{10}$  and  $(CH_2)_n$  is taken exactly into account by the code. For an arbitrary energy group of the neutrons the detector efficiency is, in principle, evaluated by an analog Monte-Carlo method. In all other energy groups the efficiency is simultaneously computed by sampling of corresponding weights. The most important input data of the code are the geometry of the counter and the nuclear cross sections of its constituents.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This not only helps in tracking expenses but also ensures compliance with tax regulations. The second part of the document provides a detailed breakdown of the company's revenue for the quarter. It shows that sales have increased by 15% compared to the previous quarter, primarily due to the launch of a new product line. The third part of the document outlines the budget for the next quarter, highlighting areas where cost-cutting measures can be implemented without affecting the quality of the products. Finally, the document concludes with a summary of the overall financial performance and a forecast for the coming year.

The following table shows the monthly sales figures for the last six months. As you can see, there is a clear upward trend in sales, particularly in the last two months. This is a positive sign for the company's growth. The table also includes the percentage change in sales from the previous month, which shows a consistent increase. The data is as follows:

Month	Sales (USD)	% Change
June	120,000	+5%
July	126,000	+5%
August	132,300	+5%
September	138,915	+5%
October	145,861	+5%
November	153,154	+5%

<u>Inhalt</u>		<u>Seite</u>
I.	Einleitung	1
II.	Die mathematische Formulierung des Problems	2
III.	Formeln zur Physik und Geometrie des Problems	4
III.1	Stoßparameter	
III.2	Wirkungsquerschnitte	
III.3	Geometrische Formeln	
IV.	Die Monte-Carlo Methode	5
IV.1	Die Schätzfunktion	
IV.2	Die Auswahl der Zufallsgrößen	
V.	Programmbeschreibung	8
V.1	Struktur des Programms	
V.2	Eingabe	
V.3	Ausgabe	
V.4	Hinweise für den Benutzer	
V.5	Fehlernachrichten	
	Literaturhinweise	14
Anhang:	Flußdiagramm	15
	Abbildungen	16
	Programmliste	17
	Beispiel	31

1892

Jan 1	Balance	100.00
Jan 15	Received from A	50.00
Jan 20	Received from B	25.00
Jan 25	Received from C	15.00
Feb 1	Received from D	30.00
Feb 10	Received from E	20.00
Feb 15	Received from F	10.00
Feb 20	Received from G	15.00
Feb 25	Received from H	10.00
Mar 1	Received from I	20.00
Mar 10	Received from J	15.00
Mar 15	Received from K	10.00
Mar 20	Received from L	15.00
Mar 25	Received from M	10.00
Mar 31	Balance	100.00

Received of \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## I. Einleitung

Bei der Neutronenspektrumsmessung mittels der Flugzeitmethode [1] verwendet man B-NaJ-Zähler. Sie bestehen im wesentlichen aus einer mit angereichertem Bor (eventuell in Verbindung mit Kohlenwasserstoffverbindungen) gefüllten zylindrischen Büchse, die von vier NaJ-Kristallen zur Registrierung von Gammaquanten umgeben ist (siehe Fig. 1). Man läßt - parallel zur Zylinderachse - Neutronen einfallen, sie lösen im Zylinder die folgenden Reaktionen aus:

1. elastische Streuung an  $B^{10}$  und  $B^{11}$
2. eventuelle elastische Streuung an  $H^1$  und  $C^{12}$
3.  $B^{10} + n = \alpha + 2,7 \text{ MeV} + Li^7$
4.  $B^{10} + n = \alpha + 2,3 \text{ MeV} + Li^{*7} \rightarrow Li^7 + \gamma + 478 \text{ keV}$

Von den in Reaktion 4. mit isotroper Winkelverteilung emittierten Photonen gelangt nur ein Bruchteil in die NaJ-Kristalle, wo er per Photoeffekt nachgewiesen werden kann. Die meisten Photonen werden nicht registriert, weil sie - wenn sie im Zylinder Comptonstreuung erleiden - diskriminiert werden, oder - als Konsequenz der vorgegebenen geometrischen Konfiguration des Zählers - an den NaJ-Kristallen vorbeifliegen.

Die Wahrscheinlichkeit, daß auf den Zylinder auftreffende Neutronen eines bestimmten Energiebereiches nachgewiesen werden (das soll heißen, daß die von den Neutronen - gemäß Reaktion 4. - erzeugten Photonen in den NaJ-Kristallen registriert werden), nennt man die Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählers für Neutronen dieses Energiebereiches.

Aus meß-technischen Gründen ist es wünschenswert, daß die Ansprechwahrscheinlichkeit über den Energiebereich von etwa 0 - 1 MeV möglichst konstant ist. Um das zu erreichen, bringt man  $H^1$  und  $C^{12}$  in Form von Kohlenwasserstoffverbindungen in die zylindrische Büchse. Die Transparenz des Zylinders für höherenergetische Neutronen - sie werden durch den Wasserstoff stark moderiert - wird dadurch vermindert.

Das vorliegende Monte-Carlo-Programm soll es ermöglichen, die Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählers energiegruppenweise zu berechnen, besonders auch in Hinblick auf die Frage, wie sie durch eine Variation der Wasserstoff-

konzentration verändert werden kann. Die wichtigsten Eingabegrößen des Programms sind die verschiedenen mikroskopischen Wirkungsquerschnitte der im Zylinder enthaltenen Materialien (in Tabellenform) sowie die zugehörigen Teilchenzahlen.

## II. Die mathematische Formulierung des Problems

Wenn man für einen Augenblick das Photon modellmäßig als Neutron mit speziellen, ad hoc definierten Eigenschaften auffaßt (es soll nämlich gemäß eines Streuquerschnitts  $\Sigma_s$  im Zylinder Comptonstreuung erleiden bzw. gemäß eines Absorptionsquerschnitts  $\Sigma_a$  in den NaJ-Kristallen per Photoeffekt absorbiert werden), dann kann man das Problem, die Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählers zu berechnen, auf die Lösung der Neutronentransportgleichung für ein nichtmultiplizierendes Medium zurückführen. Für die Ansprechwahrscheinlichkeit,  $I^i$ , einfallender Neutronen der  $i$ -ten Energiegruppe gilt daher:

$$(1) \quad I^i = \iint \Sigma(\vec{r}, \vec{v}) \phi^i(\vec{r}, \vec{v}) d\vec{r} d\vec{v} \quad *$$

Die Funktionen  $\phi^i(r, v)$  - die Stoßdichten - genügen den Transportgleichungen:

$$(2) \quad \phi^i(\vec{r}, \vec{v}) = \iint K(\vec{r}, \vec{v}, \vec{r}', \vec{v}') \phi^i(\vec{r}', \vec{v}') d\vec{r}' d\vec{v}' + S^i(\vec{r}, \vec{v}),$$

wobei folgende Definitionen gelten:

Der Kern der Integralgleichung wird in bekannter Weise in zwei Faktoren zerlegt

$$(3) \quad K(\vec{r}, \vec{v}, \vec{r}', \vec{v}') = C(\vec{v}', \vec{v}, \vec{r}') T(\vec{r}', \vec{r}, \vec{v})$$

$$(4) \quad C(\vec{v}', \vec{v}, \vec{r}') = \sum_K p_K(\vec{v}') C_K(\vec{v}', \vec{v}, \vec{r}')$$

$p_K$  ist die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis der Sorte  $K$  (Absorption bzw. Streuung an den verschiedenen Isotopen). Der Kern bezieht sich

---

\*  $\vec{r}$  ist der Orts-,  $\vec{v}$  der Geschwindigkeitsvektor

auf die Änderung des Geschwindigkeitsvektors, er enthält die Stoßphysik

$$(5) \quad T(\vec{r}', \vec{r}, \vec{v}) \equiv \Sigma_t(\vec{r}, \vec{v}) \exp \left[ - \int_0^{\omega \cdot (\vec{r} - \vec{r}') / \Sigma_t(\vec{r}', +s\vec{\omega})} ds \right] \times \\ \times \delta(\vec{\omega}' / |\vec{r} - \vec{r}'|) \delta(\vec{\omega}'' / |\vec{r} - \vec{r}'|) n(\vec{\omega} / |\vec{r} - \vec{r}'|) \quad **$$

$\omega, \omega'$  und  $\omega''$  seien orthonormale Basisvektoren im Punkt  $\vec{r}$ . Die Funktion  $T(\vec{r}', \vec{r}, \vec{v})$  bezieht sich auf die Änderung der räumlichen Koordinaten.

$$(6) \quad S^i(\vec{r}, \vec{v}) \equiv \int T(\vec{r}', \vec{r}, \vec{v}) Q^i(\vec{r}', \vec{v}) d\vec{v}$$

$Q^i$  sei die physikalische Quelldichte.

$S^i$  ist die Erststoßdichte.

Die Energieachse der Quellneutronen sei in aufeinanderfolgende Intervalle geteilt. Mit  $\delta_i$  der Länge des Energieintervalls  $(E_i, E_{i+1})$  gelte:

$$(7) \quad Q^i(\vec{r}, \vec{v}) \sim \delta(z) \frac{d\phi}{2\pi} \frac{rdr}{2} \frac{dE}{\delta_i} \quad \text{für } E \in (E_i, E_{i+1}) \quad *** \\ \equiv 0 \quad \text{andernfalls.}$$

Wegen (7) gilt auch für die Energieabhängigkeit von  $S^i(\vec{r}, \vec{v})$

$$(8) \quad S^i(\vec{r}, \vec{v}) \sim 1/\delta_i \quad \text{für } E \in (E_i, E_{i+1}) \\ \equiv 0 \quad \text{andernfalls.}$$

$$(9) \quad g(\vec{r}, \vec{v}) \equiv \begin{cases} 1 & \text{wenn } \vec{r} \in \text{des NaJ-Kristalls} \\ 0 & \text{andernfalls,} \end{cases}$$

entsprechend der Tatsache, daß man Absorptionsraten (gemäß des Absorptionsquerschnitts  $\Sigma_a$ ) in den NaJ-Kristallen berechnen will.

\*\* Es gelte  $\vec{v} = v\vec{\omega}$  und  $mv^2/2 = E$

\*\*\* Siehe auch Abb. 1

### III. Formeln zur Physik und Geometrie des Problems

#### III.1 Stoßparameter

Energie und Richtung des Neutrons nach dem elastischen Stoß ergeben sich aus den Gesetzen für Energie und Impulserhaltung. Es gilt

$$\vec{\Omega} = \frac{1}{K_i (A_i + 1)} (A_i \vec{\omega} + \vec{\Omega}') \quad \text{und}$$

$$E = K_i^2 E' \quad \text{mit}$$

$$K_i^2 = \frac{2A_i}{(A_i + 1)^2} [1 - (\vec{\omega} \cdot \vec{\Omega}')] \quad \text{mit}$$

$A_i$  = die Massenzahl des Stoßkerns

$\vec{\omega}$  = die Richtung des gestreuten Neutrons im Schwerpunktsystem

$\vec{\Omega}'$  = die Richtung des Neutrons im Laborsystem vor dem Stoß

$\vec{\Omega}$  = die Richtung des Neutrons im Laborsystem nach dem Stoß

$E$  = die Energie des Neutrons im Laborsystem vor dem Stoß

$E'$  = die Energie des Neutrons im Laborsystem nach dem Stoß

#### III.2 Wirkungsquerschnitte

Die Wirkungsquerschnitte als Funktion der Energie werden mittels linearer Interpolation zwischen diskreten Werten (die der Programmbenutzer eingeben muß) berechnet; Ausnahme: Für die Reaktion 4 (siehe Abschnitt I) wird für Energien  $\leq 50$  keV folgende Formel verwendet:

$$\sigma(E) \sim 1/\sqrt{E}$$

#### III.3 Geometrische Formeln

Für die Geometrietroutinen benötigt man bei vorgegebenen Richtungskosinus,  $(u, v, w)$ , des Neutrons und Stoßortkoordinaten,  $(x, y, z)$ , folgende Abstandsformeln zur Deckfläche bzw. Mantelfläche eines Zylinders mit dem Radius R:

$$D_F = \pm \frac{G}{W} \text{ für } W \geq 0, \text{ wobei } G \text{ der}$$

Normalabstand zur Deckfläche ist; und

$$(10) D_1 = \frac{\sqrt{-(\vec{C} \cdot \vec{D}) \pm \sqrt{(\vec{C} \cdot \vec{D})^2 + (R^2 - \vec{D} \cdot \vec{D}) \cdot \vec{C} \cdot \vec{C}}}}{2}, \text{ mit}$$

$\vec{C}=(u,v)$  und  $\vec{D}=(x,y)$ . (Das Minuszeichen gilt, sofern  $(x,y,z)$  außerhalb des Zylinders liegt, für den Abstand zum näheren Durchstoßpunkt.)

#### IV. Die Monte-Carlo Methode

##### IV.1 Die Schätzfunktion

Um die Integrale  $I^i$  (siehe (1)) zu berechnen, wird die in [2] vorgeschlagene Schätzfunktion angewendet. Diese Methode kann so beschrieben werden: Nur zur Berechnung eines einzigen der Integrale  $I^i$  werden Schicksale gewürfelt. Die  $n-1$  übrigen Integrale werden geschätzt, indem man bei jedem Ereignis (Streuung, Absorption, etc.) entsprechende Gewichte registriert und summiert. Man kann die gewürfelten Schicksale in einen Neutronen- und einen Photonenteil zerlegen:

Für den Neutronenteil gilt: Zur Schätzung des Integrals  $I^k$  hat man beim  $n$ -ten Stoß folgende Gewichtungsfaktoren zu registrieren:

$$(11) F_n^k = \frac{\sum_i (\bar{E}_n^k) e^{-\sum_t (\bar{E}_n^k) x}}{\sum_i (E) e^{-\sum_t (E) x}}$$

$\Sigma_i$  ist ein makroskopischer Wirkungsquerschnitt. Der Index  $i$  bezieht sich auf die Stoßart (elast. Stoß an  $H^1$ ,  $C^{12}$ ,  $B^{10}$  und  $B^{11}$ ).  $x$  ist die Distanz bis zum Stoßort.  $E$  ist die Energie vor dem Stoß. Die  $\bar{E}_n^k$  sind gegeben durch das Gleichungssystem

$$\bar{E}_n^k = \left\{ \frac{E_0}{E_1 + \Delta} - (E_1 + \Delta) \right\} \frac{\delta_n^k}{\delta_1^k} + E_1 \frac{E_i}{E_0} \quad i=1, \dots, n$$

wobei folgende Definitionen gelten:  $\delta^k$  ist die Länge des Definitionsbereichs der Quelle  $S^k$  (siehe (8))<sup>\*\*</sup>, die dem Integral  $I^k$  entspricht.  $\delta_n$  ist

<sup>\*\*</sup> Wir betrachten hier nur die Energievariable.

die entsprechende Größe bezüglich des Integrals  $I^n$ , das durch Auswürfeln von Schicksalen geschätzt wird.  $E_1$  ist die untere Grenz des Definitionsbereichs der Quelle  $S^k$ .  $\Delta$  ist der Abstand der unteren Grenzen der Definitionsbereiche der Quellen  $S^k$  und  $S^n$  (siehe Fig. 2).

Für den Photonenteil eines Schicksals gilt:

- a) Die Comptonstreuung (im Zylinder) und die Reaktion des Photons im NaJ-Kristall (sie werden modellmäßig beschrieben durch Wirkungsquerschnitte  $\Sigma_s$  und  $\Sigma_a$ ) werden nicht ausgewürfelt. Sondern es wird über alle Streuungen und Absorptionen längs der Flugbahn gemittelt, sofern die (ausgewürfelte) Flugrichtung das Photon auf den NaJ-Kristall auftreffen läßt [3].
- b) Ferner kann man folgendes Antithetic-sampling anwenden [4]: Es werden zu jeder isotrop ausgewürfelten Richtung (U,V,W) des Photons vier weitere möglichst starke negativ korrelierte Richtungen gewählt. Über die zugehörigen Schätzfunktionen wird gemittelt. Die vier Richtungen seien gegeben durch:

$$\begin{array}{lll} U_1 = U; & V_1 = V; & W_1 = W \\ U_2 = -U_1; & V_2 = -V_1; & W_2 = -W_1 \\ U_3 = -V; & V_3 = U; & W_3 = W \\ U_4 = -U_3; & V_4 = -V_3; & W_4 = -W_3 \end{array}$$

Daraus resultieren für das Ereignis Photonproduktion folgende Gewichtungsfaktoren

$$(12) \quad G_n^k = \frac{\Sigma_Y(\vec{E}_n^k) e^{-\Sigma_t(\vec{E}_n^k) \cdot x}}{\Sigma_Y(E) e^{-\Sigma_t(E) \cdot x}} \cdot \sum_{i=1}^4 g_i, \quad \text{mit}$$

$$g_i = 0.25 e^{-\Sigma_s D_i^1} (1 - e^{-\Sigma_a D_i^2})$$

Die hier verwendeten Größen haben die gleiche Bedeutung wie in (11). Zusätzlich gilt:  $\Sigma_Y$  ist der makroskopische Wirkungsquerschnitt für die Reaktion  $\gamma(\text{Absch. I})$ .  $D_i^1$  und  $D_i^2$  sind die Längen der Flugbahnen des Photons in der zylindrischen Büchse bzw. im NaJ-Kristall.

#### IV.2 Die Auswahl der Zufallsgrößen

Im folgenden werden die Verfahren angegeben, nach denen die Zufallsgrößen ausgewählt werden [5]:

a) Startort des Neutrons:

Die Neutronen entstehen an der Basis des Zylinders, die Startorte sind über sie gleichverteilt, es wird mittels eines Rejektionsverfahrens gewürfelt.

b) Startenergie des Neutrons:

Die Energie der Quellneutronen wird gemäß (8) aus einer Gleichverteilung mittels der Transformationsmethode gewürfelt.

c) Startrichtung des Neutrons:

Sie ist durch die Richtung der Zylinderachse gegeben.

d) Fluglängen:

Die Distanz bis zum nächsten Stoßort wird gemäß  $\Sigma_t(x,E) \exp \int_0^x (s,E) ds$  mittels der Transformationsmethode gewürfelt.

e) Reaktionsart:

Reaktionsart (elast. Streuung an den verschiedenen Isotopen, Absorption und  $\gamma$ -Produktion) wird gemäß der diskreten Verteilung  $\Sigma_i/\Sigma_t$  mittels der Transformationsmethode gewürfelt.

f) Streuwinkel:

Der Streuwinkel des Neutrons im Schwerpunktsystem wird gemäß einer isotropen Winkelverteilung (Energien  $< 1$  MeV, leichte Kerne!) mittels der Rejektionsmethode gewürfelt.

g) Flugrichtung des Neutrons:

Sie wird im Laborsystem gemäß einer isotropen Winkelverteilung mittels der Rejektionsmethode gewürfelt.

## V. Programmbeschreibung

### V.1 Struktur des Programms

Das Programm besteht aus einem Hauptprogramm und den folgenden Subroutinen:  
IPØL, ISØTRØ; ABSTRA; ABSTRE; YDISKR; EMINAX; RANDU;

Die Subroutine IPØL dient der linearen Interpolation bei Wirkungsquerschnittsberechnungen. Für einen vorgegebenen Zwischenwert findet das Programm die zwei richtigen Stützstellen, indem es jeweils zur mittleren der in Frage kommenden (der Größe nach geordneten) Zahlen springt. (Wenn man die Anzahl der Stützstellen verdoppelt, erhöht sich die Anzahl der Abfragen also höchstens um eins.)

Die Subroutine ISØTRØ berechnet isotrop verteilte Richtungskosinus (siehe Abschnitt IV.2 f und g).

Die Subroutine ABSTRA berechnet den Abstand eines vorgegebenen Punktes zum Mantel eines Zylinders, wenn der Punkt im Inneren des Zylinders liegt (siehe Abschnitt III.3).

Die Subroutine ABSTRE führt die gleichen Berechnungen durch, wenn der Punkt außerhalb des Zylinders liegt (siehe Abschnitt III.3).

Die Subroutine YDISKR würfelt gemäß einer  $n \times n$  - dimensionalen diskreten Verteilung Werte  $p_{ik}$  (siehe Abschnitt IV.2 e).

Die Subroutine EMINAX berechnet gemäß der Verteilung  $\Sigma(x,E) \exp \int_0^x \Sigma(s,E) ds$  Zufallszahlen  $x$  (siehe Abschnitt IV.2 d).

Die Subroutine RANDU ist eine der IBM 360/65 Bibliothek entnommene Routine für zwischen 0 und 1 gleichförmig verteilte Zufallszahlen.

Das ganze Programm belegt ca. 80 K.

### V.2 Eingabe

Die Daten müssen in folgender Reihenfolge eingegeben werden und die Variablen hinter den Nummern (1 bis 14) müssen jeweils als erste Zahl einer Datenkarte eingelesen werden. In der Klammer neben den Variablennamen steht das

Eingabeformat.

1. NZZ;(I10) ist die Anzahl der Schicksale nach denen (Zwischen-)Ergebnisse ausgedruckt werden (siehe Abschnitt V.3,5.).
2. NGRO;(I3) ist der Faktor der angibt wie oft mal NZZ Schicksale (siehe 1.) gewürfelt werden sollen.
3. L;(I3) ist die Nummer der Energiegruppe (siehe Abschnitt V.4) in der die Ansprechwahrscheinlichkeit durch analog Monte-Carlo ermittelt wird.
4. IX;(I3) ist eine beliebige ungerade Zahl mit der die Zufallsroutine RANDU begonnen wird. Verschiedene IX entsprechen verschiedenen elementfremden Mengen von Zufallszahlen.
5. A, HOE1, HOE2, A2, HOE, (5F6.2). Diese Zahlen beschreiben die Geometrie des Zählers. Ihre Bedeutung kann der Fig. 7 entnommen werden.
6. NKK, F(1), F(2),.... F(NKK), (I3, 7(F10.2)). NKK ist die Anzahl der Grenzen der Quell-Energieintervalle für die man die Ansprechwahrscheinlichkeit berechnen will. Es muß gelten  $NKK \leq 201$ . Die Größen F(1) ... F(NKK) sind die Energiegrenzen (in keV) der Größe nach geordnet von niedrigen zu hohen Energien.
7. XMAZ(1), AZ(1), XMAZ(2), AZ(2) ... XMAZ(4), AZ(4); (4(F10.1, E10.3)). Die XMAZ(I) sind die Massenzahlen, die AZ(I) die Teilchenzahlen der vier vorgesehenen elastischen Streuer: B<sup>10</sup>, B<sup>11</sup>, H<sup>1</sup>, C<sup>12</sup> (Reihenfolge beachten!)
8. NN, G(1,1), G(2,1) ... G(NN,1);(I3, 7(F10.3)). NN ist die Anzahl der Stützstellen der Wirkungsquerschnittstabellen (siehe 9.). Es muß  $NN \leq 200$  sein. Die G(I,1) sind die Stützstellen in keV der Größe nach geordnet von niedrigen zu hohen Energien. Diese Tabelle der Stützstellen gilt für alle sechs in 9. anzugebenden Tabellen der Wirkungsquerschnitte einheitlich. Under den Stützstellen müssen die drei Werte 0., 49.999 und 50 keV vorkommen.

9.  $H(1,1), H(2,1) \dots H(NN,1);(10F8.2)$ . Die  $H(I,1)$  sind die den Stützstellen (siehe 8.) in der Reihenfolge entsprechenden mikroskopischen Wirkungsquerschnitte  $[10^{-24} \cdot \text{cm}^2]$  für elastische Streuung an  $B^{10}$ .
10.  $H(1,2), H(2,2) \dots H(NN,2);(10F8.2)$ . Bedeutung wie in 9., aber hier für  $B^{11}$ .
11.  $H(1,3), H(2,3) \dots H(NN,3);(10F8.2)$ . Bedeutung wie in 9., aber hier für  $H^1$ .
12.  $H(1,4), H(2,4) \dots H(NN,4);(10F8.2)$ . Bedeutung wie in 9., aber hier für  $C^{12}$ .
13.  $H(1,5), H(2,5) \dots H(NN,5); (10F8.2)$ . Die  $H(I,5)$  sind die den Stützstellen (siehe 8.) in der Reihenfolge entsprechenden Zahlen, die in Prozent den Anteil der Reaktion 3 an Reaktion 3 und 4 des Abschnittes I angeben.
14.  $H(1,6), H(2,6) \dots H(NN,6);(10F.82)$ . Die  $H(I,6)$  sind die den Stützstellen (siehe 8.) in der Reihenfolge entsprechenden mikroskopischen Querschnitte für die Reaktion 3 und 4 des Abschnittes I. Für alle Stützstellen mit  $E \leq 49.999$  keV müssen für die  $H(I,6)$  Nullen (0.) eingegeben werden.
15. STR1, STR2, STR3, STRH;(3(E10.3), F7.4). STR1 bis STR3 sind die effektiven mikroskopischen Wirkungsquerschnitte  $[cm^2]$  für Comptonstreuung in der Zylinderbüchse an den Materialien  $H^1, B^{10}+B^{11}, C^{12}$  (siehe  $\Sigma_s$ , Abschnitt IV.1.a). STRH ist der effektive makroskopische Wirkungsquerschnitt  $[cm^{-1}]$  für Photonennachweis in den NaJ-Kristallen (siehe  $\Sigma_a$ , in Abschnitt IV.1.a).

### V.3 Ausgabe

Die Ausgabe ist weitgehend selbsterklärend. Es werden mehrere Gruppen von Größen in folgender Reihenfolge ausgegeben:

1. Ein Feld mit den vom Programm berechneten makroskopischen Wirkungsquerschnitten an den Stützstellen des Abschnittes V.2.8. Die Zeilen eines kleinen Blockes dieses Feldes (acht untereinanderstehende Zah-

len) haben folgende Bedeutung:

- 1. Zeile ..... Energie in keV
- 2. Zeile ..... makroskopische Wirkungsquerschnitte  $[cm^{-1}]$   
für elastische Streuung an  $B^{10}$
- 3. Zeile ..... makroskopische Wirkungsquerschnitte  $[cm^{-1}]$   
für elastische Streuung an  $B^{11}$
- 4. Zeile ..... makroskopische Wirkungsquerschnitte  $[cm^{-1}]$   
für elastische Streuung an  $H^1$
- 5. Zeile ..... makroskopische Wirkungsquerschnitte  $[cm^{-1}]$   
für elastische Streuung an  $C^{12}$
- 6. Zeile ..... makroskopische Wirkungsquerschnitte  $[cm^{-1}]$   
für die Reaktion 3 des Abschnitts I
- 7. Zeile ..... makroskopische Wirkungsquerschnitte  $[cm^{-1}]$   
für die Reaktion 4 des Abschnitts I
- 8. .... totaler makroskopischer Wirkungsquerschnitt  
(richtige Werte erst für  $E < 50 keV!$ )  $[cm^{-1}]$

2. In einer Zeile stehend: STR1, STR2, STR3, STRH (= Eingabegröße 15)

3. In einer Zeile stehend: L(= Eingabegröße 3); IX (= Eingabegröße 4)

4. In einer Zeile stehend: Die Teilchenzahlen für  $B^{10}$ ,  $B^{11}$ ,  $H^1$  und  $C^{12}$

5. In einer Zeile stehend: Anzahl der Energiegruppen (Eingabegröße 6);  
Anzahl der bis zu dieser (Zwischen-) Schätzung gewürfelten Schicksale;  
arithmet. Mittel der relativen Fehler (siehe V.3.5) aller Energiegruppen bezogen auf diese Zwischenschätzung

6. Ein aus 5 Spalten bestehendes Feld, das das Rechenergebnis enthält:

- Spalte 1 ..... obere Energiegrenzen in keV
- Spalte 2 ..... entsprechende Ansprechwahrscheinlichkeiten
- Spalte 3 ..... relative Fehler in % (der doppelten Varianz entsprechend)
- Spalte 4 ..... Wahrscheinlichkeit für Reaktion 4 (siehe Abschnitt I) pro Schicksal
- Spalte 5 ..... Energiegruppenbreiten

Die Ausgabegrößen 5 und 6 werden NGRO mal ausgedruckt.

#### V.4 Hinweise für den Benutzer

Mit besonderer Umsicht muß man an die Wahl der Eingabegröße L (Abschnitt V.2.3) herangehen. L gibt an für welche Energiegruppe die Ansprechwahrscheinlichkeit mit Analog-Monte-Carlo berechnet wird. Die Integrale der übrigen Energiegruppen werden (siehe Abschnitt IV.1) mit Nicht-Analog-Verfahren geschätzt. Der Vorteil dieser Methode liegt besonders im Rechenzeitgewinn. Er beträgt je nach der Länge der betrachteten Schicksale - abhängig von der Anzahl und Dichte der elastischen Streuer - 60 bis 90%. In Hinblick auf die Varianz wirkt sich die Methode eher ungünstig aus: Man vergrößert den relativen Fehler von einigen wenigen Prozenten bis zu einigen Größenordnungen je nachdem, ob sich die beiden Gruppen (die erste aus der analog gewürfelt wird, und die zweite in der man mit Hilfe von (11) und (12) schätzt) wenig oder stark in den Wirkungsquerschnitten von einander unterscheiden. Wegen des  $1/\sqrt{E}$  - Verlaufes des Wirkungsquerschnittes für Photonproduktion ist es vorteilhaft, L nicht an einem der Enden sondern in der Mitte des gesamten Energiebereiches zu wählen. Es empfiehlt sich vor einer Serie von genauen Berechnungen ein paar kurze Probeläufe zur optimalen Bestimmung von L zu starten: Die Varianzen am unteren und oberen Ende des betrachteten Energiebereiches sollen ungefähr gleich groß sein; und man muß sich mit der Wahl von NZZ (siehe Abschnitt V.2.1) und L in allen Energiegruppen in dem Bereich befinden, in dem für den Fehler das  $1/\sqrt{NZZ}$  - Gesetz gilt. Da die Ergebnisse in den einzelnen Energiegruppen korreliert sind, sollte man die Güte der Berechnungen auch mittels anderer Mengen von Zufallszahlen (siehe Abschnitt V.2.4) überprüfen.

#### V.5 Fehlernachrichten

Das Programm druckt alle Eingabegrößen mit Ausnahme der sechsten (s.d.) aus, bevor es zu rechnen beginnt. Durch Eingabefehler verursachte Schwierigkeiten können also durch Überprüfen dieser ausgedruckten Werte behoben werden. Beim regulären Abbrechen der Rechnung werden zusätzlich folgende Fehlernachrichten ausgegeben: Fehlernachricht KF = I (I = 1...7), was folgendes bedeutet:

KF = 1: Die Bedingung  $F(J+1) > F(J)$  für die Eingabegröße 6 ist nicht erfüllt.

- KF = 2: Unter den Stützstellen (Eingabegröße 8) kommt 50 keV nicht vor.
- KF = 3: Wie KF = 2 für 49.999 keV.
- KF = 4: Wie KF = 2 für 0 keV.
- KF = 5: Die Interpolationsroutine hat beim Berechnen der Wirkungsquerschnitte einen Energiewert  $E <$  als die kleinste Stützstelle gefunden.
- KF = 6: Wie KF = 5, aber  $E >$  als größte Stützstelle.
- KF = 7: Die Interpolationsroutine konnte aus irgendeinem Grund keinen Zwischenwert ausrechnen.

Literaturhinweise

- [1] E.D.A. Wattecamps, Neutronenspectrometrie door de vliegtijd methode en neutronenspectrums berekeningen van een snelle onderkritieke reaktor suak, Dissertation, Rijkuniversiteit de gent (1967)
- [2] V. Brandl, wird veröffentlicht
- [3] E. Gelbard, L.A. Ondis II and J. Spanier, A new class of Monte Carlo Estimators, J. Siam. Appl. Math. 14, 697-701 (1966)
- [4] K.W. Morton, Criticality Calculations by Monte Carlo Methods, Report: A.E.R.E. T/R 1903 (1956)
- [5] H. Kahn, Applications of Monte Carlo, Report: AECU-3299 (1954)

Anhang: Flußdiagramm

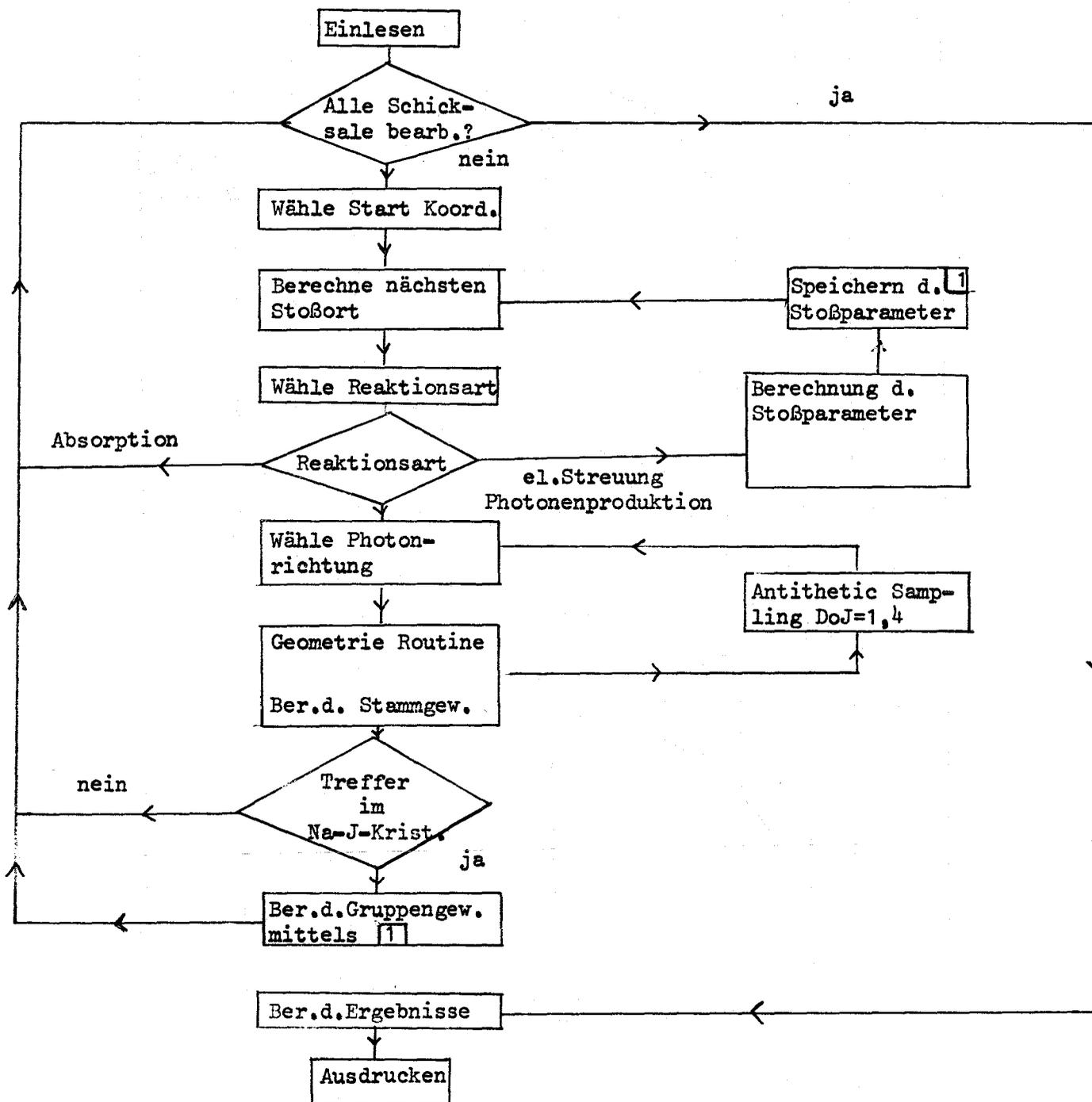


Fig. 2

Abbildungen

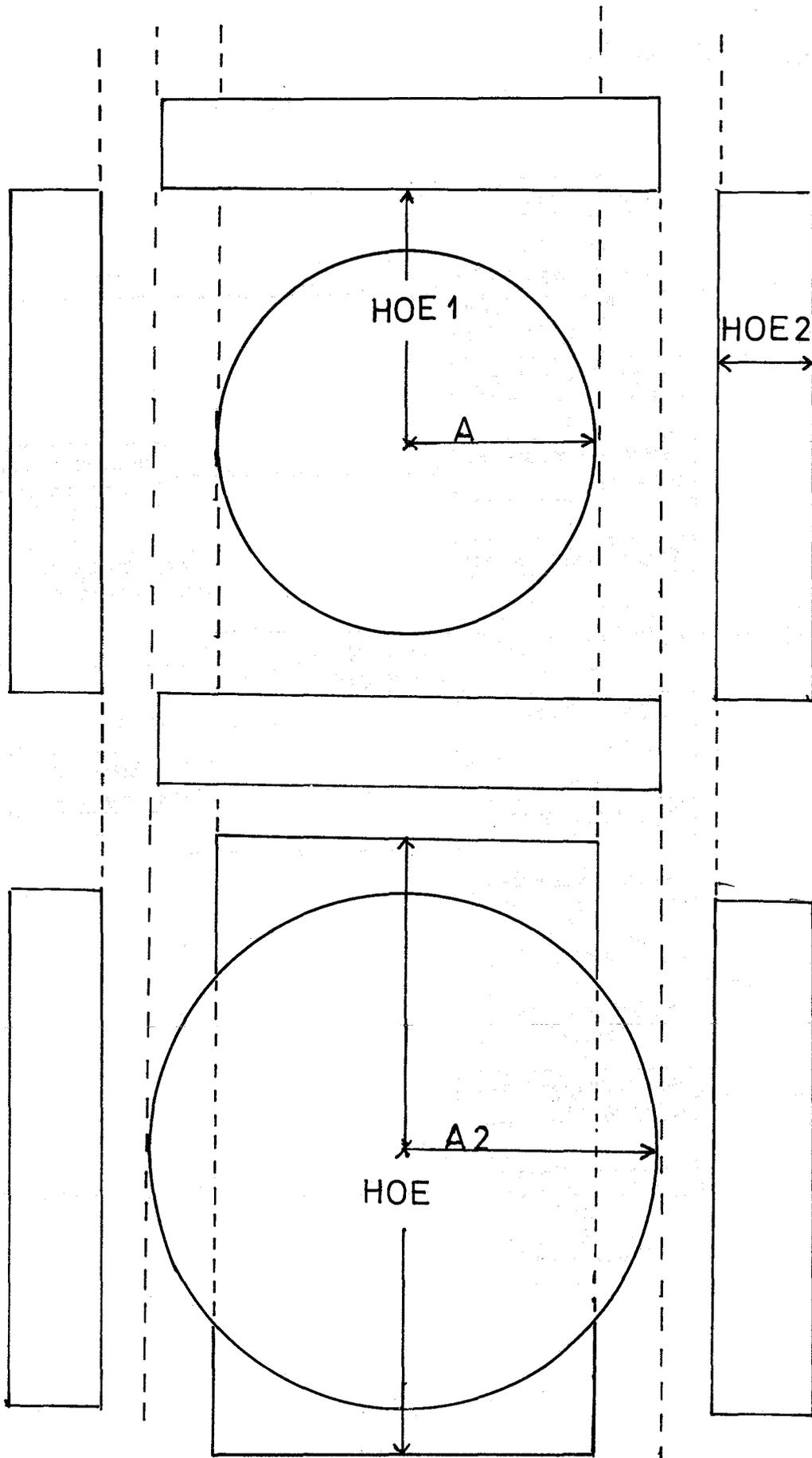


FIG.1

PROGRAMMLISTE

MONTECARLOPROGRAMM ZUR BERRECHNUNG DER ANSPRECHWAHRSCHEINLICHKEIT

```
DIMENSION G(200,7),H(200,7),XMAZ(7),AZ(7),N(7),XMA1(4),XMA2(4),
1 F(201) ,ERG(800),PL(7),P(4,4),NR1(7) ,M1(11,7),
2 L2(2),L3(2),DELTI(200),DELTA(200),GEWI(200),ENERGN(200),STOF
3(100),STOD(100),NSTOK(100),STOSIT(100),STOPIK(100),XU(6),XV(6),
4XW(6),FAKT1(200),E2(200),XMA3(4)
COMMON NR1,NR2,NI,NK,KF ,N1,P,N,RQ,IX
REAL*8EN(200)/200*0./,EM(200)/200*0./,E1(200)/200*0./
```

720 CONTINUE

EINLESEN

```
CALL FSPIE
KIN=5
KOUT=6
```

```
READ(KIN,708)NZZ
READ(KIN,752)NGRO
READ(KIN,36)L
READ(KIN,704)IX
READ(KIN,33)A,HOE1,HOE2,A2,HOE
READ(KIN,34)NKK,(F(I),I=1,NKK)
READ(KIN,37)(XMAZ(I),AZ(I),I=1,4)
```

```
AZ(5)=AZ(1)
AZ(6)=AZ(1)
READ(KIN,701)NN,(G(K,1),K=1,NN)
NKKK=NKK-1
```

```
DO 815 J=1,NKKK
IF(F(J+1)-F(J))814,814,815
```

```
814 KF=1
GO TO 809
```

```
815 CONTINUE
DO 803 J=1,NN
IF(G(J,1)-49.999)803,805,803
```

```
803 CONTINUE
KF=2
GO TO 809
```

```
805 DO 806 J=1,NN
IF(G(J,1)-50.)806,808,806
```

```
806 CONTINUE
KF=3
GO TO 809
```

```
808 DO 810 J=1,NN
      IF(G(J,1))810,811,810
```

```
810 CONTINUE
```

```
      KF=4
```

```
      GO TO 809
```

```
811 DO 50 I=2,7
```

```
      DO 50 K=1,NN
```

```
      50 G(K,I)=G(K,1)
```

```
      DO 705 J=1,6
```

```
705 READ(KIN,707)(H(K,J),K=1,NN)
```

```
      READ(KIN,703)STR1,STR2,STR3,STRH
```

```
      STRG=AZ(3)*STR1+(AZ(1)+AZ(2))*STR2+AZ(4)*STR3
```

```
      DO 54 I=1,4
```

```
      DO 54 K=1,NN
```

```
54 H(K,I)=H(K,I)*AZ(I)*10.E-25
```

C  
C  
C

BERECHNUNG DER MAKROSKOP. WIRKQU

```
DO 52 I=1,NN
```

```
H(I,5)=H(I,5)*H(I,6)*10.E-3
```

```
H(I,6)=(H(I,6)-H(I,5))
```

```
H(I,5)=H(I,5)*AZ(5)*10.E-25
```

```
52 H(I,6)=H(I,6)*AZ(6)*10.E-25
```

C  
C  
C

BERECHNUNG DER TOTALEN . WIRKQU

```
DO 613 K=1,NN
```

```
613 H(K,7)=H(K,1)+H(K,2)+H(K,3)+H(K,4)+H(K,5)+H(K,6)
```

```
      WRITE(6,4447)
```

```
4447 FORMAT(////1X)
```

```
      WRITE(6,4444)
```

```
4444 FORMAT(//1X,'B E I S P I E L'////1X,'GEOMETRIE DES ZAEHLERS.....A=6  
1.45 CM, HOE1=7.1 CM, HOE2=5.08CM, A2=6.35CM, HOE=12.00 CM.  
2'/1X,'RECHENZEIT(IBM-360/85).....10 MINUTEN'/////)
```

C  
C  
C

SCHREIBEN DER EINGABE

```
WRITE(KOUT,88)
```

```
WRITE(KOUT,88)
```

```
WRITE(KOUT,88)
```

```
WRITE(KOUT,69)
```

```
WRITE(KOUT,88)
```

```
WRITE(KOUT,88)
```

```
WRITE(KOUT,841)
```

```
WRITE(KOUT,88)
```

```
NIN=NN/13+1
```

```
DO 744 J=1,NIN
```

```
NA1=(J-1)*13+1
```

```
NA2=NA1+12
```

```
IF(J-NIN)756,757,757
```

```
757 NA2=NN
```

```
756 WRITE(KOUT,742) (G(J1,1),J1=NA1,NA2)
```

```
      DO 741 J3=1,7
```

```
741 WRITE(KOUT,743) (H(J1,J3),J1=NA1,NA2)
```

```
744 CONTINUE
```

```
      WRITE(KOUT,88)
```

```
      WRITE(KOUT,740)STR1,STR2,STR3,STRH
```

```
      WRITE(KOUT,88)
```

```
WRITE(KOUT,88)
WRITE(KOUT,951)L,IX
WRITE(KOUT,88)
WRITE(KOUT,84)
WRITE(KOUT,85)(AZ(I),I=1,4)
WRITE(KOUT,88)
```

C  
C  
C

BERECHNUNG DER HILFSGROESZEN

```
DO 55 I=1,4
XMA2(I)=XMAZ(I)+1.
XMA3(I)=XMA2(I)*XMA2(I)
55 XMA1(I)=2.*XMAZ(I)/XMA3(I)
DO 700 J=1,7
NR1(J)=0
700 N(J)=NN
SUMM2=0.
P(4,1)=0.
P(2,2)=0.
P(3,2)=0.
P(4,2)=0.
P(2,3)=0.
P(3,3)=0.
P(4,3)=0.
P(2,4)=0.
P(3,4)=0.
P(4,4)=0.
DO 80 I=1,NKKK
E1(I)=0.
EM(I)=0.
80 EN(I)=0.
CON=19.2*10.E-25
DIA=SQRT (4.*A*A+HOE*HOE)
HOE1Q=HOE1*HOE1
DIA2=2.*SQRT (A2*A2+HOE1Q)
DIA3=2.828*HOE1
L2(1)=1
L2(2)=L+1
L3(1)=L-1
L3(2)=NKKK
DO 611 J=1,NKKK
611 DELTI(J)=F(J+1)-F(J)
DELTN=DELTI(L)
DO 612 J=1,NKKK
612 DELTA(J)=DELTI(J)/DELTN
NELA =0
LID=0
KF=0
```

C  
C

MAKROSCHEIFE

```
DO 66 JGRO=1,NGRO
```

C  
C  
C

SCHICKSALS-ABFRAGE

```
NZ=NZZ
500 IF(NZ)56,56,59
59 NZ=NZ-1
```

C

C  
C  
C  
C

WAHL D. PRIMAERNEUTRONS  
ENERGIE

```
IF(KF-4)830,817,817
817 GO TO 809
830 GEW=1.
NELA=0
510 CALL RANDU(IX,N1,X )
IX=N1
E=(F(L+1)-F(L))*X+F(L)
T=E
```

C  
C

RADIUS

```
CALL RANDU(IX,N1,X1 )
IX=N1
CALL RANDU(IX,N1,X2 )
IX=N1
IF(X1-X2)1,1,2
1 R=A*X2
GO TO 4
2 R=A*X1
```

C  
C

ORT

```
4 CALL RANDU(IX,N1,A3 )
IX=N1
CALL RANDU(IX,N1,B3 )
IX=N1
S=(A3*A3+B3*B3)
IF(S-1.)3,3,4
3 S=SQRT (S)
A3=A3/S
B3=B3/S
CALL RANDU(IX,N1,X )
IX=N1
IF(X-0.5)5,5,6
6 A3=-A3
5 CALL RANDU(IX,N1,X )
IX=N1
IF(X-0.5)7,7,8
8 B3=-B3
7 XK=A3*R
YK=B3*R
ZK=-HOE/2.
```

C  
C

FLUGRICHTUNG

```
U1=0.
V1=0.
W1=1.
GAKT3=1.
KKD=0
631 GEW=1.
NELA=0
```

C  
C  
C

BER. D. NEUEN ORTES

```
31 CALL IPOL(7,G,H,M1,E,SIGTO)
IF(E-50.)615,21,21
```

```
615 PL1=SQRT (E)
    ALFAN=CON/PL1
    SIGTO=SIGTO+ALFAN*AZ(6)
21  CALL EMINAX(SIGTO,D)
    IF(D-DIA)11,500,500
11  VEK1=U1*D
    VEK2=V1*D
    VEK3=W1*D
    XK=XK+VEK1
    YK=YK+VEK2
    ZK=ZK+VEK3
    QK=ABS (ZK)
```

C  
C  
C

LEKAGE-FRAGE

```
    IF(QK-HOE/2.)28,500,500
28  R1=XK*XK+YK*YK
    R5=SQRT (R1)
    IF(R5-A)23,500,500
```

C  
C

BER. D. STREUQUERSCHNITTE

```
23  CALL IPCL(1,G,H,M1,E,Q)
    P(1,1)=Q
    CALL IPOL(2,G,H,M1,E,Q)
    P(1,2)=Q
    CALL IPOL(3,G,H,M1,E,Q)
    P(1,3)=Q
    CALL IPCL(4,G,H,M1,E,Q)
    P(1,4)=Q
    IF(E-5C.)70,71,71
70  PL1=SQRT (E)
    ALFAN=CON/PL1
    P(2,1)=0.063*ALFAN*AZ(5)
    P(3,1)=ALFAN*AZ(6)-P(2,1)
    GO TO 100
71  CALL IPCL(5,G,H,M1,E,Q)
    P(2,1)=Q
    CALL IPOL(6,G,H,M1,E,Q)
    P(3,1)=Q
```

C  
C  
C

WAHLEN D. REAKTION

```
100 CALL YDISKR(I,K)
    IF(I-2)501,500,501
```

C  
C  
C

WAHL D. RICHTUNG IM SS

```
501 CALL RANDU(IX,N1,X )
    IX=N1
    A3N=X
    CALL RANDU(IX,N1,B3N)
    IX=N1
    SN=A3N*A3N+B3N*B3N
    IF(SN-1.)502,502,501
502 CALL RANDU(IX,N1,X )
    IX=N1
    W4=2.*X-1.
    DN=SQRT ((1.-W4*W4)/SN)
```

```
U4=A3N*DN
V4=B3N*DN
CALL RANDU(IX,N1,X )
IX=N1
IF(X-0.5)503,504,504
503 U4=-U4
504 CALL RANDU(IX,N1,X )
IX=N1
IF(X-0.5)505,506,506
505 V4=-V4
506 CONTINUE
IF(I-1)16,16,19
```

C  
C  
C

### ENERGIE U. RICHTUNG BEIM STOSZ

```
16 SKAL=U1*U4+V1*V4+W1*W4
C=1.-XMA1(K)*(1.-SKAL)
IF(C-1.0E-48)81,18,18
81 C=0.
18 C1=SQRT (C)
NELA=NELA+1
STOE(NELA)=E
STOD(NELA)=D
NSTOK(NELA)=K
STOPIK(NELA)=P(I,K)
STOSIT(NELA)=SIGTO
E=C*E
IF((NELA).EQ.100)GO TO 19
IF(E-1.0E-3)19,72,72
72 H1=C1*XMA2(K)
H2=1./H1
U1=H2*(XMAZ(K)*U4+U1)
V1=H2*(XMAZ(K)*V4+V1)
W1=H2*(XMAZ(K)*W4+W1)
KKD=K
GO TO 31
```

C  
C  
C

### PHOTONPRODUKTION

```
19 U=V4
W=U4
V=W4
L1D=L1D+1
GEW=0.
GEWQ=0.
XU(1)=U
XV(1)=V
XW(1)=W
XU(2)=-U
XV(2)=-V
XW(2)=-W
XU(3)=-XV(1)
XV(3)=XU(1)
XW(3)=XW(1)
XU(4)=-XU(3)
XV(4)=-XV(3)
XW(4)=-XW(3)
```

C

C  
C

#### 4 FESTE RICHTUNGEN

```
DO 20 J=1,4
U=XU(J)
V=XV(J)
W=XW(J)
X=YK
Y=ZK
Z=XK
IZ=1
```

C  
C  
C  
C

#### GEOMETRIE 1

```
IF(W)32,40,199
32 W=-W
Z=-Z
199 RQ=X*X+Y*Y
AQ=A2*A2
IF(RQ-AQ)73,73,200
73 AB=HOE1-Z
IF(W-1.)92,90,92
90 D1=AB
91 D2=AB+HOE2
GO TO 41
92 IF(W-AB/DIA2)40,40,35
35 D1=AB/W
CALL ABSTRA(X,Y,A2,U,V,D3)
D4=D1-D3
IF(D4)39,39,40
39 D2=(AB+HOE2)/W
IF(D2-D3)41,41,42
42 D2=D3
41 DD=D2-D1
```

C  
C  
C

#### STAMMGEWICHT

```
RQ=R1
UF=XU(J)
WF=XW(J)
CALL ABSTRA(XK,YK,A,WF,UF,D1)
EXP1=-STRG*D1
EXP2=-STRH*DD
GEW1=EXP (EXP2)
GEW2=1.-GEW1
GEW3=EXP (EXP1)
GEW4=GEW3*GEW2*0.25
GEW=GEW+GEW4
GO TO 20
```

C  
C  
C

#### GEOMETRIE 2

```
200 AB1=HOE1-Z
AB2=AB1+HOE2
IF(W-AB2/DIA3)40,40,201
201 CALL ABSTRE(X,Y,A2,U,V,D2,D4)
IF(D2)40,212,212
212 HIF=X*U+Y*V
```

```
IF(HIF)203,40,40
203 D1=AB1/W
D3=AB2/W
IF(D3-D2)40,40,205
205 IF(D4-D1)40,40,206
206 IF(D1-D2)207,208,208
207 D1=D2
208 IF(D4-D3)209,210,210
209 D3=D4
210 DDD=D3-D1
```

C  
C  
C

### STAMMGEWICHTE

```
RQ=R1
UF=XU(J)
WF=XW(J)
CALL ABSTRA(XK,YK,A,WF,UF,D1)
EXP1=-STRG*D1
EXP2=-STRH*DDD
GEW1=EXP (EXP2)
GEW2=1.-GEW1
GEW3=EXP (EXP1)
GEW4=GEW3*GEW2*0.25
GEW=GEW+GEW4
GO TO 20
```

C  
C

### ZYLINDER 2

```
40 GO TO(44,20),IZ
44 IZ=2
X=ZK
Y=XK
Z=YK
U=XV(J)
V=XW(J)
W=XU(J)
IF(W)45,45,199
45 W=-W
Z=-Z
GO TO 199
20 CONTINUE
```

C  
C  
C

### GRUPPENGEWICHTE

```
754 IF(NELA)622,623,623
622 DO 602 J=1,NKKK
ENERG=DELTA(J)*(E-F(L))+F(J)
608 CALL IPOL(6,G,H,M1,ENERG,SIGMAA)
609 CALL IPOL(7,G,H,M1,ENERG,SIGMAT)
IF(ENERG-50.)607,619,619
607 PL1=SQRT (ENERG)
ALFAN=CON/PL1
P(2,1)=0.063*ALFAN*AZ(5)
SIGMAA=ALFAN*AZ(6)-P(2,1)
618 SIGMAT=SIGMAT+P(2,1)+SIGMAA
619 HOCHZ=(SIGTO -SIGMAT)*D
FAKT1(J)=SIGMAA/P(3,1)
FAKT2=EXP (HOCHZ)
FAKT3=FAKT1(J)*FAKT2
```

```
E1(J)=E1(J)+DBLE(FAKT3)
FAKT4=FAKT3*GEW
FAKT4Q=FAKT4*FAKT4
EN(J)=EN(J)+DBLE(FAKT4)
602 EM(J)=EM(J)+DBLE(FAKT4Q)
GO TO 500
623 NELAI=NELA+1
STOE(NELAI)=E
STOD(NELAI)=D*
NSTOK(NELAI)=6
STOPIK(NELAI)=P(3,1)
STOSIT(NELAI)=SIGTO
DO 640 J=1,NKKK
ENERGS=DELTA(J)*(T-F(L))+F(J)
GOCHZ=0.
SIGMAS=1.
PIK=1.
DO 628 J2=1,NELAI
ENERGT=ENERGS*STOE(J2)/T
K=NSTOK(J2)
CALL IPOL(K,G,H,M1,ENERGT,SIGMES)
CALL IPOL(7,G,H,M1,ENERGT,SIGMAT)
IF(ENERGT-50.)616,617,617
616 PL1=SQRT(ENERGT)
ALFAN=CON/PL1
SIGMAT=SIGMAT+ALFAN*AZ(6)
IF(K-6)617,642,642
642 P21=0.063*ALFAN*AZ(5)
SIGMES=ALFAN*AZ(6)-P21
617 HOCHZ=(STOSIT(J2)-SIGMAT)*STOD(J2)
GOCHZ=GOCHZ+HOCHZ
SIGMAS=SIGMAS*SIGMES
628 PIK=PIK*STOPIK(J2)
GAKT1=SIGMAS/PIK
IF(GOCHZ.LE.-180.2183)GO TO 640
GAKT2=EXP(GOCHZ)
GAKT3=GAKT1*GAKT2
E1(J)=E1(J)+DBLE(GAKT3)
HAKT=GAKT3*GEW
IF(HAKT.LE.1.E-39)HAKT=0.
HAKTQ=HAKT*HAKT
EN(J)=EN(J)+DBLE(HAKT)
EM(J)=EM(J)+DBLE(HAKTQ)
640 CCNTINUE
GO TO 500
```

C  
C  
C

BERECHNEN D. ERGEBNISSE

```
56 NZX=JGRO*NZZ
ZZ=NZX
XL1D=L1D
XL2D=100.*XL1D/ZZ
DO 60 J=1,NKKK
ERG(5*J-4)=F(J+1)
ERG(5*J-3)=100.*EN(J)/ZZ
IF(EN(J))62,62,61
62 ERG(5*J-2)=0.
GO TO 63
```

```
61 SQRTFA=EM(J)/(EN(J)*EN(J))-1./ZZ
   IF(SQRTFA-1.0E-50)62,62,64
64 ERG(5*J-2)=200.*SQRT(SQRTFA)
63 ERG(5*J-1)=DELTI(J)
   ERG(5*J)=100.*E1(J)/ZZ
   ERG(5*L)=XL2D
60 SUMM2=ERG(5*J-2)+SUMM2
   XNKKK=NKKK
   SUMM2=SUMM2/XNKKK
   NKKKK=NKKK*5
   WRITE(KOUT,88)
   WRITE(KOUT,88)
   WRITE(KOUT,83)NKKK,NZX,SUMM2
   WRITE(KOUT,86)
   DO 66 J=1,NKKKK,5
66 WRITE(KOUT,89)ERG(J),ERG(J+1), ERG(J+2),ERG(J+4),ERG(J+3)
   GO TO 956
809 WRITE(KOUT,955)KF
2000 CONTINUE
841 FORMAT(40X,48HTABELLE DER MAKROSKOPISCHEN WIRKUNGSQUERSCHNITTE)
33 FORMAT(5(F6.2))
34 FORMAT(I3,7(F10.2))
36 FORMAT(I3)
37 FORMAT(4(F10.1,E10.3))
69 FORMAT(1H ,40X,44HANSPRECHWAHRSCHEINLICHKEIT FUER NA-J-ZAEHLEP)
83 FORMAT(1H0,8X,I3,16H ENERGIEGRUPPEN ,13X,33HANZAHL DER SCHICKSALF
1PRO GRUPPE ,16,14X,22HMITTELWERT DER FEHLER ,F7.2)
84 FORMAT(1H0,9X,15HTEILCHENZAHLEN ,21X,4HB10 ,21X,4HB11 ,21X,3HH1 ,2
11X,4HC12 )
85 FORMAT(1H ,43X,E9.4,16X,E9.4,16X,E9.4,16X,E9.4)
86 FORMAT(1H0,5X,14HOBERE ENERGIE-,12X,16HANSPRECHWAHRSCH.,8X,9HRELAT
1IVER,12X,18HCAPTURE-EREIGNISSE,11X12HENERGIEGRUP-/7X,12HGRENZE (KE
2V),13X,
3REITE/
25X,6HFEHLER,15X,13HPRO SCHICKSAL,16X,9HPENR
87 FORMAT(1H0,8HTESTLAUF,I3)
88 FORMAT(1H0)
89 FORMAT(F16.3,F27.3, F21.1,F26.3,F25.2)
701 FORMAT(I3,7(F10.3))
703 FORMAT(3(E10.3),F7.4)
704 FORMAT(I3)
706 FORMAT(10(F8.2))
707 FORMAT(10F8.2)
708 FORMAT(I10)
710 FORMAT(1H ,3I3)
740 FORMAT(9X,6H STR1=,E10.4,10X,5HSTR2=,E10.4,10X,5HSTR3=,E10.4,10X,5
1HSTRH=,E10.4)
742 FORMAT(1H0,13F10.4)
743 FORMAT(1H ,13F10.4)
752 FORMAT(I3)
753 FORMAT(F2.0)
762 FORMAT(I10)
951 FORMAT(9X,2HL=,I3,10X,3HIX=,I2)
955 FORMAT(4H KF=,I5)
956 STOP
END
```

SUBROUTINE ABSTRA(XK,YK,A,U,V,D)

C  
C  
C

```
DIMENSION P(4,4),NR1(7),N(7)
COMMON NR1,NR2,NI,NK,KF ,N1,P,N,RQ,IX
B=U*U+V*V
SK=XK*U+YK*V
D=(-SK+SQRT (SK*SK+(A*A-RQ)*B))/B
RETURN
END
```

SUBROUTINE ABSTRE(X,Y,A,U,V,D2,D4)

C  
C  
C

```
DIMENSION P(4,4),NR1(7),N(7)
COMMON NR1,NR2,NI,NK,KF ,N1,P,N,RQ,IX
B=U*U+V*V
SK=X*U+Y*V
HIF=SK*SK+(A*A-RQ)*B
IF(HIF)1,1,2
1 D2=-1.
GO TO 3
2 H=SQRT (HIF)
D2=(-SK-H)/B
D4=(-SK+H)/B
3 RETURN
END
```

SUBROUTINE EMINAX(A,B)

C  
C  
C

```
DIMENSION P(4,4),NR1(7),N(7)
COMMON NR1,NR2,NI,NK,KF ,N1,P,N,RQ,IX
CALL RANDU(IX,N1,X )
IX=N1
B=-1./A*ALOG(1.-X)
RETURN
END
```

SUBROUTINE ISOTRO(U,V,W)

C  
C  
C

```
DIMENSION P(4,4),NR1(7),N(7)
COMMON NR1,NR2,NI,NK,KF ,N1,P,N,RQ,IX
EQUIVALENCE(X,M)
201 CALL RANDU(IX,N1,A3 )
   IX=N1
   CALL RANDU(IX,N1,B3 )
   IX=N1
   S=A3*A3+B3*B3
   IF(S-1.)200,200,201
200 CALL RANDU(IX,N1,X )
   IX=N1
   W=2.*X-1.
   D=SQRT ((1.-W*W)/S)
   U=A3*D
   V=B3*D
   CALL RANDU(IX,N1,X )
   IX=N1
   IF(X-0.5)202,203,203
202 U=-U
203 CALL RANDU(IX,N1,X )
   IX=N1
   IF(X-0.5)204,205,205
204 V=-V
205 RETURN
END
```

SUBROUTINE IPOL(NT,G,H,M,E,X)

C  
C  
C

```
DIMENSION G(200,7),H(200,7),M(11,7),N(7),NR1(7),P(4,4),I1(7)
COMMON NR1,NR2,NI,NK,KF ,N1,P,N,RQ,IX
500 CONTINUE
   NNR1=N(NT)
   IF(E-G(1,NT))21,22,22
21 KF=5
   GO TO 20
22 IF(E-G(NNR1,NT))18,18,19
19 KF=6
   GO TO 20
18 I=1
   IF(NR1(NT)-NT)2,17,2
2 M(1,NT)=N(NT)
```

```
3 I=I+1
  M(I,NT)=M(I-1,NT)/2
  IF(M(I,NT)-1)3,1,3
1 I1(NT)=I-1
  NR1(NT)=NT
```

C

```
17 L=N(NT)
  I2=I1(NT)
  DO 7 J=1,I2
  IF(E-G(L,NT))4,5,6
4 L=L-M(J+1,NT)
  L1=2
  GO TO 7
6 L=L+M(J+1,NT)
  L1=0
  GO TO 7
5 X=H(L,NT)
  GO TO 13
7 CONTINUE
  L2=L+I2
```

C

```
  IF(L1)8,9,8
9 DO 10 J=L,L2
  IF(E-G(J,NT))12,11,10
11 X=H(J,NT)
  GO TO 13
12 L3=J-1
  X=(E-G(L3,NT))*(H(J,NT)-H(L3,NT))/(G(J,NT)-G(L3,NT))+H(L3,NT)
  GO TO 13
10 CONTINUE
  KF=7
  GO TO 20
```

C

```
8 DO 16 J=1,I2
  L4=L+1-J
  IF(E-G(L4,NT))16,15,14
15 X=H(L4,NT)
  GO TO 13
14 L5=L-J+2
  X=(E-G(L4,NT))*(H(L4,NT)-H(L5,NT))/(G(L4,NT)-G(L5,NT))+H(L4,NT)
  GO TO 13
16 CONTINUE
  KF=7
  GO TO 20
13 KF=0
20 CONTINUE
  RETURN
  END
```

SUBROUTINE YDISKR(I,K)

C  
C  
C

```
DIMENSION P(4,4),NR1(7),N(7)
COMMON NR1,NR2,NI,NK,KF ,N1,P,N,PQ,IX
EQUIVALENCE(X,M)
UMM=P(1,1)+P(2,1)+P(3,1)
SUMM=UMM+P(1,2)+P(1,3)+P(1,4)
CALL RANDU(IX,N1,X )
IX=N1
SUMM1=UMM/SUMM
IF(SUMM1-X)1,1,11
1 SUMM2=SUMM1+P(1,2)/SUMM
IF(SUMM2-X)2,2,12
2 SUMM3=SUMM2+P(1,3)/SUMM
IF(SUMM3-X)3,3,13
11 K=1
GO TO 20
12 K=2
GO TO 21
13 K=3
GO TO 21
3 K=4
GO TO 21
20 CALL RANDU(IX,N1,X )
IX=N1
TUMM1=P(1,1)/UMM
IF(TUMM1-X)31,31,41
31 TUMM2=TUMM1+P(2,1)/UMM
IF(TUMM2-X)32,32,42
41 I=1
GO TO 60
42 I=2
GO TO 60
32 I=3
GO TO 60
21 I=1
GO TO 60
60 RETURN
END
```

BEISPIEL

GEOMETRIE DES ZAEHLERS.....A=6.45 CM, HOE1=7.1 CM, HOE2=5.08CM, A2=6.35CM, HOE=12.00 CM.  
 RECHENZEIT (IBM-360/85).....5 MINUTEN

ANSPRECHWAHRSCHEINLICHKEIT FUER NA-J-ZAEHLER

TABELLE DER MAKROSKOPISCHEN WIRKUNGSQUERSCHNITTE

0.0	0.1000	0.2000	0.3000	0.5000	1.0000	2.0000	4.0000	5.0000	8.0000	10.0000	20.0000	30.0000
0.0944	0.0944	0.0941	0.0938	0.0932	0.0904	0.0869	0.0815	0.0801	0.0752	0.0724	0.0621	0.0572
0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110
1.1655	1.1266	1.1239	1.1211	1.1183	1.1128	1.1044	1.0933	1.0878	1.0711	1.0545	0.9990	0.9490
0.1273	0.1273	0.1273	0.1273	0.1273	0.1273	0.1273	0.1273	0.1273	0.1273	0.1273	0.1251	0.1246
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.3981	1.3593	1.3562	1.3532	1.3498	1.3414	1.3296	1.3131	1.3061	1.2846	1.2651	1.1972	1.1418
49.9990	50.0000	60.0000	80.0000	100.0000	120.0000	140.0000	150.0000	160.0000	180.0000	200.0000	220.0000	240.0000
0.0572	0.0583	0.0621	0.0701	0.0772	0.0844	0.0915	0.0964	0.1015	0.1075	0.1121	0.1144	0.1158
0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0109	0.0108	0.0108	0.0107	0.0106	0.0105	0.0104	0.0103	0.0103
0.8547	0.8547	0.8269	0.7631	0.7076	0.6660	0.6271	0.6105	0.5938	0.5661	0.5383	0.5217	0.4995
0.1232	0.1232	0.1224	0.1208	0.1192	0.1170	0.1154	0.1143	0.1137	0.1121	0.1110	0.1089	0.1078
0.0	0.0050	0.0046	0.0042	0.0040	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0040	0.0041	0.0041	0.0042
0.0	0.0725	0.0663	0.0573	0.0510	0.0464	0.0427	0.0413	0.0395	0.0371	0.0345	0.0319	0.0301
1.0461	1.1247	1.0933	1.0264	0.9698	0.9285	0.8914	0.8770	0.8632	0.8374	0.8105	0.7913	0.7677
250.0000	260.0000	300.0000	340.0000	350.0000	400.0000	440.0000	450.0000	500.0000	550.0000	600.0000	700.0000	800.0000
0.1161	0.1158	0.1144	0.1093	0.1087	0.1150	0.1164	0.1173	0.1115	0.1058	0.1015	0.0915	0.0844
0.0102	0.0101	0.0098	0.0097	0.0096	0.0092	0.0090	0.0090	0.0087	0.0082	0.0078	0.0072	0.0068
0.4856	0.4745	0.4440	0.4162	0.4107	0.3829	0.3718	0.3635	0.3441	0.3219	0.3108	0.2886	0.2664
0.1070	0.1062	0.1034	0.1010	0.1002	0.0975	0.0948	0.0942	0.0921	0.0894	0.0872	0.0829	0.0793
0.0042	0.0042	0.0042	0.0043	0.0043	0.0043	0.0041	0.0040	0.0040	0.0038	0.0036	0.0032	0.0028
0.0287	0.0281	0.0249	0.0223	0.0215	0.0186	0.0165	0.0160	0.0138	0.0120	0.0104	0.0074	0.0052
0.7518	0.7389	0.7008	0.6628	0.6549	0.6275	0.6126	0.6040	0.5741	0.5410	0.5213	0.4808	0.4452
900.0000	1000.0000											
0.0772	0.0701											
0.0065	0.0062											
0.2497	0.2331											
0.0758	0.0726											
0.0026	0.0024											
0.0043	0.0033											
0.4162	0.3877											

STR1=0.2950E-24

STR2=0.1473E-23

STR3=0.1768E-23

STRH=0.3459E 00

L= 9

IX= 5

TEILCHENZAHLEN

B10  
.2860E 23B11  
.2890E 22H1  
.5550E 23C12  
.2708E 23

13 ENERGIEGRUPPEN

ANZAHL DER SCHICKSALE PRO GRUPPE 10000

MITTELWERT DER FEHLER 6.66

OBERE ENERGIE- GRENZE (KEV)	ANSPRECHWAHRSCH.	RELATIVER FEHLER	CAPTURE-EREIGNISSE PRO SCHICKSAL	ENERGIEGRUP- PENBREITE
0.100	13.851	10.6	93.907	0.09
0.500	14.051	6.8	89.462	0.40
1.000	14.236	5.3	87.482	0.50
2.150	14.248	4.4	85.541	1.15
4.650	14.133	3.7	83.134	2.50
10.000	13.891	3.2	80.279	5.35
21.500	13.580	2.8	77.083	11.50
46.500	13.235	2.5	73.520	25.00
100.000	12.762	2.3	68.310	53.50
200.000	12.031	3.0	63.158	100.00
400.000	11.048	6.9	55.686	200.00
800.000	9.456	15.5	45.171	400.00
1000.000	7.897	19.7	36.668	200.00

- 32 -

13 ENERGIEGRUPPEN

ANZAHL DER SCHICKSALE PRO GRUPPE 20000

MITTELWERT DER FEHLER 4.92

OBERE ENERGIE- GRENZE (KEV)	ANSPRECHWAHRSCH.	RELATIVER FEHLER	CAPTURE-EREIGNISSE PRO SCHICKSAL	ENERGIEGRUP- PENBREITE
0.100	13.811	7.5	92.384	0.09
0.500	13.897	4.8	88.132	0.40
1.000	14.035	3.8	86.184	0.50
2.150	14.048	3.2	84.380	1.15
4.650	13.954	2.6	82.123	2.50
10.000	13.743	2.2	79.443	5.35
21.500	13.458	1.9	76.461	11.50
46.500	13.124	1.7	73.114	25.00
100.000	12.647	1.6	68.095	53.50
200.000	11.910	2.0	63.068	100.00
400.000	10.870	4.4	55.814	200.00
800.000	9.174	9.4	45.810	400.00
1000.000	7.683	12.2	37.904	200.00

13 ENERGIEGRUPPEN	ANZAHL DER SCHICKSALE PRO GRUPPE 30000			MITTELWERT DER FEHLER 3.91
OBERE ENERGIE- GRENZE (KEV)	ANSPRECHWAHRSCH.	RELATIVER FEHLER	CAPTURE-EREIGNISSE PRO SCHICKSAL	ENERGIEGRUP- PENBREITE
0.100	13.914	6.1	91.863	0.09
0.500	14.033	4.0	88.443	0.40
1.000	14.130	3.1	86.548	0.50
2.150	14.093	2.6	84.590	1.15
4.650	13.951	2.2	82.127	2.50
10.000	13.707	1.8	79.270	5.35
21.500	13.404	1.5	76.158	11.50
46.500	13.055	1.3	72.717	25.00
100.000	12.562	1.2	67.953	53.50
200.000	11.816	1.6	62.730	100.00
400.000	10.754	3.4	55.540	200.00
800.000	9.052	7.2	45.482	400.00
1000.000	7.600	9.9	37.608	200.00

13 ENERGIEGRUPPEN	ANZAHL DER SCHICKSALE PRO GRUPPE 40000			MITTELWERT DER FEHLER 3.54
OBERE ENERGIE- GRENZE (KEV)	ANSPRECHWAHRSCH.	RELATIVER FEHLER	CAPTURE-EREIGNISSE PRO SCHICKSAL	ENERGIEGRUP- PENBREITE
0.100	13.881	5.3	92.681	0.09
0.500	14.074	3.4	88.981	0.40
1.000	14.184	2.7	86.783	0.50
2.150	14.176	2.3	84.762	1.15
4.650	14.053	1.9	82.250	2.50
10.000	13.814	1.6	79.342	5.35
21.500	13.505	1.3	76.170	11.50
46.500	13.142	1.2	72.672	25.00
100.000	12.633	1.1	67.932	53.50
200.000	11.876	1.4	62.654	100.00
400.000	10.811	3.0	55.367	200.00
800.000	9.156	6.8	45.133	400.00
1000.000	7.752	10.1	37.192	200.00

[The page contains extremely faint and illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the document. The text is arranged in several paragraphs and is not readable.]