

JAERI-M

6744

多重多段コンベア照射装置の設計および
運転に関する計算プログラム(FUGI)

1976年10月

星 龍 夫・K. S. AGGARWAL*

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に発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.

多重多段コンベア照射装置の設計および運転に
関する計算プログラム (FUGI)

日本原子力研究所 高崎研究所 開発試験場

星 龍夫・K. S. AGGARWAL*

(1976年9月21日受理)

多重多段コンベア照射装置の設計および運転に関係する諸因子を容易に求める計算プログラム (FUGI) を開発した。このプログラムによって求められる諸因子は、被照射物中における最大・最小線量、線量一様性、被照射物の移動経路上における線量率分布、照射処理速度、必要な線源の放射能、コンベアの適正速度、利用効率である。このプログラムは、一部、Galanter および Krishnamurthy によって報告された静止状態の被照射物中の線量率計算プログラム FUDGE 4A を用いている。

* I. A. E. A 研修生, インドバーバー原子力研究センター

A Computer Program (FUGI) for Design and Operation of
a Conveyor Type Irradiator with Multi-tier and Multi-layer

Tatsuo HOSHI and K.S. AGGARWAL*

Pilot Scale Research Station, Takasaki, JAERI

(Received September 21, 1976)

A computer program (FUGI) was established to facilitate the determination of factors related to design and operation of a conveyor type irradiator with multi-tier and multi-layer. The factors determined by this program are as follows: (1) maximum dose, minimum dose and dose uniformity in irradiated material; (2) dose rate distribution on the path of irradiated material; (3) mass flow rate of irradiated material; (4) requisite activity of source; (5) requisite speed of conveyor; (6) utilization efficiency. This program partly uses the program FUDGE 4A for determination of dose rate in irradiated material in static state by Galanter and Krishnamurthy.

*I.A.E.A. Fellow from Bhabha Atomic Research Centre, Bombay, India

目 次

| | |
|------------------------|----|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 照射方法 | 1 |
| 3. 線量計算 | 1 |
| 3.1 線量率 | 1 |
| 3.2 線量 | 3 |
| 4. 照射に関する性能 | 6 |
| 5. 照射に関する性能計算コード | 8 |
| 5.1 構成 | 8 |
| 5.2 入力データ | 8 |
| 5.3 出力データ | 11 |
| 6. あとがき | 11 |

1 ま え が き

玉ねぎ，馬鈴薯の発芽抑制や医療器具，動物飼料の減菌などを目的としたガンマー線照射は，一般に被照射物を板状線源の回りに何回も往復させながら照射する多重多段コンベア照射装置によって行なわれている。この照射装置の設計または運転にあたって，あらかじめ被照射物が受ける線量範囲，被照射物の移動径路上における線量率分布，必要とする線源の放射能，コンベアの適正速度，照射処理速度，利用効率などの値を求めなければならない。しかし，これまでは，これらを求めるための計算コードは開発されていなかった。このため設計および運転を被照射物の種類に応じて適正に行うことは，困難であった。筆者らは，これを容易にするため，Galanter および Krishnamurthy が開発した「板状線源による被照射物中の線量率計算コード FUDGE 4A」⁽¹⁾ を用いて，これらの諸因子の値を求める計算コードを開発した。本報告では，まず，これらの諸因子を求める式を導き出し，この結果にもとずいて計算コードを作成した。

2 照 射 方 法

Fig. 1 に多重，多段コンベア照射装置における線源および被照射物の形状・配置を示す。ここで A は，被照射物を入れた箱 B が線源 S に接触しないようにするための線源保護板である。また C は S を密封したカプセルである。B は照射開始点 I_n から S に平行なコンベアライン L に沿って何回も S の周りを往復し，照射終了点 O_n に到る。B の輸送は，連続または断続的に輸送するコンベアによる。

3 線 量 計 算

3.1 線 量 率

Fig. 2 に示すように，厚さがなく，かつ単位面積当り単位放射能をもつ平板線源 S によって，S に密着した被照射物 I 内の点 P (x, y, z) に生ずる線量率 R を

$$R = f(x, y, z, h_s, l_s, \rho, \mu, \mu_e, \{A_j\}, \{\alpha_j\}) \quad (1)$$

と表す。ここで

h_s, l_s : S の高さ，幅

ρ : I の密度

μ, μ_e : I の質量減衰係数，エネルギー吸収係数

$\{A_j\}, \{\alpha_j\}$: I のエネルギー吸収ビルドアップ係数 B_a を，ガンマー線の relaxation length μR を独立変数とした

$$B_a \doteq \sum_{j=1}^{\infty} A_j e^{-\alpha_j \mu R} \quad (2)$$

のように近似した場合の係数

である。(1)式の関数 f の値は，FUDGE 4A を用いて求めることができる。このため f の値は既知であるとして検討する。

1 ま え が き

玉ねぎ、馬鈴薯の発芽抑制や医療器具、動物飼料の滅菌などを目的としたガンマー線照射は、一般に被照射物を板状線源の回りに何回も往復させながら照射する多重多段コンベア照射装置によって行なわれている。この照射装置の設計または運転にあたって、あらかじめ被照射物が受ける線量範囲、被照射物の移動径路上における線量率分布、必要とする線源の放射能、コンベアの適正速度、照射処理速度、利用効率などの値を求めなければならない。しかし、これまでは、これらを求めるための計算コードは開発されていなかった。このため設計および運転を被照射物の種類に応じて適正に行うことは、困難であった。筆者らは、これを容易にするため、Galanter および Krishnamurthy が開発した「板状線源による被照射物中の線量率計算コード FUDGE 4A」⁽¹⁾ を用いて、これらの諸因子の値を求める計算コードを開発した。

本報告では、まず、これらの諸因子を求める式を導き出し、この結果にもとずいて計算コードを作成した。

2 照 射 方 法

Fig. 1 に多重、多段コンベア照射装置における線源および被照射物の形状・配置を示す。ここで A は、被照射物を入れた箱 B が線源 S に接触しないようにするための線源保護板である。また C は S を密封したカプセルである。B は照射開始点 I_0 から S に平行なコンベアライン L に沿って何回も S の周りを往復し、照射終了点 O_0 に到る。B の輸送は、連続または断続的に輸送するコンベアによる。

3 線 量 計 算

3.1 線 量 率

Fig. 2 に示すように、厚さがなく、かつ単位面積当たり単位放射能をもつ平板線源 S によって、S に密着した被照射物 I 内の点 P (x, y, z) に生ずる線量率 R を

$$R = f(x, y, z, h_s, l_s, \rho, \mu, \mu_e, \{A_j\}, \{\alpha_j\}) \quad (1)$$

と表す。ここで

h_s, l_s : S の高さ, 幅

ρ : I の密度

μ, μ_e : I の質量減衰係数, エネルギー吸収係数

$\{A_j\}, \{\alpha_j\}$: I のエネルギー吸収ビルドアップ係数 B_a を, ガンマー線の relaxation length μR を独立変数とした

$$B_a \doteq \sum_{j=1}^{\infty} A_j e^{-\alpha_j \mu R} \quad (2)$$

のように近似した場合の係数

である。(1)式の関数 f の値は、FUDGE 4A を用いて求めることができる。このため f の値は既知であるとして検討する。

1 ま え が き

玉ねぎ，馬鈴薯の発芽抑制や医療器具，動物飼料の滅菌などを目的としたガンマー線照射は，一般に被照射物を板状線源の回りに何回も往復させながら照射する多重多段コンベア照射装置によって行なわれている。この照射装置の設計または運転にあたって，あらかじめ被照射物が受ける線量範囲，被照射物の移動径路上における線量率分布，必要とする線源の放射能，コンベアの適正速度，照射処理速度，利用効率などの値を求めなければならない。しかし，これまでは，これらを求めるための計算コードは開発されていなかった。このため設計および運転を被照射物の種類に応じて適正に行うことは，困難であった。筆者らは，これを容易にするため，Galanter および Krishnamurthy が開発した「板状線源による被照射物中の線量率計算コード FUDGE 4A」⁽¹⁾ を用いて，これらの諸因子の値を求める計算コードを開発した。

本報告では，まず，これらの諸因子を求める式を導き出し，この結果にもとずいて計算コードを作成した。

2 照 射 方 法

Fig. 1 に多重，多段コンベア照射装置における線源および被照射物の形状・配置を示す。ここで A は，被照射物を入れた箱 B が線源 S に接触しないようにするための線源保護板である。また C は S を密封したカプセルである。B は照射開始点 I_n から S に平行なコンベアライン L に沿って何回も S の周りを往復し，照射終了点 O_n に到る。B の輸送は，連続または断続的に輸送するコンベアによる。

3 線 量 計 算

3.1 線 量 率

Fig. 2 に示すように，厚さがなく，かつ単位面積当り単位放射能をもつ平板線源 S によって，S に密着した被照射物 I 内の点 P (x, y, z) に生ずる線量率 R を

$$R = f(x, y, z, h_s, l_s, \rho, \mu, \mu_e, \{A_j\}, \{\alpha_j\}) \quad (1)$$

と表す。ここで

h_s, l_s : S の高さ，幅

ρ : I の密度

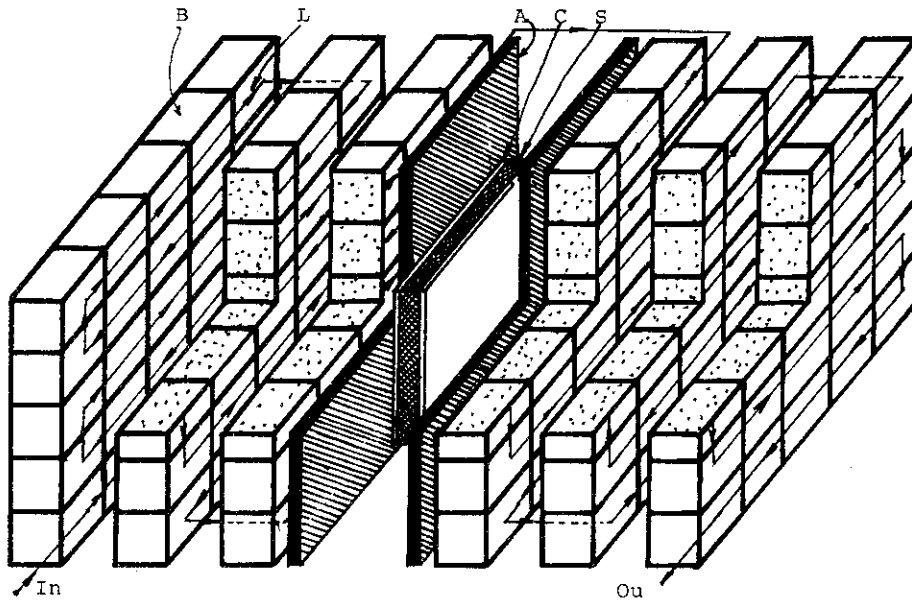
μ, μ_e : I の質量減衰係数，エネルギー吸収係数

$\{A_j\}, \{\alpha_j\}$: I のエネルギー吸収ビルドアップ係数 B_a を，ガンマー線の relaxation length μR を独立変数とした

$$B_a \doteq \sum_{j=1}^{\infty} A_j e^{-\alpha_j \mu R} \quad (2)$$

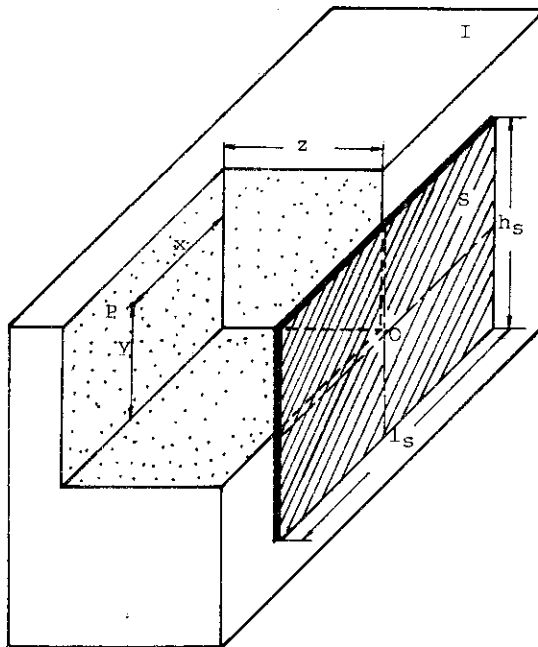
のように近似した場合の係数

である。(1)式の関数 f の値は，FUDGE 4A を用いて求めることができる。このため f の値は既知であるとして検討する。



L:conveyor line A:protector B:material to be irradiated
 C:capsule of gamma-source S:gamma-source

Fig.1 Configuration of source and material to be irradiated
 in a conveyor type irradiator with multi-tier and multi-layer



I:irradiated material S:gamma-source O:
 center point of S

Fig.2 Model for the calculation of dose in ir-
 radiated material

3.2 線 量

Fig. 3 に多重多段コンベア照射装置における被照射物と線源の形状・配置を示す。こ
こで

S : 単位面積当たり単位放射能をもつ線源

h_s, ℓ_s, t_s : S の高さ, 幅, 厚さ

O_s : S の中心

C : 密封線源カプセル

t_c : C の厚さ

A : 被照射物が S に接触することを防ぐ線源保護板

t_a : A の厚さ

L_n ($n=1, 2, \dots, N$) : 被照射物を積み重ね, 並べた層 (以下「層」という)

C_i ($i=1, 2, \dots, I$) : 被照射物を並べた列 (以下「列」という)

T_k ($k=1, 2, \dots, K$) : 被照射物を積み重ねた段 (以下「段」という)

t_g, t_f : C・ L_1 間, 層間の距離 (S, C, A, L_n は, 互に平行である)

O_n : 線源に面して L_n 層の表面上における中心 (O_s を通る S の法線上にある)

B : 被照射物が均一な密度で分散していると思なした被照射物の照射容器 (以下「被照射物」という)

h, ℓ, t : B の高さ, 幅, 厚さ

O_b : L_n 層, C_i 列, T_k 段上にある B の S 側の表面上における中心点)

x_b, y_b : O_n を原点とした O_b の X, Y 座標値

P : B 内の任意の点

x, y, z : O_b を原点とした P の X, Y, Z 座標値

ℓ_i : 層の幅

である。

被照射物以外の構造物 S, A, C によるガンマ線の吸収損失を少なくするため S, A, C の肉厚は, できるかぎり薄くするように設計されている。このため, これらの内部におけるエネルギー吸収ビルドアップ係数は, 被照射物のそれに等しいと思なしうる。したがって点 P (x, y, z) における線量率 R は,

$$R \doteq f(X, Y, Z_n, h_s, \ell_s, \rho_n, \mu_n, \mu_e, \{A_j\}, \{\alpha_j\}) \quad (3)$$

$$X = x + x_b, Y = y + y_b, Z_n = t_g + t_c + \frac{t_s}{2} + Z + (n-1)(t + t_f) \quad (4)$$

$$\rho_n = \frac{0.5 \rho_s t_s + \rho_c t_c + \rho_a t_a + (n-1) \rho t + \rho z}{0.5 t_s + t_c + t_g + (n-1)(t + t_f) + z} \quad (5)$$

$$\mu_n = \frac{0.5 \mu_s \rho_s t_s + \mu_c \rho_c t_c + \mu_a \rho_a t_a + \mu (n-1) \rho t + \mu \rho z}{0.5 \rho_s t_s + \rho_c t_c + \rho_a t_a + (n-1) \rho t + \rho z} \quad (6)$$

と表される。ここで

$\rho_s, \rho_c, \rho_a, \rho$: S, C, A, B の密度

μ_s, μ_c, μ_a, μ : S, C, A, B の質量減衰係数

である。Bの次の段または次の層への移動は、Sから最も遠い場所、すなわち線量率の最も小さい場所でおこなわれる。したがって、この間にBが受ける線量は、段または層上を移動する間に受ける線量に比較してきわめて小さいので無視しうる。このためBが L_n 層上を単位速度で移動する間に点Pが受ける線量 $D_n(Z_n)$ は

$$D_n(Z_n) = \sum_{k=1}^K \int_{X_1}^{X_2} R(X, Y_k, Z_n, h_s, \ell_s, \rho_n, \mu_n, \mu_e, \{A_j\}, \{\alpha_j\}) dX \quad (7)$$

$$X_1 = x - \frac{1}{2}(\ell_i - \ell), \quad X_2 = \frac{1}{2}(\ell_i - \ell) + x \quad (8)$$

$$Y_k = \frac{h}{2}(2k - K - 1) + y, \quad Z_n = \frac{t_s}{2} + t_c + t_g + z + (n-1)(t + t_f) \quad (9)$$

と表される。(7), (8), (9)式は、いかなる層においても成り立つ。したがってBが L_N 層から L_1 層まで移動する間に点Pが受ける線量Dは

$$D = \sum_{n=1}^N D_n(Z_n) \quad (10)$$

となる。この線量は、Sの片側にあるすべての層をBが移動し終るまでに受ける線量であるが、この反対側のすべての層を移動し終るまでに受ける線量 D' は、

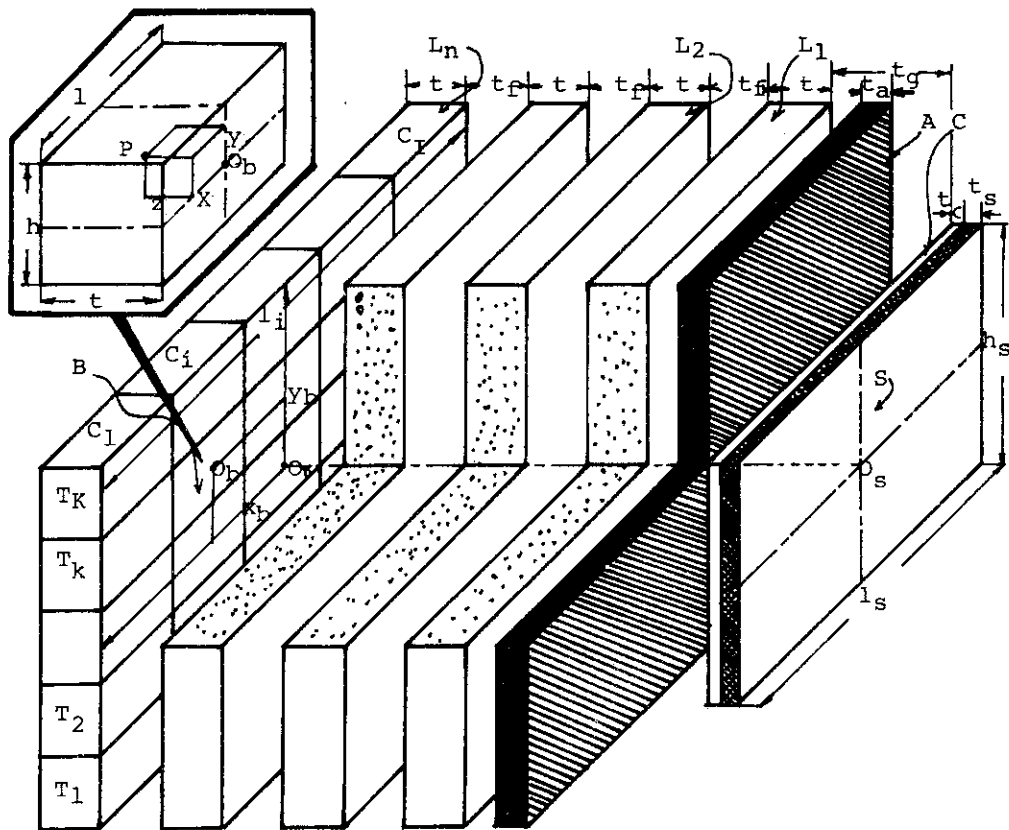
$$D' = \sum_{n=1}^N D_n(Z'_n) \quad (11)$$

$$Z'_n = \frac{t_s}{2} + t_c + t_g + \ell - Z + (n-1)(t + t_f) \quad (12)$$

となる。したがってSの両側のすべての層を移動し終るまでに点Pが受ける線量 $D_T(x, y, z)$ は

$$D_T(x, y, z) = \sum_{n=1}^N \{D_n(Z_n) + D_n(Z'_n)\} \quad (13)$$

となる。



S:gamma-source l_s, h_s, t_s :width,height and thickness of S, respectively C:capsule of S t_c :thickness of C O_s :center point of S A:protector t_a :thickness of A B:material to be irradiated L_1, L_2, \dots, L_N :layer of B C_1, C_2, \dots, C_I :line of B T_1, T_2, \dots, T_K :tier of B t_g :distance between S and L_1 t_f :distance between L_n and L_{n+1} ($n=1, 2, \dots, N-1$) l, h, t :width,height and thickness of B, respectively O_n :center point of L_n O_b :center point on front surface of B P: calculation point l_i :width of layer x_b, y_b, z_b :position of O_b x, y, z :position of P

Fig.3 Model for the calculation of dose in irradiated material in a conveyor type irradiator with multi-tier and multi-layer

4 照射に関する性能

(最小線量, 最大線量, 線量一様性, 利用効率, コンベア速度, 線源の全放射能)

被照射物の線量は, 線源の単位面積当りの放射能に比例し, 被照射物の移動速度に逆比例する。したがって線源の単位面積当りの放射能が σ で, 被照射物の移動速度が v である場合, 点 P の線量 $D_a(x, y, z)$ は,

$$D_a(x, y, z) = \frac{\sigma}{v} D_T(x, y, z) \quad (14)$$

と表される。被照射物内で最も少ない線量を受ける場所は, $x = \pm \ell/2$, $y = \pm h/2$, $z = t/2$ の位置にある。この場所の線量は, 被照射物が受けなければならない線量の最小値 D_{min} と一致しなければならない。したがって

$$D_{min} = \frac{\sigma}{v} D_T\left(\pm \frac{\ell}{2}, \pm \frac{h}{2}, \frac{t}{2}\right) \quad (15)$$

の関係が成り立つ。この関係から σ/v は

$$\frac{\sigma}{v} = \frac{D_{min}}{D_T\left(\pm \frac{\ell}{2}, \pm \frac{h}{2}, \frac{t}{2}\right)} \quad (16)$$

の関係を満足しなければならない。被照射物内で最も多くの線量を受ける場合は, $x = 0$, $y = 0$, $z = 0$ の位置にある。したがって被照射物の最大線量 D_{max} は(14), (16式)にもとずいて

$$D_{max} = \frac{D_{min} D_T(0, 0, 0)}{D_T\left(\pm \frac{\ell}{2}, \pm \frac{h}{2}, \frac{t}{2}\right)} \quad (17)$$

と表される。 D_{max}/D_{min} で定義される線量一様性 U は(17式)にもとずいて

$$U = \frac{D_T(0, 0, 0)}{D_T\left(\pm \frac{\ell}{2}, \pm \frac{h}{2}, \frac{t}{2}\right)} \quad (18)$$

と表される。

被照射物の照射時間 H は,

$$H = \frac{2KN(\ell_i - \ell)}{v} \quad (19)$$

であり, この時間内で照射される被照射物の全質量 M は,

$$M = 2\rho KN\ell_i h t \quad (20)$$

である。被照射物に, 所定の線量 D_{min} より多く線量を与えても, 余分の線量だけ無駄になる。このため照射目的を達成するために有効な被照射物の吸収エネルギー E_a は,

$$E_a = \alpha D_{min} M \quad (21)$$

となる。ここで α は, 線量をエネルギーに変換するための係数である。線源から H 時間内に放射される全エネルギー E_T は, 線源が 1 崩壊当りに E_0 のガンマ線エネルギーを放射するとすれば,

$$E_T = \sigma h_s \ell_s E_0 H \quad (22)$$

と表される。したがって $100 E_a / E_T$ と定義される利用効率 E_u は(16), (19), (20), (21), (22)式にもとずいて,

$$E_u = \frac{100 \alpha \rho \ell_i h t D_T (\pm \frac{\ell}{2}, \pm \frac{h}{2}, \frac{t}{2})}{h_s \ell_s E_o (\ell_i - \ell)} \quad (\%) \quad (23)$$

と表される。

被照射物の処理速度 m が、特に指定されていない場合には、コンベア速度 v は(16)式にもとずいて,

$$v = \frac{\sigma D_T (\pm \frac{\ell}{2}, \pm \frac{h}{2}, \frac{t}{2})}{D_{\min}} \quad (24)$$

となり、処理速度 m は,

$$m = \frac{\rho h t \sigma D_T (\pm \frac{\ell}{2}, \pm \frac{h}{2}, \frac{t}{2})}{D_{\min}} \quad (25)$$

となる。被照射物の処理速度 m が、あらかじめ指定されている場合には、コンベア速度 v は,

$$v = \frac{m}{\rho h t} \quad (26)$$

となり、必要な線源の全放射能 Q は(16), (26)式にもとずいて,

$$Q = \frac{m \ell_s h_s D_{\min}}{\rho h t D_T (\pm \frac{\ell}{2}, \pm \frac{h}{2}, \frac{t}{2})} \quad (27)$$

となる。

5 照射に関する性能計算コード

多重、多段コンベア照射装置の設計および運転の際に必要な照射に関する次の性能：

- (i) 被照射物の最大・最小線量
- (ii) 線量一様性
- (iii) 利用効率
- (iv) コンベア速度
- (v) 線源の全放射能
- (vi) 被照射物が移動する径路上の線量率

を求める計算コードを作成した。

5.1 構成

Table 1 (巻末に示す)に計算コードを示す。この計算コードは、

- 1) メイン・プログラム (FUGI) : 移動する被照射物が受ける線量を求め、これにもとずいて照射に関する性能を求める。
- 2) サブ・プログラム (PHIT) : 静止状態の被照射物中における線量率を求める。
- 3) サブ・プログラム (EXPI) : 線量率計算に必要な指数積分関数の近似値を求める。

で構成されている。サブ・プログラム PHIT, EXPI は, FUDGE 4A を用いて作成した。

5.2 入力データ

計算を実行するための入力データは、次のとおりである。

KSOU : $C_0 - 137$ 線源の場合は KSOU=1

$C_0 - 60$ 線源の場合は KSOU=2

$C_0 - 137$, $C_0 - 60$ 以外の線源の場合は KSOU=3

ET : 1 崩壊当りに放出するガンマ線エネルギー (MeV) (KSOU=3 の場合のみ入力)

SMU1 : 線源の質量減衰係数 (cm^2/g) (KSOU=3 の場合のみ入力)

RDMIN : 被照射物の最小線量の指定値 (rad)

YMAS : 被照射物の照射処理速度 (kg/sec) (照射処理速度が指定されていない場合は、零または負の任意の数値を与える。)

FHS, FLS : 線源の高さ, 幅 (cm)

NX : 段上における被照射物の静止回数 (被照射物が連続的に移動する場合には, $NX \geq 23$)

K : 段の数

N : 線源の片側にある層の数

XX, YY, ZZ : 被照射物の幅, 高さ, 厚さ (cm)

FL : 段の幅 (cm)

TS : 線源の厚さ (cm)

TC : 線源カプセルの厚さ (cm)

TA : 線源保護板の厚さ (cm)

TG : 線源カプセルから第1層までの距離 (cm)

TF : 層間の距離 (cm)

NL, C(I), ALFA(I) : 被照射物のエネルギー吸収ビルドアップ係数 B_a の近似式に関する係数 (Table 2 参照) $B_a = \sum_{I=1}^{NL} C(I) \exp(ALFA(I) \cdot \mu R)$

μR : relaxation length

ROOS : 線源の平均密度 (g/cm^3)

ROOC : 線源カプセルの密度 (g/cm^3)

ROOA : 線源保護板の密度 (g/cm^3)

ROO : 被照射物の平均密度 (g/cm^3)

CIPA : 線源の単位面積当りの放射能 (C_i/cm^2)

SMU2 : 線源カプセルの質量減衰係数 (cm^2/g)

SMU3 : 線源保護板の質量減衰係数 (cm^2/g)

SMU5 : 被照射物の質量減衰係数 (cm^2/g)

(Table 2 参照)

入力するデータ・カードの順序を Fig. 4 に示す。ここで Card 1 は、計算を実行させるための命令カードであり、計算機の機種によって異なる。入力する数値の型式は、フリー・フォーマット型式である。またKSOUが1または2の場合には、Card 3を入れてはならない。

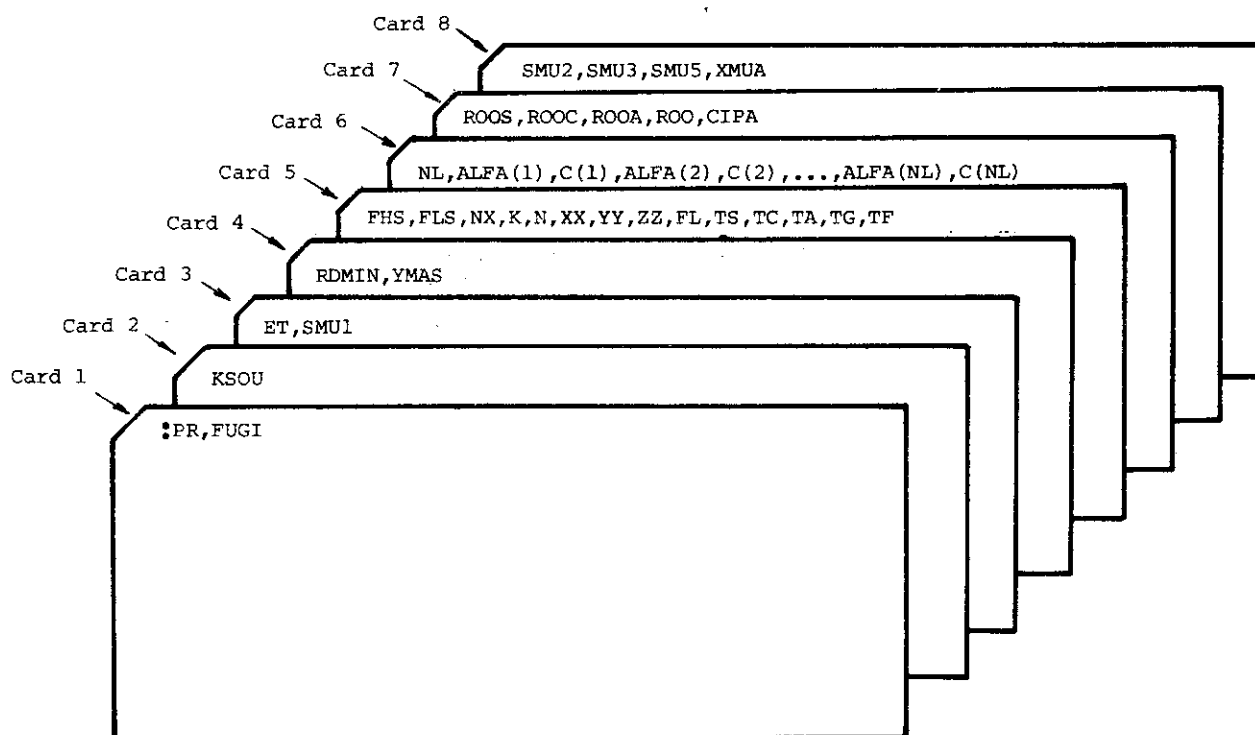


Fig.4 Order of data cards

Table 2 Mass energy absorption coefficient, Mass attenuation coefficient and coefficients of exponential approximation to energy absorption buildup factor in infinite water for point isotropic source (2), (3)

E_0 : gamma-energy XMUA: mass energy absorption coefficient SMU5: mass attenuation coefficient C(i), ALFA(i): coefficients of exponential approximation to energy absorption buildup factor (B_a) ($B_a = C(1) \exp(ALFA(1)\mu R) + C(2) \exp(ALFA(2)\mu R) + C(3) \exp(ALFA(3)\mu R) \dots \mu R$; relaxation length)

| E_0 Mev | XMUA cm ² /g | SMU5 cm ² /g | C(1) | C(2) | C(3) | ALFA(1) | ALFA(2) | ALFA(3) |
|--------------|----------------------------|----------------------------|--------|--------|-------|---------|---------|---------|
| 0.567 | 0.0330* | 0.0915* | 3.50* | -3.00* | 0.50* | -0.308* | 0.231* | 1.824* |
| 1.0 | 0.0309 | 0.0706 | 13.5 | -12.5 | 0.0 | -0.10 | 0.010 | 0.000 |
| 1.25* | 0.0298* | 0.0634* | 10.15* | -9.15* | 0.0* | -0.086* | 0.015* | 0.000* |
| 2.0 | 0.0260 | 0.0493 | 8.1 | -7.1 | 0.0 | -0.068 | 0.0405 | 0.000 |
| 3.0 | 0.0227 | 0.0396 | 5.6 | -4.6 | 0.0 | -0.059 | 0.073 | 0.000 |
| 4.0 | 0.0206 | 0.0340 | 4.5 | -3.5 | 0.0 | -0.0555 | 0.110 | 0.000 |
| 6.0 | 0.0180 | 0.0277 | 3.4 | -2.4 | 0.0 | -0.0525 | 0.156 | 0.000 |

* interperated value

5.3 出力データ

計算実行後に、次のデータが印刷される。

1) 入力データ

被照射物中の点 P_{\max} (0, 0, 0) と点 P_{\min} ($\pm XX/2$, $\pm YY/2$, $ZZ/2$) が移動する径路上の線量率

2) 各段、各層における点 P_{\max} , P_{\min} の径路上の平均線量率 (rad/h)

3) 各層を移動するまでの次のデータ

- a) 1 cm/sec の速度で移動する被照射物の最大・最小線量 (rad)
- b) 被照射物が所定の最小線量 D_{\min} を受けるために必要なコンベア速度 v (cm/sec)
- c) 速度 v で移動する被照射物の最大・最小線量 (rad)
- d) 被照射物が速度 v で移動する場合の照射処理速度 (kg/sec)
- e) 被照射物が所定の最小線量を受取るために必要な線源の放射能 (C_i)
- f) 線量一様性
- g) 利用効率 (%)

Table 3 (巻末に示す) に計算結果の 1 例を示す。

6 あとがき

本研究によって、これまで容易でなかった多重 多段コンベア照射装置の設計および運転条件の決定は、正確かつ容易となった。

本研究の遂行にあたり数々の援助を賜った高崎研究所、照射施設課長田村直幸氏、ならびに本報告書作成にあたって御指導を賜った開発試験場長重松友道氏に対して厚く謝意を表します。

REFERENCES

- (1) L. Galanter and K. Krishnamurthy : FUDGE 4A- A Computer Program for Gamma Dose Rate Distribution from Rectangular sources, BNL 50126 (T-503), Aug., (1968)
- (2) H. Goldstein : "Fundamental Aspects of Reactor Shielding", Addison-wesley Pub. Co., (1959)
- (3) R. G. Jaeger : "Engineering Compendium on Radiation Shielding", vol.1, Springer-Verlag, (1968)

5.3 出力データ

計算実行後に、次のデータが印刷される。

1) 入力データ

被照射物中の点 P_{\max} (0, 0, 0) と点 P_{\min} ($\pm XX/2$, $\pm YY/2$, $ZZ/2$) が移動する径路上の線量率

2) 各段、各層における点 P_{\max} , P_{\min} の径路上の平均線量率 (rad/h)

3) 各層を移動するまでの次のデータ

- a) 1 cm/sec の速度で移動する被照射物の最大・最小線量 (rad)
- b) 被照射物が所定の最小線量 D_{\min} を受けるために必要なコンベア速度 v (cm/sec)
- c) 速度 v で移動する被照射物の最大・最小線量 (rad)
- d) 被照射物が速度 v で移動する場合の照射処理速度 (kg/sec)
- e) 被照射物が所定の最小線量を受取るために必要な線源の放射能 (C_i)
- f) 線量一様性
- g) 利用効率 (%)

Table 3 (巻末に示す) に計算結果の 1 例を示す。

6 あとがき

本研究によって、これまで容易でなかった多重 多段コンベア照射装置の設計および運転条件の決定は、正確かつ容易となった。

本研究の遂行にあたり数々の援助を賜った高崎研究所、照射施設課長田村直幸氏、ならびに本報告書作成にあたって御指導を賜った開発試験場長重松友道氏に対して厚く謝意を表します。

REFERENCES

- (1) L. Galanter and K. Krishnamurthy : FUDGE 4A- A Computer Program for Gamma Dose Rate Distribution from Rectangular sources, BNL 50126 (T-503), Aug., (1968)
- (2) H. Goldstein : "Fundamental Aspects of Reactor Shielding", Addison-wesley Pub. Co., (1959)
- (3) R. G. Jaeger : "Engineering Compendium on Radiation Shielding", vol.1, Springer-Verlag, (1968)

Table 1 List of computer program FUGI

```

0001 FIN4,L
0002 PROGRAM FUGI
0003 DIMENSION ALFA(6), E1MU(6), AMU(12), R(12), SSS(2), SAS(2), SQ(12)
0004 COMMON DDOSE( 51, 5), FX( 51), AL( 5), TDOSE( 51,25), C( 5)
0005 COMMON X, A, B, Z, Y, ZSQ
0006 C KSO=1 CS=137 SOURCE
0007 C KSO=2 CO=60 SOURCE
0008 C FHS SOURCE HIGHT
0009 C FLS SOURCE WIDTH
0010 C CIPA AVG. SPECIFIC ACTIVITY OF SOURCE
0011 C TS SOURCE THICKNESS
0012 C TC DISTANCE BETWEEN SOURCE CAPSULE AND LAYER NO.1
0013 C TF DISTANCE BETWEEN LAYER AND NEXT LAYER
0014 C TA THICKNESS OF SOURCE PROTECTOR
0015 C ROOS DENSITY OF SOURCE
0016 C ROOC DENSITY OF SOURCE CAPSULE
0017 C ROOA DENSITY OF SOURCE PROTECTOR
0018 C ROO DENSITY OF TARGET
0019 C SMU2 MASS ATTENUATION COEFF. OF SOURCE CASE
0020 C SMU3 MASS ATTENUATION COEFF. OF ABSORBER BETWEEN SOURCE AND TARGET
0021 C SMU4 MASS ATTENUATION COEFF. OF AIR
0022 C SMU5 MASS ATTENUATION COEFF. OF TARGET
0023 C XMUA MASS ABSORPTION COEFF. OF TARGET
0024 C XX TARGET WIDTH
0025 C YY TARGET HIGHT
0026 C ZZ TARGET THICKNESS
0027 C FL LAYER WIDTH
0028 C NX STOP TIMES ON TIER
0029 C N TOTAL LAYER NUMBER
0030 C K TOTAL TIER NUMBER
0031 C RDMIN MINIMUM DOSE OF TARGET
0032 C YMAS MASS FLOW RATE OF TARGET
0033 XP=0.0
0034 XG=0.0
0035 READ(5,*) KSOH
0036 IF(KSOH.EQ.1.OR.KSOH.EQ.2) GO TO 100
0037 READ(5,*) ET,SMU1
0038 100 READ(5,*) RDMIN,YMYS
0039 WRITE(6,301)
0040 WRITE(6,301)
0041 WRITE(6,311)
0042 WRITE(6,312)
0043 WRITE(6,999)
0044 WRITE(6,999)
0045 IF(KSOH.EQ.2) GO TO 112
0046 IF(KSOH.EQ.1) GO TO 101
0047 WRITE(6,102) ET,SMU1
0048 GO TO 3
0049 101 ET=.567
0050 SMU1=.0753
0051 WRITE(6,313)
0052 GO TO 115
0053 112 ET=2.5
0054 SMU1=.0544

```

```

0055      WRITE(6,340)
0056 115 CONTINUE
0057      IF(KSOU.EQ.1.NR.KSOU.EQ.2) GO TO 3
0058      WRITE(6,661)
0059 661 FORMAT(1H1."      *      CHECK DATA KSOU      *")
0060      GO TO 1014
0061      3 READ(5,*) FHS, LS, NX, K, N, XX, YY, ZZ, FL, TS, TC, TA, TG, TF
0062      FA=FLS
0063      FB=FHS
0064      NY=K
0065      NZ=N
0066      XB=XX
0067      YB=YY
0068      ZB=ZZ
0069      XCL=FL
0070      CLAD1=TS
0071      CLAD2=TC
0072      CLAD3=TA
0073      AGAQ=TG
0074      AGAR=TF
0075      XECL=XCL*XB
0076      READ(5,*) NL, (ALFA(I), C(I), I=1, NL)
0077      IF(C(1)) 2000, 2000, 114
0078 114 IF(FA) 112, 112, 150
0079 150 IF(NL.NE.0) GO TO 113
0080      WRITE(6,660)
0081 660 FORMAT(1H1."      *      NL=0,      CHECK DATA      *")
0082      GO TO 2000
0083 113 READ(5,*) ROOS, ROOC, RQDA, RQO, CIPA
0084      SODEN=ROOS
0085      CLDEN=ROOC
0086      ABDEN=RQDA
0087      TADEN=RQO
0088      READ(5,*) SMU2, SMU3, SMU5, XMUA
0089      ESMU1=SMU1*SODEN
0090      ESMU2=SMU2*CLDEN
0091      ESMU3=SMU3*ABDEN
0092      ESMU5=SMU5*TADEN
0093      CST=2.15864E+6*XMUA
0094      AGAD=AGAQ-CLAD3
0095      IF(CIPA.GT.0.) GO TO 900
0096      CIPA=1.0
0097 900 CURIES =FA*FB*CIPA
0098      NNY=(NY+1)/2
0099      WRITE (6,314) FB
0100      WRITE (6,315) FA
0101      WRITE (6,316) CIPA
0102      WRITE (6,317) CURIES
0103      WRITE (6,318) CLAD1
0104      WRITE (6,319) CLAD2
0105      WRITE (6,320) AGAQ
0106      WRITE (6,321) AGAR
0107      WRITE (6,322) CLAD3
0108      WRITE(6,341) SODEN
0109      WRITE(6,350) CLDEN
0110      WRITE(6,351) ABDEN
0111      WRITE (6,323) TADEN
0112      WRITE(6,339) SMU1
0113      WRITE (6,325) SMU2
0114      WRITE (6,327) SMU3

```

```

0115      WRITE(6,338) SMU5
0116      WRITE(6,353) XMUA
0117      WRITE(6,104) (C(I),ALFA(I),I=1,NL)
0118      WRITE(6,328)XR
0119      WRITE(6,329)YB
0120      WRITE(6,330)Z
0121      WRITE(6,331)XCL
0122      WRITE(6,332)XFCL
0123      IF(YMAS.LE.0.) GO TO 3333
0124      WRITE(6,895) RDMIN.YMAS
0125      GO TO 3444
0126      3333 WRITE(6,894) RDMIN
0127      3444 CONTINUE
0128      WRITE(6,333) NY
0129      WRITE(6,334) NZ
0130      MX=NX
0131      IF(NX.LT.21) GO TO 711
0132      MX=23
0133      MK=2*(IFIX(.05*XECI)/2)+1
0134      IF(MX.LT.MK) MX=MK
0135      IF(MX.GT.51) MX=51
0136      WRITE(6,602)
0137      GO TO 712
0138      711 IF(MX.LT.3) MX=3
0139      712 CONTINUE
0140      IF (NL=1) 730,730,820
0141      730 WRITE(6,607)
0142      820 DO 700 IJL=1,5
0143          DO 700 IJK=1,51
0144          DOSE(IJK,IJL)=0.
0145      700 CONTINUE
0146          DO701 JIK=1,25
0147          DO701 IJK=1,51
0148          TDOSE(IJK,JIK)=0.0
0149      701 CONTINUE
0150      DO 901 I=1,NL
0151          EIMU(I)= ESMU5*(1.+ALFA(I))
0152          AL(I)=1./EIMU(I)
0153      901 CONTINUE
0154          MXX=(MX+1)/2
0155          DX=XECI/FLOAT(MX-1)
0156          SAS(1)=0.0
0157          SAS(2)=0.0
0158          DO1014 K=1,NZ
0159          WRITE(6,999)
0160          WRITE(6,997)
0161          WRITE(6,999)
0162          WRITE(6,777) K
0163          AGAP=AGAD+AGAR*FLOAT(K-1)
0164          SMUT=ESMU1*CLAD1/2.+ESMU2*CLAD2+ESMU3*CLAD3*FLOAT(K-1)
0165          SCLAD=CLAD1/2.+CLAD2+CLAD3*FLOAT(K-1)+AGAP
0166          DO1500 II=1,2
0167          YP=0.0
0168          ZP=0.0
0169          IF(II.EQ.2) ZP=.5*7B
0170          IF(II.EQ.2) YP=.5*YB
0171          DO1011 KS=1,2
0172          IF(II.EQ.2) GO TO 902
0173          IF(KS.EQ.1) GO TO 903
0174          WRITE(6,337)

```

```

0175      GO TO 904
0176      903 WRITE(6,336)
0177      GO TO 904
0178      902 IF(KS.EQ.2) GO TO 904
0179      WRITE(6,335)
0180      904 CONTINUE
0181      IF(KS.EQ.1) ZQ=ZP
0182      IF(KS.EQ.2) ZQ=ZB+7P
0183      FZ=70
0184      FZ=7B*FLOAT(K-1)+E7
0185      SMFP=SMUT+ESMU5*FZ
0186      ZDIST=SCLAD+F7
0187      ZEQQ=SMFP/ESMU5
0188      FACT=ZEQQ/ZDIST
0189      IF(KS.EQ.2.AND.II.EQ.2) GO TO 1312
0190      GO TO 510
0191      1312 SSS(2)=SSS(1)
0192      GO TO 1011
0193      510 SBX=0.0
0194      DO1021 J=1,NY
0195      FY=.5*YB*FLOAT(NY-1)-YB*FLOAT(J-1)+YP
0196      FFY=-FY
0197      IF(II.EQ.1) JD=NY+1-J
0198      IF(II.EQ.2) JD=NY+2-J
0199      IF(FY.IT.0.0) GO TO 887
0200      WRITE(6,345)
0201      IF(II.EQ.2.AND.J.EQ.1) GO TO 890
0202      IF(FY.EQ.0.0) GO TO 890
0203      WRITE(6,891) J,K
0204      WRITE(6,891) JD,K
0205      WRITE(6,893) FZ,FY,FFY
0206      GO TO 889
0207      890 WRITE(6,888) J,K,F7,FY
0208      GO TO 889
0209      887 S=SQ(JD)
0210      GO TO 798
0211      889 DO703 I=1,NL
0212      P=FACT/AL(I)
0213      DO1010 IX=1,MXY
0214      FX(IX)=.5*XECI-OX*FLOAT(IX-1)
0215      4 X=ABS(FX(IX))*P
0216      A=ABS(FA)*P
0217      B=ABS(FB)*P
0218      Z=ABS(ZDIST)*P
0219      Y=ABS(FY)*P
0220      ZSQ=Z**2
0221      PHAT=PHIT(XG)
0222      DOSE(IX,L)=CST*ET*CIPA*PHAT
0223      MJ=MX+1-IX
0224      FX(MJ)=-FX(IX)
0225      DOSE(MJ,L)=DOSE(IX,L)
0226      1010 CONTINUE
0227      703 CONTINUE
0228      S=0.0
0229      720 DO705 IX=1,MX
0230      MLX=2*(IX/2)
0231      IF(MLX.EQ.IX) SJ=4.
0232      IF(MLX.NE.IX) SJ=2.
0233      IF(IX.EQ.1) SJ=1.
0234      IF(IX.EQ.MX) SJ=1.

```

```

0235 IF(MX.LT.21) SJ=1.
0236 TDOSE(IX,J)=0.0
0237 IF(IX.LE.MXX) GO TO 721
0238 JX=MX+1-IX
0239 TDOSE(IX,J)=TDOSE(JX,J)
0240 GO TO 704
0241 721 CONTINUE
0242 DO704 I=1,NL
0243 TDOSE(IX, J)=C(LT*ROSET(IX,I)+TDOSE(IX, J)
0244 704 CONTINUE
0245 S=S+TDOSE(IX, J)*SJ
0246 705 CONTINUE
0247 IF(MX.LT.21) S=S/FLOAT(MX)
0248 IF(MX.GE.21) S=S/(3.*FLOAT(MX-1))
0249 530 CONTINUE
0250 WRITE(6,116) (FX(LX),TDOSE(LX, J),IX=1,MX)
0251 WRITE(6,117) J,S
0252 798 SQ(J)=S
0253 708 SBX=SBX+S
0254 1021 CONTINUE
0255 1015 SSS(KS)=SBX/FLOAT(NY)
0256 1011 CONTINUE
0257 IF(II.EQ.2) GO TO 1511
0258 WRITE(6,999)
0259 WRITE(6,606) K,SSS(1),K,SSS(2)
0260 WRITE(6,999)
0261 GO TO 1500
0262 1511 WRITE(6,999)
0263 WRITE(6,610) K,SSS(1)
0264 WRITE(6,999)
0265 1500 SAS(II)=SAS(II)+FLOAT(NY)*(SSS(1)+SSS(2))
0266 UNI=SAS(1)/SAS(2)
0267 UTI=4.68615E-5*TADFN*SAS(2)*YB*ZB*XECL/(CURIES*ET)
0268 SAS1=SAS(1)*XECL
0269 SAS2=SAS(2)*XECL
0270 VEL=2.777778E-4*SAS2/RDMIN
0271 XMAS=.001*TADFN*VEL*ZB*YB
0272 SBS1=UNI*RDMIN
0273 SSA1=.277778E-3*SAS1
0274 SSA2=.277778E-3*SAS2
0275 WRITE(6,999)
0276 WRITE(6,666) SSA1
0277 WRITE(6,667) SSA2
0278 IF(YMAS.LE.0.) GO TO 896
0279 VEL=YMAS/(TADFN*ZB*YB)
0280 ACQ=3.6E6*VEL*FA*FB*CIPA*RDMIN/SAS2
0281 WRITE(6,344) VFL
0282 WRITE(6,342) SAS1
0283 WRITE(6,343) RDMIN
0284 WRITE(6,2444) YMAS
0285 WRITE(6,2222) ACQ
0286 GO TO 1111
0287 896 WRITE(6,344) VFL
0288 WRITE(6,342) SAS1
0289 WRITE(6,343) RDMIN
0290 WRITE(6,2444) XMAS
0291 1111 WRITE(6,608) UNI
0292 WRITE(6,609) UTI
0293 1014 CONTINUE
0294 2000 CONTINUE

```



```

0295 319 FORMAT(1H,5X,"SOURCE-CAPSULE THICKNESS TC CM =",F10.5,/)
0296 997 FORMAT(/,/,/,/,/,/,/)
0297 608 FORMAT(/88X,"DOSE UNIFORMITY =",F6.2,/)
0298 102 FORMAT(1H,5X,"GAMMA ENERGY MEV =",F6.3,/,/1H,5X,"MASS ATTENUATION
0299 1COEFF. SMU1 CM2/G =",F10.5,/)
0300 104 FORMAT(1H,5X,"ENERGY ABSORPTION BUILDUP FACTOR =",F6.2,"*EXP(",
0301 1F7.4,"*SMU1*R)",3(" +",F6.2,"EXP(",F7.4,"*SMU1*R)",/,/1H,5X,6(" +
0302 2.F6.2,"*EXP(",F7.4,"*SMU1*R)") )
0303 353 FORMAT(1H,5X,"MASS ABSORPTION COEFF. OF TARGET XMUA CM2/G =",F10.
0304 15,/)
0305 343 FORMAT(53X,"MINIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH SPEED V =",E10.4,1
0306 1X,"RAD",/)
0307 342 FORMAT(53X,"MAXIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH SPEED V =",E10.4,1
0308 1X,"RAD",/)
0309 344 FORMAT(/66X,"REQUISITE CONVEYOR SPEED V =",E10.4,1X,"CM/SEC",/)
0310 602 FORMAT(/34X,8(" * "), "CONSIDERING A CONTINUOUS FLOW",8(" *"),/)
0311 350 FORMAT(1H,5X,"DENSITY OF SOURCE CAPSULE R00C G/CM3 =",F10.5,/)
0312 351 FORMAT(1H,5X,"DENSITY OF SOURCE PROTECTOR R00A G/CM3 =",F10.5,/)
0313 777 FORMAT(/,/14X,20(" * "), "LAYER NO. ",I2,20(" *"),/)
0314 888 FORMAT(/35X,"DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO.",I2,2X,"IN LAYER N
0315 10.",I2,/,/60X,"HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM",2X,F8.1,
0316 2/62X,"VERTICAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM",2X,F8.1,/81X,"DISTA
0317 3NCE FROM TIER CENTER X CM",/,/93X,"DOSE RATE D RAD/HR",/,/)
0318 666 FORMAT(/43X,"MAXIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH UNIT SPEED CM/SEC
0319 1 =",E10.4,1X,"RAD",/)
0320 667 FORMAT(/43X,"MINIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH UNIT SPEED CM/SEC
0321 1 =",E10.4,1X,"RAD",/)
0322 609 FORMAT(/74X,"UTILIZATION EFFICIENCY =",F4.1,2X,"PERCENT",/,/,/)
0323 610 FORMAT(/37X,"AVG. DOSE RATE AT CORNER CENTER OF TARGET ON LAYER NO
0324 1.",I2," =",E10.4,"RAD/HR",/,/)
0325 606 FORMAT(/38X,"AVG. DOSE RATE AT FRONT-CENTER OF TARGET ON LAYER NO.
0326 1",I2," =",E10.4,"RAD/HR",/,/39X,"AVG. DOSE RATE AT BACK-CENTER OF
0327 2TARGET ON LAYER NO.",I2," =",E10.4,"RAD/HR",/,/)
0328 316 FORMAT(1H,5X,"AVG. ACTIVITY OF SOURCE CIPA CI/CM2 =",F10.5,/)
0329 314 FORMAT(1H,5X,"SOURCE HIGHT HS CM =",F10.5,/)
0330 315 FORMAT(1H,5X,"SOURCE WIDTH LS =",F10.5,/)
0331 318 FORMAT(1H,5X,"SOURCE THICKNESS TS CM =",F10.5,/)
0332 320 FORMAT(1H,5X,"DISTANCE BETWEEN SOURCE CAPSULE AND LAYER N.1 CM =",
0333 1F10.5,/)
0334 321 FORMAT(1H,5X,"DISTANCE BETWEEN LAYER AND NEXT LAYER TF =",F10.5,/)
0335 117 FORMAT(/65X,"AVG. DOSE RATE ON TIER NO.",I2," =",F10.4,"RAD/HR",/,
0336 1/)
0337 322 FORMAT(1H,5X,"SOURCE-PROTECTOR THICKNESS TA CM =",F10.5,/)
0338 325 FORMAT(1H,5X,"MASS ATTENUATION COEFFICIENT OF SOURCE CAPSULE SMU2
0339 1CM2/G =",F10.5,/)
0340 327 FORMAT(1H,5X,"MASS ATTENUATION COEFFICIENT OF SOURCE PROTECTOR SMU
0341 13 CM2/G =",F10.5,/)
0342 328 FORMAT(/,1H,5X,"WIDTH OF TARGET XX CM =",F10.5,/)
0343 329 FORMAT(1H,5X,"HIGHT OF TARGET YY CM =",F10.5,/)
0344 330 FORMAT(1H,5X,"THICKNESS OF TARGET ZZ CM =",F10.5,/)
0345 331 FORMAT(1H,5X,"WIDTH OF LAYER L CM L",F10.5,/)
0346 332 FORMAT(1H,5X,"PATH LENGTH OF TARGET ON TIER L-XX CM =",F10.5,/)
0347 333 FORMAT(1H,5X,"TOTAL NUMBER OF TIER IN ONE LAYER K =",I2,/)
0348 334 FORMAT(1H,5X,"TOTAL NUMBER OF LAYER N =",I2,/)
0349 335 FORMAT(/7X,3(" * * * * * "), "CALCULATION POINT IS AT CORNER CENTER
0350 1 OF TARGET",3(" * * * * *"),/)
0351 336 FORMAT(/7X,3(" * * * * * "), "CALCULATION POINT IS AT FRONT CENTER
0352 1 OF TARGET",3(" * * * * *"),/)
0353 337 FORMAT(/7X,3(" * * * * * "), "CALCULATION POINT IS AT BACK CENTER O
0354 1 F TARGET",3(" * * * * *"),/)

```



```

0415      A=UA
0416      B=UB
0417      UV5A=VC5B
0418      UVCSB=V5A
0419      V5A=UV5A
0420      VC5B=UVCSB
0421      UV=VC
0422      UVC=V
0423      V=UV
0424      VC=UVC
0425      8 IF(V)101,9.9
0426      9 IF(VC)102,103.103
0427 C    IN ZONE 1
0428      101 TH1=-ATAN(-V/VC5B)
0429      TH2=ATAN(V5A/VC5B)
0430      TH3=ATAN(-VC/V5A)+.5*PI
0431      TH4=ATAN(V/VC)+PI
0432      Q=-EXPI(-Z.0)
0433      PHIA=0.0
0434      DTHA=TH2-TH1
0435      DO 10 I=1,12
0436      THA=TH1+AMU(I)*DTHA
0437      SX=VC5B/COS(THA)
0438      S=SQR(SX**2+7SQ)
0439      10 PHIA=PHIA+R(I)*(Q+EXPI(-S.0))
0440      PHIA=PHIA*DTHA
0441      DTHB=TH3-TH2
0442      PHIB=0.0
0443      DO 11 I=1,12
0444      THB=TH2+AMU(I)*DTHB
0445      TTX=THB-1.570797
0446      SX=V5A/COS(TTX)
0447      S=SQR(SX**2+7SQ)
0448      11 PHIB=PHIB+R(I)*(Q+EXPI(-S.0))
0449      PHIB=PHIB*DTHB
0450      DTHC=TH4-TH3
0451      PHIC=0.0
0452      DO 12 I=1,12
0453      THC=TH3+AMU(I)*DTHC
0454      SX=VC/COS(THC)
0455      S=SQR(SX**2+7SQ)
0456      12 PHIC=PHIC+R(I)*(Q+EXPI(-S.0))
0457      PHIC=PHIC*DTHC
0458      DTHD=(2.*PI+TH1-TH4)
0459      PHID=0.0
0460      DO 13 I=1,12
0461      THD=TH4+AMU(I)*DTHD
0462      TTX=THD-1.570797
0463      SX=V/COS(TTX)
0464      S=SQR(SX**2+7SQ)
0465      13 PHID=PHID+R(I)*(Q+EXPI(-S.0))
0466      PHID=PHID*DTHD
0467      PHI=(PHIA+PHIB+PHIC+PHID)
0468      PHI=PHI/(4.*PI)
0469      GO TO 15
0470 C    IN ZONE 2
0471      102 TH1=ATAN(V/VC5B)
0472      TH2=ATAN(V5A/VC5B)
0473      TH3=ATAN(-VC/V5A)+.5*PI
0474      TH4=ATAN(-VC/V)+.5*PI

```

```

0475      PHIA=0.
0476      DTHA=TH2-TH1
0477      DO 21 I=1,12
0478      THA=TH1+AMU(I)*DTH
0479      TTX=THA-1.570797
0480      SX1=V/COS(TTX)
0481      SX2=VC5B/(COS(THA))
0482      S1=SQRT(SX1**2+ZSQ)
0483      S2=SQRT(SX2**2+ZSQ)
0484      21 PHIA=PHIA+(-EXPI(-S1,0)+EXPI(-S2,0))*R(I)
0485      PHIA=PHIA*DTHA
0486      DTHB=TH3-TH2
0487      PHIB=0.0
0488      DO 22 I=1,12
0489      THB=TH2+AMU(I)*DTHB
0490      TTX=THB-1.570797
0491      Q=1./COS(TTX)
0492      SX1=V*Q
0493      SX2=V5A*Q
0494      S1=SQRT(SX1**2+ZSQ)
0495      S2=SQRT(SX2**2+ZSQ)
0496      22 PHIB=PHIB+(-EXPI(-S1,0)+EXPI(-S2,0))*R(I)
0497      PHIB=PHIB*DTHB
0498      DTHC=TH4-TH3
0499      PHIC=0.0
0500      DO 23 I=1,12
0501      THC=TH3+AMU(I)*DTHC
0502      TTX=THC-1.570797
0503      SX1=V/COS(TTX)
0504      SX2=VC/COS(THC)
0505      S1=SQRT(SX1**2+ZSQ)
0506      S2=SQRT(SX2**2+ZSQ)
0507      23 PHIC=PHIC+(-EXPI(-S1,0)+EXPI(-S2,0))*R(I)
0508      PHIC=PHIC*DTHC
0509      PHI=PHIA+PHIB+PHIC
0510      PHI=PHI/(4.*PI)
0511      GO TO 15
0512      C IN 70NE 3
0513      103 TH1=ATAN(V/VC5B)
0514      TH2=ATAN(V5A/VC5B)
0515      TH3=ATAN(V5A/VC)
0516      TH4=ATAN(V/VC)
0517      PHIA=0.0
0518      DTHA=TH2-TH1
0519      DO 31 I=1,12
0520      THA=TH1+AMU(I)*DTHA
0521      TTX=THA-1.570797
0522      SX1=V/COS(TTX)
0523      SX2=VC5B/COS(THA)
0524      S1=SQRT(SX1**2+ZSQ)
0525      S2=SQRT(SX2**2+ZSQ)
0526      31 PHIA=PHIA+(-EXPI(-S1,0)+EXPI(-S2,0))*R(I)
0527      PHIA=PHIA*DTHA
0528      DTHB=TH4-TH2
0529      PHIB=0.0
0530      DO 32 I=1,12
0531      THB=TH2+AMU(I)*DTHB
0532      TTX=THB-1.570797
0533      Q=1./COS(TTX)
0534      SX1=V*Q

```

```

0535      SX2=V5A*Q
0536      S1=SQRT(SX1**2+ZSQ)
0537      S2=SQRT(SX2**2+ZSQ)
0538      32 PHIB=PHIB+(-EXPI(-S1,0)+EXPI(-S2,0))*R(I)
0539      PHIB=PHIB*DTHR
0540      DTHC=TH3-TH4
0541      PHIC=0.0
0542      DO 33 I=1,I2
0543      THC=TH4+AMU(I)*DTHC
0544      SX1=VC/COS(THC)
0545      TTX=THC-1.570586
0546      SX2=V5A/COS(TTX)
0547      S1=SQRT(SX1**2+ZSQ)
0548      S2=SQRT(SX2**2+ZSQ)
0549      33 PHIC=PHIC+(-EXPI(-S1,0)+EXPI(-S2,0))*R(I)
0550      PHIC=PHIC*DTHC
0551      PHI=PHIA+PHIB+PHIC
0552      PHI=PHI/(4.*PI)
0553      15 PHIT=PHI
0554      555 CONTINUE
0555      RETURN
0556      END
0557      FUNCTION EXPI(V, NENTRY)
0558      DIMENSION C(50), CM(50), B(30)
0559      DATA C/0.,0.,0.,0...27076625,.21314731,
0560      1.17462972,.14773099,.12808435,
0561      2.11314702,.10140281,.09191455,
0562      3.08407902,.07749225,.07187354,
0563      4.06702156,.06278786,.05906040,
0564      5.05575291,.05279779,.05014134,
0565      6.04774026,.04555929,.04356941,
0566      7.04174648,.04007028,.03852376,
0567      8.03709238,.03576373,.03452712,
0568      9.03337328,.03229417,.03128274,
0569      X.03033281,.02943894,.02859428,
0570      X.02780057,.02704799,.02633510,
0571      X.02565886,.02501651,.02440555,
0572      X.02382374,.02326905,.02273961,
0573      X.02223374,.02174990,.02128467,
0574      X.020842792,.02041705/
0575      DATA CM/-.5963736,-.36132861,
0576      1-.26208374,-.20634564,-.17042218,
0577      2-.14526763,-.1266411,-.1125796,
0578      3-.10086195,-.09156333,-.08384178,
0579      4-.07732613,-.07175353,-.06693252,
0580      5-.06272028,-.05900810,-.05571176,
0581      6-.05276494,-.05011478,-.047718555,
0582      7-.04554136,-.04355446,-.04173392,
0583      8-.04005965,-.03851470,-.03708461,
0584      9-.03575703,-.03452131,-.03336822,
0585      X-.03228974,-.03127884,-.03032937,
0586      X-.02943588,-.02859357,-.02779815,
0587      X-.02704582,-.02633315,-.02565711,
0588      X-.02501492,-.02440411,-.02382244,
0589      X-.02326786,-.02273852,-.02223275,
0590      X-.02174899,-.02128585,-.02084203,
0591      X-.02041634,-.02000771,-.01961511/
0592      IF(X)69,71,69
0593      71 IF(NENTRY)171,171,2
0594      171 WRITE (6,8)

```

```

0595      8 FORMAT(15H ZERO ARGUMENT-/55H PROGRAM WILL COMPUTE ONLY EXPI(X)
0596      1-LOG(ABS(X)) FOR X=0/)
0597      EXPI=10.E+26
0598      GO TO 1111
0599 C     IF NENTRY =+1, PROGRAM WILL COMPUTE
0600 C     EXPIL(X)=EXPI(Y)-LOG(ABS(X))
0601 C     IF NENTRY =0, PROGRAM WILL COMPUTE EXPI(X)
0602 C     IF NENTRY=1, PROGRAM WILL COMPUTE
0603 C     EXPIE(X)=EXPI(Y)*EXP(-X)
0604      69 NFLAG=NENTRY
0605      Y=ABS(X)
0606      11 IF(Y=5.)5,23,23
0607      23 IF(Y=50.5)3,4,4
0608      5 IF(X)6,71,2
0609 C     FOR POS. X BETWEEN 0 AND 5. USE SERIES
0610      6 IF(X+.5)3,2,2
0611      2 CO=.5772157
0612      IF(X)222,333,222
0613      333 EXPI=CO
0614      GO TO 1111
0615      222 B(1)=1.
0616      FACTN=1.
0617      TEX1=X
0618      EX1=CO+B(1)*X
0619      DO143 JM=2,28
0620      AJM=JM
0621      J=JM-1
0622      TEX1=TEX1*X
0623      FACTN=FACTN*AJM
0624      B(JM)=1./(AJM*FACTN)
0625 C     B(JM)=1./N*(N FACTORIAL)
0626      EX1=EX1+TEX1*B(JM)
0627      143 CONTINUE
0628      EXPI=EX1
0629      IF(NFLAG)40,40,30
0630 C     IF NFLAG=1, WE WANT EXPI(X)-LOG(ABS(X)), WHICH WE HAVE
0631      30 CONTINUE
0632      GO TO 1111
0633      40 Z=ALOG(ABS(X))
0634      EXPI=EX1+Z
0635      IF(NFLAG)50,30,50
0636 C     IF NFLAG=0 WE WANT EXPI(X)
0637      50 XX=-X
0638      IF(X.GT.59.) XX=-59.
0639      IF(X.LT.-59.) XX=59.
0640      EXPI=EXPI*EXP(XX)
0641 C     IF NFLAG=-1, WE WANT EXPI(Y)*EXP(-X)
0642      GOTO30
0643      4 X2=X*X
0644      X3=X2*X
0645      X4=X3*X
0646      X5=X4*X
0647      X6=X5*X
0648      UM= X5-35.* X4+416.* X3-2016.* X2+3708.*X-1764.
0649      DM= X6-36.* X5+450.* X4-2400.* X3+5400.* X2-4320.*X+720.
0650      EXPI=UM/DM
0651      24 CONTINUE
0652      431 IF(NFLAG)30,60,60
0653 C     IF NFLAG=-1, WE HAVE DESIRED RESULT, EXPI(X)*EXP(-X)
0654      60 XX=X

```

```

0655      IF(X.GT.59.) X =59.
0656      IF(X.LT.-59.) X=-59.
0657      EXPI=EXPI*EXP(X)
0658      IF(NFLAG)70,30,70
0659  C    IF NFLAG=0 WE HAVE DESIRED RESULT,EXPI(X)
0660      70 EXPI=EXPI-ALOG(ABS(X))
0661      GOTO30
0662      3  CONTINUE
0663      LX=X
0664      X0=FLOAT(LX)
0665      DX=X-X0
0666      IF(X)38,71,39
0667      38 IF(DX)201,202,201
0668      202 LX=-LX
0669      EXPI=CM(LX)
0670      GOTO24
0671      201 IF(DX+0.5)212,211,211
0672      212 X0=X0-1.
0673      DX=X-X0
0674      211 LX=-X0
0675      EXPI=CM(LX)
0676      GO TO 112
0677      39 IF(DX) 101,102,101
0678      102 EXPI=C(LX)
0679      GO TO 24
0680      101 IF(DX-.5)111,111,110
0681      110 X0=X0+1.
0682      DX=X-X0
0683      LX=X0
0684      111 EXPI=C(LX)
0685  C    FIRST APPROXIMATION
0686      112 APRXN=0.
0687      TX=1./X0
0688      UX=-TX
0689      VX=-TX*DX
0690      UN=EXPI
0691      36 APRXN=APRXN+1.
0692      VN=EXPI
0693      UN=(-DX/APRXN)*(UN+UX)
0694      EXPI=EXPI+UN
0695      UX=UX+VX
0696      JM=APRXN
0697      IF(EXPI-VN)36,24,36
0698      1111 CONTINUE
0699      RETURN
0700      END
0701      END$
**** LIST END ****

```

Table 3 Example of output data of program FUGI

```

PROGRAM FUGI
*****
SOURCE          CO-60
SOURCE HIGH HS CM = 60.00000
SOURCE WIDTH LS = 120.00000
AVG. ACTIVITY OF SOURCE C1P1/CM2 = 15.00000
TOTAL ACTIVITY OF SOURCE CURIES = 10000.000000
SOURCE THICKNESS TS CM = .40000
SOURCE-CAPSULE THICKNESS TC CM = .10000
DISTANCE BETWEEN SOURCE CAPSULE AND LAYER N.1 CM = 10.00000
DISTANCE BETWEEN LAYER AND NEXT LAYER TF = 5.00000
SOURCE-PROTECTOR THICKNESS TA CM = .00000
DENSITY OF SOURCE (AVRAGE) RODS G/CM3 = 8.70000
DENSITY OF SOURCE CAPSULE RODS G/CM3 = 9.90000
DENSITY OF SOURCE PROTECTOR RODS G/CM3 = .00000
DENSITY OF TARGET (AVRAG ) RODS G/CM3 = .20000
MASS ATTENUATION COEFFICIENT OF SOURCE SMU1 CM2/G = .05440
MASS ATTENUATION COEFFICIENT OF SOURCE CAPSULE SMU2 CM2/G = .05330
MASS ATTENUATION COEFFICIENT OF SOURCE PROTECTOR SMU3 CM2/G = .00000
MASS ATTENUATION COEFFICIENT OF TARGET SMU5 CM2/G = .06340
MASS ABSORPTION COEFF. OF TARGET XMUA CM2/G = .02980
ENERGY ABSORPTION BUILDUP FACTOR = 10.15*EXPI -.0860*SMU1*RI + -9.15EXPI -.0150*SM 1*RI +
WIDTH OF TARGET XX CM = 30.00000
HIGHT OF TARGET YY CM = 45.00000
THICKNESS OF TARGET ZZ CM = 45.00000
WIDTH OF LAYER L M = 500.00000
PATH LENGTH OF TARGET ON TIER I.XY CM = 470.00000
    
```


MINIMUM DOSE OF TARGET RAD = 1.0001E+05
MASS FLOW RATE KG/SEC = .1000E+01
TOTAL NUMBER OF TIER IN ONE LAYER K = 5
TOTAL NUMBER OF LAYER N = 3

***** CONSIDERING AS CONTINUOUS FLOW *****

***** LAYER NO. 1 *****

***** CALCULATION POINT IS AT FRONT CENTER OF TARGET *****

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 1 IN LAYER NO. 1

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 5 IN LAYER NO. 1

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM
DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

| | | | | | | | |
|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
| X = 235.0 | D = .4373E+04 | X = 213.6 | D = .6270E+04 | X = 192.3 | D = .9039E+04 | X = 170.9 | D = .1309E+05 |
| X = 149.5 | D = .1904E+05 | X = 128.2 | D = .2767E+05 | X = 106.8 | D = .3989E+05 | X = 85.5 | D = .5616E+05 |
| X = 64.1 | D = .7528E+05 | X = 42.7 | D = .9348E+05 | X = 21.4 | D = .1062E+06 | X = .0 | D = .1107E+06 |
| X = -21.4 | D = .1062E+06 | X = -42.7 | D = .9348E+05 | X = -64.1 | D = .7528E+05 | X = -85.5 | D = .5616E+05 |
| X = -106.8 | D = .3989E+05 | X = -128.2 | D = .2767E+05 | X = -149.5 | D = .1904E+05 | X = -170.9 | D = .1309E+05 |
| X = -192.3 | D = .9039E+04 | X = -213.6 | D = .6270E+04 | X = -235.0 | D = .4373E+04 | X = | |

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 1 = .4580E+05RAD/HR

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 2 IN LAYER NO. 1

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 4 IN LAYER NO. 1

| HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM | | DISTANCE FROM TIER CENTER X CM | | DOSE RATE D RAD/HR | |
|---|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------|-------------|
| X= 235.0 | D=.5575E+04 | X= 192.3 | D=.1245E+05 | X= 170.9 | D=.1910E+05 |
| X= 149.5 | D=.3001E+05 | X= 106.8 | D=.8239E+05 | X= 85.5 | D=.1475E+06 |
| X= 64.1 | D=.2745E+06 | X= 21.4 | D=.5966E+06 | X= .0 | D=.5173E+06 |
| X= -21.4 | D=.4966E+06 | X= -64.1 | D=.2745E+06 | X= -85.5 | D=.1475E+06 |
| X= -106.8 | D=.8239E+05 | X= -149.5 | D=.3001E+05 | X= -170.9 | D=.1910E+05 |
| X= -192.3 | D=.1245E+04 | X= -235.0 | D=.5575E+04 | X= | |

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 2 = .1641E+06RAD/HR

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 3 IN LAYER NO. 1

| HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM | | DISTANCE FROM TIER CENTER X CM | | DOSE RATE D RAD/HR | |
|---|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------|-------------|
| X= 235.0 | D=.6075E+04 | X= 192.3 | D=.1399E+05 | X= 170.9 | D=.2202E+05 |
| X= 149.5 | D=.3589E+05 | X= 106.8 | D=.1156E+06 | X= 85.5 | D=.2528E+06 |
| X= 64.1 | D=.7397E+06 | X= 21.4 | D=.1667E+07 | X= .0 | D=.1710E+07 |
| X= -21.4 | D=.1667E+07 | X= -64.1 | D=.7397E+06 | X= -85.5 | D=.2528E+06 |
| X= -106.8 | D=.3589E+05 | X= -149.5 | D=.1156E+06 | X= -170.9 | D=.2202E+05 |
| X= -192.3 | D=.6075E+04 | X= -235.0 | D=.1399E+04 | X= | |

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 3 = .4795E+06RAD/HR

***** CALCULATION POINT IS AT BACK CENTER OF TARGET *****

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 1 IN LAYER NO. 1

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 5 IN LAYER NO. 1

| HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM | | DISTANCE FROM TIER CENTER X CM | | DOSE RATE D RAD/HR | |
|---|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------|-------------|
| X= 235.0 | D=.8245E+04 | X= 192.3 | D=.8353E+04 | X= 170.9 | D=.1173E+05 |
| X= 149.5 | D=.1645E+05 | X= 106.8 | D=.3136E+05 | X= 85.5 | D=.4171E+05 |
| X= 64.1 | D=.5300E+05 | X= 21.4 | D=.7055E+05 | X= .0 | D=.7313E+05 |

X= -21.4 D=.7054E+05 X= -64.1 D=.5300E+05 X= -85.5 D=.4171E+05
 X= 106.8 D=.3136E+05 X= 149.5 D=.1645E+05 X= 170.9 D=.1173E+05
 X= 192.3 D=.8351E+04 X= 213.6 D=.5949E+04 X= 235.0 D=.4245E+04

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 1 = .3310E+05RAD/HR

.....

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 2 IN LAYER NO. 1

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 4 IN LAYER NO. 1

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 45.0
 DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
 DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.5326E+04 X= 213.6 D=.7683E+04 X= 192.3 D=.1119E+05 X= 170.9 D=.1645E+05
 X= 149.5 D=.2443E+05 X= 128.2 D=.3657E+05 X= 106.8 D=.5480E+05 X= 85.5 D=.8071E+05
 X= 64.1 D=.1130E+06 X= 42.7 D=.1445E+06 X= 21.4 D=.1664E+06 X= .0 D=.1741E+06
 X= -21.4 D=.1664E+06 X= -42.7 D=.1445E+06 X= -64.1 D=.1130E+06 X= -85.5 D=.8071E+05
 X= -106.8 D=.5480E+05 X= -128.2 D=.3657E+05 X= -149.5 D=.2443E+05 X= -170.9 D=.1645E+05
 X= -192.3 D=.1119E+05 X= -213.6 D=.7683E+04 X= -235.0 D=.5326E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 2 = .6779E+05RAD/HR

.....

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 3 IN LAYER NO. 1

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 45.0
 VERTICAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM .0
 DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
 DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.5769E+04 X= 213.6 D=.8417E+04 X= 192.3 D=.1243E+05 X= 170.9 D=.1865E+05
 X= 149.5 D=.2840E+05 X= 128.2 D=.4405E+05 X= 106.8 D=.6918E+05 X= 85.5 D=.1080E+06
 X= 64.1 D=.1599E+06 X= 42.7 D=.2122E+06 X= 21.4 D=.2478E+06 X= .0 D=.2599E+06
 X= -21.4 D=.2478E+06 X= -42.7 D=.2122E+06 X= -64.1 D=.1599E+06 X= -85.5 D=.1080E+06
 X= -106.8 D=.6918E+05 X= -128.2 D=.4405E+05 X= -149.5 D=.2840E+05 X= -170.9 D=.1865E+05
 X= -192.3 D=.1243E+05 X= -213.6 D=.8417E+04 X= -235.0 D=.5769E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 3 = .9473E+05RAD/HR

.....

AVG. DOSE RATE AT FRONT-CENTER OF TARGET ON LAYER NO. 1 = .1798E+06RAD/HR

AVG. DOSE RATE AT BACK-CENTER OF TARGET ON LAYER NO. 1 = .5930E+05RAD/HR

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 22.5
DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

| | | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| X= 235.0 | D=.6070E+04 | X= 213.6 | D=.8958E+04 | X= 192.3 | D=.1343E+05 | X= 170.9 | D=.2056E+05 |
| X= 149.5 | D=.3224E+05 | X= 128.2 | D=.5232E+05 | X= 106.8 | D=.8844E+05 | X= 85.5 | D=.1556E+06 |
| X= 64.1 | D=.269 E+06 | X= 42.7 | D=.3940E+06 | X= 21.4 | D=.4673E+06 | X= .0 | D=.4890E+06 |
| X= -21.4 | D=.4673E+06 | X= -42.7 | D=.3940E+06 | X= -64.1 | D=.2696E+06 | X= -85.5 | D=.1556E+06 |
| X= -106.8 | D=.8844E+05 | X= -128.2 | D=.5232E+05 | X= -149.5 | D=.1343E+05 | X= -170.9 | D=.2056E+05 |
| X= -192.3 | D=.1343E+05 | X= -213.6 | D=.8958E+04 | X= -235.0 | D=.6070E+04 | X= | |

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 3 = .1591E+06RAD/HR

 AVG. DOSE RATE AT CORNER CENTER OF TARGET ON LAYER NO. 1 = .9538E+05RAD/HR

MAXIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH UNIT SPEED CM/SEC = .1561F+06 RAD

MINIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH UNIT SPEED CM/SEC = .1245F+06 RAD

REQUISITE CONVEYOR SPEED V = .2469E-02 CM/SEC

MAXIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH SPEED V = .1254F+06 RAD

MINIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH SPEED V = 1.0000E+05 RAD

MASS FLOW RATE KG/SEC = .1000F+01

TOTAL ACTIVITY OF SOURCE CURIES = .2142E+06

DOSE UNIFORMITY = 1.25

UTILIZATION EFFICIENCY = 31.5 PERCENT

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 3 IN LAYER NO. 2

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 45.0
VERTICAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM .0
DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.6657E+04 X= 213.6 D=.9490E+04 X= 192.3 D=.1369E+05 X= 170.9 D=.2002E+05
X= 149.5 D=.2970E+05 X= 128.2 D=.4471E+05 X= 106.8 D=.6790E+05 X= 85.5 D=.1020E+06
X= 64.1 D=.1459E+06 X= 42.7 D=.1893E+06 X= 21.4 D=.2192E+06 X= .0 D=.2295E+06
X= -21.4 D=.2192E+06 X= -42.7 D=.1893E+06 X= -64.1 D=.1459E+06 X= -85.5 D=.1020E+06
X= -106.8 D=.6790E+05 X= -128.2 D=.4471E+05 X= -149.5 D=.2970E+05 X= -170.9 D=.2002E+05
X= -192.3 D=.1369E+04 X= -213.6 D=.9490E+04 X= -235.0 D=.6657E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 3 = .8729E+05RAD/HR

***** CALCULATION POINT IS AT BACK CENTER OF TARGET *****

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 1 IN LAYER NO. 2

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 5 IN LAYER NO. 2

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 90.0
DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.3620E+04 X= 213.6 D=.4865E+04 X= 192.3 D=.6514E+04 X= 170.9 D=.8669E+04
X= 149.5 D=.1143E+05 X= 128.2 D=.1485E+05 X= 106.8 D=.1890E+05 X= 85.5 D=.2335E+05
X= 64.1 D=.2778E+05 X= 42.7 D=.3160E+05 X= 21.4 D=.3421E+05 X= .0 D=.3514E+05
X= -21.4 D=.3421E+05 X= -42.7 D=.3160E+05 X= -64.1 D=.2778E+05 X= -85.5 D=.2335E+05
X= -106.8 D=.1890E+05 X= -128.2 D=.1485E+05 X= -149.5 D=.1143E+05 X= -170.9 D=.8669E+04
X= -192.3 D=.6514E+04 X= -213.6 D=.4865E+04 X= -235.0 D=.3620E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 1 = .1833E+05RAD/HR

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 2 IN LAYER NO. 2

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 4 IN LAYER NO. 2

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 90.0
DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.4412E+04 X= 213.6 D=.6053E+04 X= 192.3 D=.8305E+04 X= 170.9 D=.1137E+05
 X= 149.5 D=.1549E+05 X= 128.2 D=.2086E+05 X= 106.8 D=.2756E+05 X= 85.5 D=.3532E+05
 X= 64.1 D=.4342E+05 X= 42.7 D=.5062E+05 X= 21.4 D=.5860E+05 X= .0 D=.5737E+05
 X= -21.4 D=.5560E+05 X= -42.7 D=.5062E+05 X= -64.1 D=.4342E+05 X= -85.5 D=.3532E+05
 X= -106.8 D=.2756E+05 X= -128.2 D=.2086E+05 X= -149.5 D=.1549E+05 X= -170.9 D=.1137E+05
 X= -192.3 D=.8305E+04 X= -213.6 D=.6053E+04 X= -235.0 D=.4412E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 2 = .2778E+05RAD/HR

.....

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 3 IN LAYER NO. 2

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 90.0
 VERTICAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM .0
 DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
 DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.4727E+04 X= 213.6 D=.6536E+04 X= 192.3 D=.9053E+04 X= 170.9 D=.1254E+05
 X= 149.5 D=.1730E+05 X= 128.2 D=.2367E+05 X= 106.8 D=.3176E+05 X= 85.5 D=.4140E+05
 X= 64.1 D=.5163E+05 X= 42.7 D=.6086E+05 X= 21.4 D=.6727E+05 X= .0 D=.6956E+05
 X= -21.4 D=.6727E+05 X= -42.7 D=.6086E+05 X= -64.1 D=.5163E+05 X= -85.5 D=.4140E+05
 X= -106.8 D=.3176E+05 X= -128.2 D=.2367E+05 X= -149.5 D=.1730E+05 X= -170.9 D=.1254E+05
 X= -192.3 D=.9053E+04 X= -213.6 D=.6536E+04 X= -235.0 D=.4727E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 3 = .3266E+05RAD/HR

AVG. DOSE RATE AT FRONT-CENTER OF TARGET ON LAYER NO. 2 = .5695E+05RAD/HR

AVG. DOSE RATE AT BACK-CENTER OF TARGET ON LAYER NO. 2 = .2498E+05RAD/HR

***** CALCULATION POINT IS AT CORNER CENTER OF TARGET *****

.....

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 1 IN LAYER NO. 2

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 47.5
 VERTICAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 112.5
 DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
 DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.3697E+04 X= 213.6 D=.4953E+04 X= 192.3 D=.6618E+04 X= 170.9 D=.8792E+04

X= 149.5 D=.1157E+05 X= 128.2 D=.1502E+05 X= 106.8 D=.1909E+05 X= 85.5 D=.2358E+05
 X= 64.1 D=.2808E+05 X= 42.5 D=.3191E+05 X= 21.4 D=.3454E+05 X= .0 D=.3548E+05
 X= -21.4 D=.3454E+05 X= -42.5 D=.3191E+05 X= -64.1 D=.2808E+05 X= -85.5 D=.2358E+05
 X= -106.8 D=.1909E+05 X= -128.2 D=.1502E+05 X= -149.5 D=.1157E+05 X= -170.9 D=.8792E+04
 X= -192.3 D=.6618E+04 X= -213.6 D=.4953E+04 X= -235.0 D=.3697E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 1 = .1853E+05RAD/HR

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 2 IN LAYER NO. 2

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 5 IN LAYER NO. 2

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 47.5
 DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
 DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.4816E+04 X= 213.6 D=.6642E+04 X= 192.3 D=.9179E+04 X= 170.9 D=.1269E+05
 X= 149.5 D=.1749E+05 X= 128.2 D=.2392E+05 X= 106.8 D=.3217E+05 X= 85.5 D=.4204E+05
 X= 64.1 D=.5261E+05 X= 42.7 D=.6216E+05 X= 21.4 D=.6881E+05 X= .0 D=.7119E+05
 X= -21.4 D=.6881E+05 X= -42.7 D=.6216E+05 X= -64.1 D=.5261E+05 X= -85.5 D=.4204E+05
 X= -106.8 D=.3217E+05 X= -128.2 D=.2392E+05 X= -149.5 D=.1749E+05 X= -170.9 D=.1269E+05
 X= -192.3 D=.9179E+04 X= -213.6 D=.6642E+04 X= -235.0 D=.4816E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 2 = .3326E+05RAD/HR

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 3 IN LAYER NO. 2

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 4 IN LAYER NO. 2

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 47.5
 DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
 DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.5550E+04 X= 213.6 D=.7791E+04 X= 192.3 D=.1100E+05 X= 170.9 D=.1561E+05
 X= 149.5 D=.2224E+05 X= 128.2 D=.3162E+05 X= 106.8 D=.4451E+05 X= 85.5 D=.6101E+05
 X= 64.1 D=.7966E+05 X= 42.7 D=.9715E+05 X= 21.4 D=.1094E+06 X= .0 D=.1138E+06
 X= -21.4 D=.1094E+06 X= -42.7 D=.9715E+05 X= -64.1 D=.7966E+05 X= -85.5 D=.6101E+05
 X= -106.8 D=.4451E+05 X= -128.2 D=.3162E+05 X= -149.5 D=.2224E+05 X= -170.9 D=.1561E+05
 X= -192.3 D=.1100E+05 X= -213.6 D=.7791E+04 X= -235.0 D=.5550E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 3 = .4908E+05RAD/HR

AVG. DOSE RATE AT CORNER CENTER OF TARGET ON LAYER NO. 2 = .3664E+05RAD/HR

MAXIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH UNIT SPEED CM/SEC = .2096E+06 RAD

MINIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH UNIT SPEED CM/SEC = .1724E+06 RAD

REQUISITE CONVEYOR SPEED V = .2469E-02 CM/SEC

MAXIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH SPEED V = .1216E+06 RAD

MINIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH SPEED V = 1.0000E+05 RAD

MASS FLOW RATE KG/SEC = .1000E+01

TOTAL ACTIVITY OF SOURCE CURIES = .1547E+06

DOSE UNIFORMITY = 1.22

UTILIZATION EFFICIENCY = 43.6 PERCENT

***** LAYER NO. 3 *****

***** CALCULATION POINT IS AT FRONT CENTER OF TARGET *****

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 1 IN LAYER NO. 3

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 5 IN LAYER NO. 3

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 90.0
DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.3876E+04 X= 213.6 D=.5150E+04 X= 192.3 D=.6812E+04 X= 170.9 D=.8954E+04
X= 149.5 D=.1166E+05 X= 128.2 D=.1497E+05 X= 106.8 D=.1883E+05 X= 85.5 D=.2303E+05
X= 64.1 D=.2716E+05 X= 42.7 D=.3070E+05 X= 21.4 D=.3310E+05 X= 0 D=.3396E+05
X= -21.4 D=.3310E+05 X= -42.7 D=.3070E+05 X= -64.1 D=.2716E+05 X= -85.5 D=.2303E+05
X= -106.8 D=.1883E+05 X= -128.2 D=.1497E+05 X= -149.5 D=.1166E+05 X= -170.9 D=.8954E+04
X= -192.3 D=.6812E+04 X= -213.6 D=.5150E+04 X= -235.0 D=.3876E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 1 = .1812E+05RAD/HR

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 2 IN LAYER NO. 3

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 4 IN LAYER NO. 3

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 90.0
DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.6688E+04 X= 213.6 D=.6347E+04 X= 192.3 D=.8589E+04 X= 170.9 D=.1160E+05
X= 149.5 D=.1556E+05 X= 128.2 D=.2065E+05 X= 106.8 D=.2688E+05 X= 85.5 D=.3397E+05
X= 64.1 D=.4127E+05 X= 42.7 D=.4771E+05 X= 21.4 D=.5213E+05 X= 0 D=.5370E+05
X= -21.4 D=.5213E+05 X= -42.7 D=.4771E+05 X= -64.1 D=.4127E+05 X= -85.5 D=.3397E+05
X= -106.8 D=.2688E+05 X= -128.2 D=.2065E+05 X= -149.5 D=.1556E+05 X= -170.9 D=.1160E+05
X= -192.3 D=.6347E+04 X= -213.6 D=.6347E+04 X= -235.0 D=.6688E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 2 = .2673E+05RAD/HR

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 3 IN LAYER NO. 3

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 90.0
DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

X= 235.0 D=.5007E+04 X= 213.6 D=.6830E+04 X= 192.3 D=.9325E+04 X= 170.9 D=.1272E+05
X= 149.5 D=.1728E+05 X= 128.2 D=.2325E+05 X= 106.8 D=.3070E+05 X= 85.5 D=.3940E+05
X= 64.1 D=.4849E+05 X= 42.7 D=.5660E+05 X= 21.4 D=.6221E+05 X= 0 D=.6423E+05
X= -21.4 D=.6221E+05 X= -42.7 D=.5660E+05 X= -64.1 D=.4849E+05 X= -85.5 D=.3940E+05
X= -106.8 D=.3070E+05 X= -128.2 D=.2325E+05 X= -149.5 D=.1728E+05 X= -170.9 D=.1272E+05
X= -192.3 D=.9325E+04 X= -213.6 D=.6830E+04 X= -235.0 D=.5007E+04 X=

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 3 = .3105E+05RAD/HR

***** CALCULATION POINT IS AT BACK CENTER OF TARGET *****

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 1 IN LAYER NO. 3

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 5 IN LAYER NO. 3

| HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM | | 135.0 | |
|---|-------------|--------------------|-------------|
| DISTANCE FROM TIER CENTER X CM | | DOSE RATE D RAD/HR | |
| X= 235.0 | D=.2564E+04 | X= 213.6 | D=.3314E+04 |
| X= 149.5 | D=.6756E+04 | X= 128.2 | D=.8319E+04 |
| X= 64.1 | D=.1340E+05 | X= 42.7 | D=.1475E+05 |
| X= -21.4 | D=.1564E+05 | X= -42.7 | D=.1475E+05 |
| X=-106.8 | D=.1003E+05 | X=-128.2 | D=.8319E+04 |
| X=-192.3 | D=.4250E+04 | X=-213.6 | D=.3314E+04 |
| X= 170.9 | D=.5393E+04 | X= 192.3 | D=.4250E+04 |
| X= 85.5 | D=.1177E+05 | X= 106.8 | D=.1003E+05 |
| X= .0 | D=.1595E+05 | X= 21.4 | D=.1564E+05 |
| X= -85.5 | D=.1177E+05 | X= -64.1 | D=.1340E+05 |
| X=-170.9 | D=.5393E+04 | X=-149.5 | D=.6756E+04 |
| X=-235.0 | D=.2564E+04 | X=-213.6 | D=.3314E+04 |

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 1 = .9358E+04RAD/HR

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 2 IN LAYER NO. 3

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 4 IN LAYER NO. 3

| HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM | | 135.0 | |
|---|-------------|--------------------|-------------|
| DISTANCE FROM TIER CENTER X CM | | DOSE RATE D RAD/HR | |
| X= 235.0 | D=.3042E+04 | X= 213.6 | D=.3986E+04 |
| X= 149.5 | D=.8542E+04 | X= 128.2 | D=.1071E+05 |
| X= 64.1 | D=.1810E+05 | X= 42.7 | D=.2014E+05 |
| X= -21.4 | D=.2169E+05 | X= -42.7 | D=.2014E+05 |
| X=-106.8 | D=.1314E+05 | X=-128.2 | D=.1071E+05 |
| X=-192.3 | D=.5192E+04 | X=-213.6 | D=.3986E+04 |
| X= 170.9 | D=.6701E+04 | X= 192.3 | D=.5192E+04 |
| X= 85.5 | D=.1567E+05 | X= 106.8 | D=.1314E+05 |
| X= .0 | D=.2197E+05 | X= 21.4 | D=.2149E+05 |
| X= -85.5 | D=.1567E+05 | X= -64.1 | D=.1810E+05 |
| X=-170.9 | D=.6701E+04 | X=-149.5 | D=.8542E+04 |
| X=-235.0 | D=.3042E+04 | X=-213.6 | D=.3986E+04 |

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 2 = .1239E+05RAD/HR

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 3 IN LAYER NO. 3

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM

135.0

DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

| | | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| X= 235.0 | D=.3521E+04 | X= 213.6 | D=.6657E+04 | X= 192.3 | D=.6132E+04 | X= 170.9 | D=.8014E+04 |
| X= 149.5 | D=.1036E+05 | X= 128.2 | D=.1318E+05 | X= 106.8 | D=.1643E+05 | X= 85.5 | D=.1990E+05 |
| X= 64.1 | D=.2329E+05 | X= 42.7 | D=.2617E+05 | X= 21.4 | D=.2811E+05 | X= .0 | D=.2879E+05 |
| X= -21.4 | D=.2811E+05 | X= -42.7 | D=.2617E+05 | X= -64.1 | D=.2329E+05 | X= -85.5 | D=.1990E+05 |
| X= -106.8 | D=.1643E+05 | X= -128.2 | D=.1318E+05 | X= -149.5 | D=.1036E+05 | X= -170.9 | D=.8014E+04 |
| X= -192.3 | D=.6132E+04 | X= -213.6 | D=.6657E+04 | X= -235.0 | D=.3521E+04 | X= | |

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 2 = .1568E+05RAD/HR

.....

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 3 IN LAYER NO. 3

DOSE RATE DISTRIBUTION ON TIER NO. 4 IN LAYER NO. 3

HORIZONTAL DISTANCE FROM SOURCE CENTER CM 112.5
DISTANCE FROM TIER CENTER X CM
DOSE RATE D RAD/HR

| | | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| X= 235.0 | D=.3982E+04 | X= 213.6 | D=.5331E+04 | X= 192.3 | D=.7115E+04 | X= 170.9 | D=.9442E+04 |
| X= 149.5 | D=.1242E+05 | X= 128.2 | D=.1609E+05 | X= 106.8 | D=.2042E+05 | X= 85.5 | D=.2520E+05 |
| X= 64.1 | D=.2994E+05 | X= 42.7 | D=.3403E+05 | X= 21.4 | D=.3681E+05 | X= .0 | D=.3781E+05 |
| X= -21.4 | D=.3681E+05 | X= -42.7 | D=.3403E+05 | X= -64.1 | D=.2994E+05 | X= -85.5 | D=.2520E+05 |
| X= -106.8 | D=.2042E+05 | X= -128.2 | D=.1609E+05 | X= -149.5 | D=.1242E+05 | X= -170.9 | D=.9442E+04 |
| X= -192.3 | D=.7115E+04 | X= -213.6 | D=.5331E+04 | X= -235.0 | D=.3982E+04 | X= | |

AVG. DOSE RATE ON TIER NO. 3 = .1980E+05RAD/HR

.....

AVG. DOSE RATE AT CORNER CENTER OF TARGET ON LAYER NO. 3 = .1629E+05RAD/HR

.....

.....

MAXIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH UNIT SPEED CM/SEC = .2328E+06 RAD

MINIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH UNIT SPEED CM/SEC = .1936E+06 RAD

REQUISITE CONVEYOR SPEED V = .2469E-02 CM/SEC

MAXIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH SPEED V = .1202E+06 RAD

MINIMUM DOSE IN TARGET MOVING WITH SPEED V = 1.0000E+05 RAD

MASS FLOW RATE KG/SEC = .1000E+01

TOTAL ACTIVITY OF SOURCE CURIES = .1377E+06

DOSE UNIFORMITY = 1.20

UTILIZATION EFFICIENCY = 49.0 PERCENT

END JOB RUN=0038 MIN. 01.3 SEC. EXEC=0000 MIN. 00.0 SEC.