

EGS4 サンプルプログラム (ucphantom\_cgpk.mor)  
人体中の線量分布計算 (CG and KEK extension Version)  
(August 11, 2003)

平山 英夫、波戸 芳仁

〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1 - 1  
高エネルギー加速器研究機構

## Contents

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. PRESTA-CG</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. Body の定義   | 1         |
| 1.2. リージョンの定義   | 1         |
| 1.3. リージョン定義の例  | 2         |
| <b>2. サンプルプログラム ucphantom_cgpk.mor の概要</b>                  | <b>4</b>  |
| 2.1. CG 入力データ   | 4         |
| <b>3. ユーザーコードの内容</b>  | <b>6</b>  |
| 3.1. STEP 1   | 6         |
| 3.2. STEP 2   | 7         |
| 3.2.1. オプションの設定:  | 8         |
| 3.3. STEP 3   | 9         |
| 3.4. STEP 4   | 10        |
| 3.5. STEP 5   | 10        |
| 3.6. STEP 6   | 10        |
| 3.6.1. X線源の種類を増やす方法:  | 11        |
| 3.7. STEP 7   | 12        |
| 3.7.1. 統計誤差:  | 13        |
| 3.8. STEP 8   | 14        |
| 3.9. SUBROUTINE AUSGAB                                      | 14        |
| 3.10. SUBROUTINE HOWFAR                                     | 15        |
| <b>4. ucphantom_rec1k.mor と ucphantom_cgpk.mor の計算速度の比較</b> | <b>15</b> |
| <b>5. 実習課題</b>  | <b>15</b> |
| 5.1. 実習課題 1 : 線源を Cs-137 に変更する                              | 15        |
| 5.2. 実習課題 2 : 線源を Co-60 に変更する                               | 15        |
| 5.3. 実習課題 3 : 肺のモデルに変更する                                    | 15        |
| 5.4. 実習課題 4 : 腫瘍を含む肺  | 16        |
| 5.5. 実習課題 5 : 金属の挿入   | 17        |
| 5.6. その他  | 18        |

# 1. PRESTA-CG

## 1.1. Body の定義

PRESTA-CG\*では、以下のような Body を使用する事ができる。

1. 直方体 (RPP)  
x-, y- と z-方向の最小値及び最大値で、定義する。各面は、いずれかの軸と平行である。
2. 球 (SPH)  
球の中心を示すベクトル  $\mathbf{V}$  と半径で定義する。
3. 円筒 (RCC)  
円筒の底面の中心を示すベクトル  $\mathbf{V}$  と、中心からの高さベクトル  $\mathbf{H}$  及び円筒の半径で定義する。
4. 円錐台 (TRC)  
円錐の底面の中心を示すベクトル  $\mathbf{V}$ 、底面中心からの上面中心への高さベクトル  $\mathbf{H}$ 、及び底面と上面のそれぞれの半径  $R1$  及び  $R2$  で定義する。
5. トーラス (TOR)  
いずれかの軸に平行なトーラスの中心を示すベクトル  $\mathbf{V}$ 、トーラス中心から、チューブの中心までの距離  $R1$ 、チューブの半径  $R2$  及びトーラスの方向を示す番号、(n: x/y/z = 1/2/3) で定義する。更に、トーラスの始まりの角度  $\theta1$  と終わりの角度  $\theta2$  を指定する。トーラス全体を使用する場合には、 $\theta1=0$ , 及び  $\theta2=2\pi$  とする。

Table 1 Data required to described each bosy type.

| Body Type | Inp. # | Real Data defining Paticular Body |           |      |      |      |      |
|-----------|--------|-----------------------------------|-----------|------|------|------|------|
| RPP       | #      | Xmin                              | Xmax      | Ymin | Ymax | Zmin | Zmax |
| SPH       | #      | Vx                                | Vy        | Vz   | R    |      |      |
| RCC       | #      | Vx                                | Vy        | Vz   | Hx   | Hy   | Hz   |
|           |        | R                                 |           |      |      |      |      |
| TRC       | #      | Vx                                | Vy        | Vz   | Hx   | Hy   | Hz   |
|           |        | R1                                | R2        |      |      |      |      |
| TOR       | #      | Vx                                | Vy        | Vz   | R1   | R2   |      |
|           |        | $\theta1$                         | $\theta2$ | n    |      |      |      |

## 1.2. リージョンの定義

各リージョンは、body の組み合わせにより定義する。組み合わせには、特別な記号、+、- 及び OR が使われる。

+ 記号の後に body 番号が書かれた場合には、body に含まれる全ての領域がリージョンとなる。一方、- 記号の後に body 番号が書かれた場合には、body の外側の全ての領域がリージョンとなる。Body 番号が OR 記号の後に書かれた場合は、OR 記号は結合記号として使用される。リージョンが、OR 記号で結合したサブリージョンの組み合わせで定義される場合もある。2 つ以上の OR 記号が使われる場合、OR の機能は、OR 記号の間及び OR 記号からリージョン定義の行の最後までに含まれる全ての body 番号に、+ や - 記号に関係なく適用される。

\*JNC TN1410 2002-001 by T. Trii and T. Sugita[1] の Appendix A を参照

### 1.3. リージョン定義の例

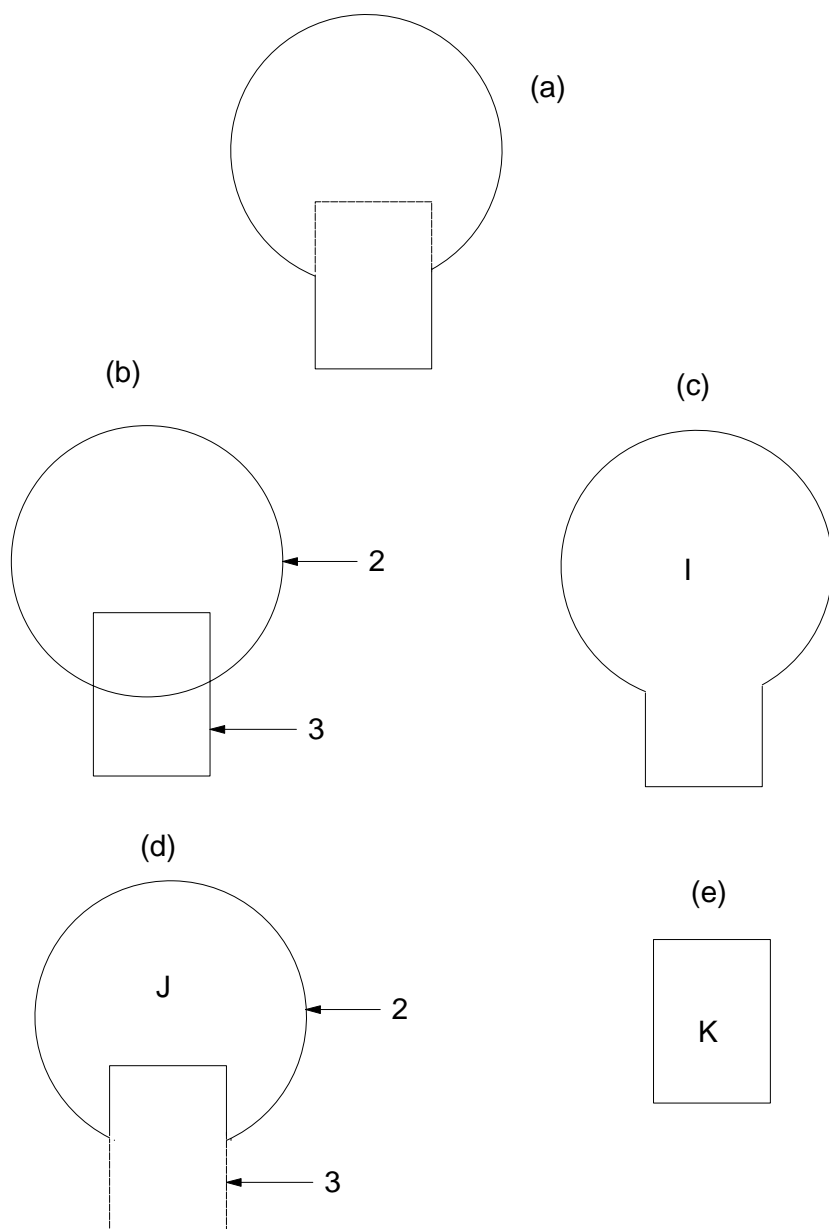


Figure 1: Examples of Combinatorial Geometry Method.

第1図に示すような、球 (body 2) に円筒 (body 3) が挿入し様な体系を考える。もし、球と円筒の物質が同じであれば、リージョン I (図 1c) の様に一つのリージョンとする事ができる。リージョン I は、

$$I = +2OR + 3.$$

と記述する。これは、リージョン I が、body 2 か body 3 のどちらかに属する領域であることを意味している。

球と円筒が異なった物質の場合、円筒部を除外した球には、円筒部のリージョン番号 (K) と異なったリージョン番号を付ける (例えば J)。

リージョン J (図 1d) は、

$$J = +2 - 3.$$

と記述する。これは、body 2 に属するが、body 3 に属しない領域を意味する。

リージョン K (図 2e) は、単に

$$K = +3.$$

と記述する。これは、body 3 の属する領域を意味する。

2 つ以上の body を組み合わせる場合には、+、- や OR 記号を含む長い記述となる。しかしながら、形状中の全ての点は、どれか一つのリージョンとして定義される様にしなければならない。

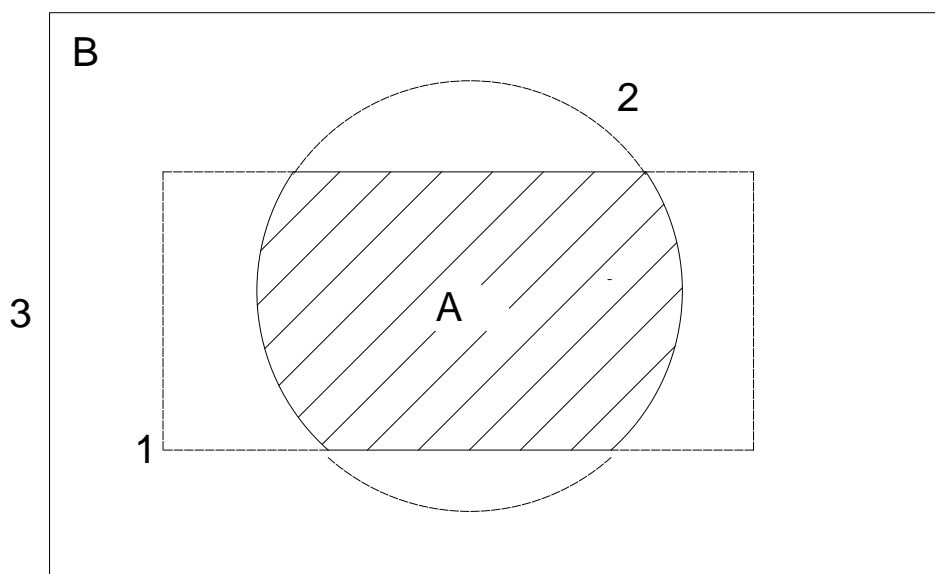


Figure 2: Use of OR operator.

OR 記号を使ったもっと複雑な例として、第 2 図の斜線部の領域 A と斜線を引いていない領域 B を考える。これらのリージョンは、2 つの直方体 (body 1 と 3) と、一つの円筒 (body 2) で記述される。それぞれのリージョンは、

$$A = +1 + 2$$

そして

$$B = +3 - 1 \text{OR} +3 - 2.$$

と記述する。OR 記号は、次に OR 記号が現れるまで、それに続く全ての body 番号に適用される事に注意する必要がある。

## 2. サンプルプログラム ucphantom\_cgpk.mor の概要

ucphantom\_cgpk.mor は、ucphantom\_rec1k.mor と同じ形状を CG を使って記述するユーザコードである。

### 2.1. CG 入力データ

ucphantom\_rec1k.mor が、平板の組み合わせでリージョンを定義しているのと異なり、第3図に示すようにファントム前後の10cmの空気層、厚さ20cmファントム、ファントム内の線量計算領域(1cm x 1cm x 1cm)を直方体の組み合わせで定義している。

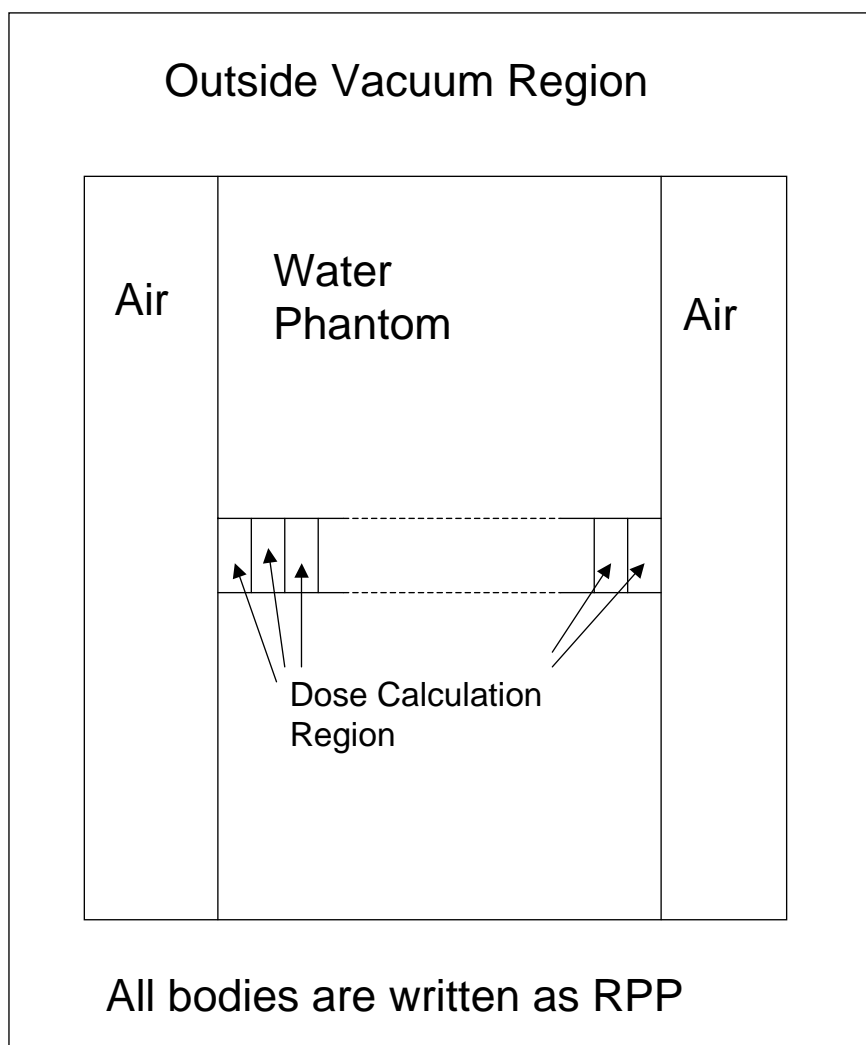


Figure 3: Geometry of ucphantom\_cgpk.mor.

この形状の入力データは、PRESTA-CG では、以下のように記述する。

|     |   |       |      |       |       |       |       |
|-----|---|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| RPP | 1 | -15.0 | 15.0 | -15.0 | 15.00 | -10.0 | 0.00  |
| RPP | 2 | -15.0 | 15.0 | -15.0 | 15.00 | 0.0   | 20.00 |
| RPP | 3 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 0.0   | 1.00  |
| RPP | 4 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 1.0   | 2.00  |
| RPP | 5 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 2.0   | 3.00  |

|     |    |       |      |       |       |       |       |
|-----|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| RPP | 6  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 3.0   | 4.00  |
| RPP | 7  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 4.0   | 5.00  |
| RPP | 8  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 5.0   | 6.00  |
| RPP | 9  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 6.0   | 7.00  |
| RPP | 10 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 7.0   | 8.00  |
| RPP | 11 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 8.0   | 9.00  |
| RPP | 12 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 9.0   | 10.00 |
| RPP | 13 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 10.0  | 11.00 |
| RPP | 14 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 11.0  | 12.00 |
| RPP | 15 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 12.0  | 13.00 |
| RPP | 16 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 13.0  | 14.00 |
| RPP | 17 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 14.0  | 15.00 |
| RPP | 18 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 15.0  | 16.00 |
| RPP | 19 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 16.0  | 17.00 |
| RPP | 20 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 17.0  | 18.00 |
| RPP | 21 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 18.0  | 19.00 |
| RPP | 22 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 19.0  | 20.00 |
| RPP | 23 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.50  | 0.0   | 20.00 |
| RPP | 24 | -15.0 | 15.0 | -15.0 | 15.00 | 20.0  | 30.00 |
| RPP | 25 | -20.0 | 20.0 | -20.0 | 20.00 | -20.0 | 40.00 |
| END |    |       |      |       |       |       |       |
| Z1  |    | +1    |      |       |       |       |       |
| Z2  |    | +3    |      |       |       |       |       |
| Z3  |    | +4    |      |       |       |       |       |
| Z4  |    | +5    |      |       |       |       |       |
| Z5  |    | +6    |      |       |       |       |       |
| Z6  |    | +7    |      |       |       |       |       |
| Z7  |    | +8    |      |       |       |       |       |
| Z8  |    | +9    |      |       |       |       |       |
| Z9  |    | +10   |      |       |       |       |       |
| Z10 |    | +11   |      |       |       |       |       |
| Z11 |    | +12   |      |       |       |       |       |
| Z12 |    | +13   |      |       |       |       |       |
| Z13 |    | +14   |      |       |       |       |       |
| Z14 |    | +15   |      |       |       |       |       |
| Z15 |    | +16   |      |       |       |       |       |
| Z16 |    | +17   |      |       |       |       |       |
| Z17 |    | +18   |      |       |       |       |       |
| Z18 |    | +19   |      |       |       |       |       |
| Z19 |    | +20   |      |       |       |       |       |
| Z20 |    | +21   |      |       |       |       |       |
| Z21 |    | +22   |      |       |       |       |       |
| Z22 |    | +2    | -23  |       |       |       |       |
| Z23 |    | +24   |      |       |       |       |       |
| Z24 |    | +25   | -1   | -2    | -24   |       |       |
| END |    |       |      |       |       |       |       |

## 1. 体系

- 直方体 (RPP) の組み合わせ
- \$NDET-ファントム中で線量計算をする領域数 20
- 人体を一様な水でモデル化 X-, Y-方向 30cm, 深さ 20cm
- ファントム前後に 10cm の空気層

## 2. 線源条件

- 100kV の X 線 (スペクトルデータは、xray.dat から読み込み)
- 点等方線源:位置は、人体表面からの距離 (SPOSI) で指定
- ビームサイズ:人体表面で XHBEAM\*2(5cm) × YHBEAM\*2(5cm) のビーム。XHBEAM 及び YHBEAM は、プログラム中で値を決めている。

## 3. 計算モード

以下の 2 つのモードがある。目的によって切り替えて使用する。

- 飛跡表示システムを使って、飛跡を表示させるためのデータを作成するモード (IMODE=0)  
mortjob.pic に飛跡データを出力

- 多くのヒストリーを使用して線量分布を計算するモード (IMODE=1)  
mortjob.out に結果を出力

#### 4. 得られる情報

##### (a) CGView を使った飛跡表示モード (IMODE=0)

- 飛跡情報 (mortjob.pic)
- コンソール上に、ファントム中心の 1cm × 1cm の領域の深度線量分布 (1cm 単位)
- コンソール上に、後方散乱係数 (ファントム中心の 1cm × 1cm の領域での、ファントムがない場合の照射線量に対するファントムがある場合の照射線量の比)。照射線量は、光子のエネルギー束と空気エネルギー吸収係数から計算

##### (b) 線量分布計算モード

- 使用する物質に関するデータ
- 各リージョンに関する情報
- 定義した平板に関するデータ
- サンプルした X 線スペクトルと xray.dat から読み込んだスペクトルの比較
- ヒストリー数、ビームサイズ
- ファントム中心の 1cm × 1cm の領域の深度線量分布 (1cm 単位)
- 後方散乱係数
- 各リージョンの吸収エネルギー割合

### 3. ユーザーコードの内容

#### 3.1. STEP 1

EGS4 で使用しているマクロをユーザが変更したい場合には、ここに over-ride するマクロを挿入する。Mortran は、同じパターンのマクロがある場合、最も新しいものを採用する。EGS4 で使用するマクロのファイル egs4mac.mortran は、ユーザコードの前に置かれるので、ユーザコードに書かれたマクロはパターンが同じ場合には、EGS4 のマクロを変更し、従って EGS4 そのものを変更する事ができる。Over-ride マクロは、他の場所に置くことも出来るが、まとめておいた方がわかりやすい。

最初のマクロは、乱数を選択するマクロである。RNGEN が 0 の時は、RAN6 を、1 の時は、RANMAR 乱数を使用する。ヒストリー数を多くして、同じ乱数が現れたというメッセージが出た場合には、RANMAR 乱数に切り替える方がよい。

```
REPLACE {$RNGEN} WITH {0}
```

PRESTA で必要なリージョン境界までの最短距離を計算する \$CALL-HOWNEAR マクロは、cgp.mac で定義されているので、ucphantom\_rec1k.mor の様にユーザコードで定義する必要はない。

EGS4 では使用していないが、ユーザコードを簡単にするために定義したマクロがあれば同じくこの Step 1 に書いて置く方がよい。ucphantom\_cgpk.mor では、AUSGAB で score する変数関係の COMMON/TOTAL、ジオメトリに関する COMMON/PASSIT、途中結果の打ち出しに関する COMMON/LINES を COMIN マクロを用いて定義している。

```
"COMMON to define variables to score at AUSGAB"
"IMODE: Calculation mode"
"DEPE:deposited energy inside the detector"
"FAEXP:Exposure without phantom"
"FEXPS:Exposure at phantom surface"
```

```
REPLACE {;COMIN/TOTALS/;} WITH
{;COMMON/TOTALS/IMODE,DEPE($NDET),FAEXP,FEXPS;}
```

```
"COMMON of geometry related parameter"
```

```
REPLACE {;COMIN/PASSIT/;} WITH
{;COMMON/PASSIT/NREG;}
```

```
"COMMON of DISPLAY parameter"
```

```
REPLACE {;COMIN/NFAC/;} WITH
{;COMMON/NFAC/FNORM,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,ZMIN,ZMAX,NPRECI;} "PICT"
```



\$PARAMETER 文は、プログラム中で使用される変数の値を定義している。\$PARAMETER 文を用いて配列の大きさを定義しておく、変更したい場合に、\$PARAMETER 文で指定した値の変更のみで済むので便利である。ucphantom\_cgpk.mor で使用している\$PARAMETER の内、

```
PARAMETER $MATNO=2; "Number of material used 6/18/2002"  
PARAMETER $NDET=20; "Detector number 6/18/2002"  
PARAMETER $NXTYPE=1; "Number of source type."  
PARAMETER $SENBIN=201; "Maximum source energy bin"
```

が、配列の大きさに関連したものである。

次に、メインプログラムで使用する COMMON と DIMENSION 関係の宣言文を置く。EGS4 の COMMON は、マクロの形で定義されているので、必要な COMMON の名前を

```
;COMIN/BOUNDS,DEBUG,EDGE,ELECIN,ETALY1,GEOM,MEDIA,MISC,NFAC,PASSIT,  
THRESH,TOTALS,UPHIOT,USEFUL,USER/;
```

の様に記載する。GEOM は、cgp.mac で定義されており、メインプログラムでも COMIN に加えておく必要がある。NFAC, PASSIT, TOTALS は、このユーザコードで定義したものである。

次に、PEGS4 で計算した物質データを読み込むのに必要な定義を行う。物質名は、PEGS4 で物質データを作る時に指定した物質名で 24 文字で指定するので、MEDARR の最初の配列は、必ず 24 でなければならない。2 番目の配列 \$MATNO はユーザコード中で使用する物質の数に対応しており、PARAMETER 文で指定する。この例では 2 種類であるので 2 である。

UNIT 7, 8 の OPEN 文については、この例に限る事なく各自の好きな名前として良い。UNIT 12 については、egs4runcgp を用いて実行する場合には、mortjob.xse(PC)(又は、mortjob.xsec: UNIX の場合)にするが、この例のように特定の物質データファイルとしても良い。毎回、egs4runcgp から実行するのではなく、egs4runcgp で作られた mortjob.exe から実行する場合には、この方法の方が良い。

UNIT 1 の OPEN 文は、X 線データが、xray.dat ファイルから読み込む事を定義しているものである。

### 3.2. STEP 2

最初に、飛跡表示システムの出力モードを設定する。

CGView を使用する場合には、NPRECI=2 に設定する。

総リージョン数 NREG は、以下のように、CG 入力データから求める様になっている。NPRECI=2 の場合は、CG 入力データから読み込んだデータが、表示用データの最初に出力される。

次に、各リージョンへの物質(物質番号)の設定を行う。NPRECI=2 の場合は、各リージョンの物質番号を、表示用のデータとして出力する。

最後の OUTPUT 文と READ(5,\*) 文は、出力モードをキーボードから入力して決定するルーチンである。

```
NPRECI=2; "0:precision of x-, y-, z-position in 4 digits PICT"  
          "1:precision of x-, y-, z-position in 8 digits PICT"  
          "2:x-,y-,z-position and energy in REAL. IR is added PICT"  
          " Use 2 for CG PICT"  
          " Medium number is output for 2 PICT"  
  
OPEN(9,file='mortjob.pic',status='unknown'); "PICT"  
  
NMED=$MATNO; "Number of medium used"  
DO J=1,NMED [DO I=1,24 [MEDIA(I,J)=MEDARR(I,J);]]  
  
ITBODY=0;  
IRPPIN=0; ISPHIN=0; IRCCIN=0; ITORIN=0; ITRCIN=0;  
IZONIN=0; IZONAD=0;  
ITVERR=0;  
IGMMAX=0;  
  
IFTI = 90;  
IFTO = 6;  
IF(NPRECI.EQ.2) [
```

```

IFTO = 9;
WRITE(9, :FMT00:);
:FMT00:FORMAT('CSTA');
]
CALL GEOMGT(IFTI, IFTO, IGMMA, ITBODY);
IF(NPRECI.EQ.2) [
WRITE(9, :FMT01:);
:FMT01:FORMAT('CEND');
]

NREG=IZONIN;

MED(NREG)=0;    "VACUUM REGIONS"

/MED(1),MED(NREG-1)/=2;    "Air region"
/IRAYLR(1),IRAYLR(NREG-1)/=1;    "Rayleigh scattering option on."

DO I=2,NREG-2 [
MED(I)=2;    "Water phantom"
IRAYLR(I)=1;    "Rayleigh scattering option on."
IEDGFL(I)=1;    "1:Produce fluorescent X-ray"
"                0:Fluorescent X-ray does not produced."
]

IF(NPRECI.EQ.2) [
WRITE(9, :FMT02:);
:FMT02:FORMAT('MSTA');
WRITE(9, :FMT03:) NREG; :FMT03:FORMAT(I4);
WRITE(9, :FMT04:) (MED(I), I=1, NREG); :FMT04:FORMAT(15I4);
WRITE(9, :FMT05:);
:FMT05:FORMAT('MEND');
]

OUTPUT; (' Key in mode. 0:trajectory display, 1:dose calculation');
READ(5,*) IMODE;

```

PEGS4で物質データを作成する場合に、AEおよびAPでカットオフエネルギーを決めている。粒子のエネルギーがAEやAP以下になると追跡を止め、粒子の持つエネルギーがその場所で吸収された扱いになる。またAE以下の二次電子を生じる散乱とAP以下の光子を生じる制動輻射は、個別の粒子として扱わず電子/陽電子の移動に伴う連続エネルギー減衰に含めている。ユーザコードにおいてECUT, PCUTを定義しない場合には、自動的にAE, APが割り当てられる。AE, APよりも高い値にECUT, PCUTを設定した場合には「連続減衰についてはAE, APを適用するが、粒子がECUT, PCUT以下になるとその場で計算を終了する」事になる。

3.2.1. オプションの設定: EGS4がリリースされて以降様々な改良がなされ、マクロの形で組み込まれている。多くの場合、当該フラグの変数に値を設定する事により適用されるようになっている。本ユーザコードでは、適用していないが、重要なものについて、簡単に紹介する。

#### 1. 制動輻射の放出角度 [1]

デフォルトでは、クリティカルアングル ( $= m_0/E_0$  radian;  $m_0$ :電子の静止エネルギー、 $E_0$ :電子の全エネルギー) に放出される様になっている。クリティカルアングル内でサンプリングするには、IBRDST=1; とすれば良い。

```

"THE FOLLOWING REPLACES THE EGS4 DEFAULT $SET-BREMS-ANGLE MACRO  "
"IT'S USE REQUIRES AN ASSOCIATE MACRO $SET-BREM-REJECTION-FUNCTION"
"DEFINED BELOW                                                    "
"                                                                    "
"USAGE: IBRDST=0 => EGS4 DEFAULT ANGLE SELECTION                "
"        IBRDST=1 => KOCH AND MOTZ (1959) EQ. 2BS ANGLE SELECTION "

```

このフラグを設定するためには、メインルーティンにCOMIN/BREMPRR/;が含まれていなければならない。

## 2. 電子対生成で発生する電子・陽電子の角度分布 [2]

電子対生成で発生する電子・陽電子の放出角度についても、制動輻射と同じ扱いがされている。より、厳密な扱いを行う場合には、IPRDST に該当する値を設定する。

```
"USAGE: IPRDST=0 => EGS4 DEFAULT ANGLE SELECTION      "  
"          IPRDST=1 => LOWEST ORDER ANGULAR DISTRIBUTION  "  
"          "  
"          d(Probability)          sin(theta)          "  
"          ----- = -----          "  
"          d(theta)          2*P[E_total - P*cos(theta)]**2  "  
"          "  
"          IPRDST=2 => MOTZ, OLSEN AND KOCH (1969) EQ. 3D-2003  "  
"          IF IPRDST IS NON-ZERO AND E_PHOTON < $BHPAIR  "  
"          THE IPRDST=1 DISTRIBUTION IS USED          "
```

このフラグを設定するためには、メインルーティンに COMIN/BREMPRR/; が含まれていなければならない。

## 3. 光電子の角度分布 [3]

デフォルトでは、光電子は元の光子と同じ方向に放出される。光電子の放出角度分布を厳密に扱いたい場合には、IPHTER を設定する。IPHTER の場合は、IEDGFL と同様、リージョン毎に設定する。

```
"          IPHTER          REGION DEPENDENT ARRAY FOR SWITCHING ON  "  
"          PHOTOELECTRON ANGULAR DISTRIBUTION          "  
"          DEFAULT(0)-NO SAMPLING, (1)-SAMPLING          "
```

このフラグを設定するためには、メインルーティンに COMIN/USER/; が含まれていなければならない。

## 4. 制動輻射 Splitting[1]

制動輻射の発生頻度が低いとその寄与が重要な問題の場合には、制動輻射 Splitting を使用すると有効な場合がある。制動輻射 Splitting を適用するには、IBRSPL=1; に設定すると共に、Splitting 数,NBRSPL, を指定する必要がある。

```
"THIS MACRO PLACES ADDITIONAL BREMSSTRAHLUNG PHOTONS ON THE STACK  "  
"RESETTING PARTICLE WEIGHTS TO MAKE THE GAME FAIR. THREE USER INPUTS"  
"ARE REQUIRED:          "  
"          "  
"IBRSPL = 0 => NO ADDITIONAL BREMSSTRAHLUNG PHOTONS (DEFAULT)  "  
"          = 1 => PERFORM BREMSSTRAHLUNG SPLITTING          "  
"NBRSPL = NUMBER OF BREMSSTRAHLUNG PHOTONS CREATED/INTERACTION  "  
"FBRSP = 1/NBRSPL (USED TO ADJUST THE PARTICLE WEIGHTS)          "  
"          "  
"NBRSPL AND FBRSP ARE CHANGED DYNAMICALLY IF STACK OVERFLOW MIGHT  "  
"OCCUR          "  
"          "  
"THIS MACRO IS INVOKED AFTER THE FIRST CALL THE SUBROUTINE BREMS  "
```

このフラグを設定するためには、メインルーティンに COMIN/BREMPRR/; が含まれていなければならない。

### 3.3. STEP 3

SUBROUTINE HATCH を CALL して、物質データを読み込むのがこの step の機能である。使用している物質のデータ(名前、密度、放射長、エネルギーの下限、上限)の打ち出し、各リージョンの物質名、カットオフエネルギーの打ち出しは、必ずしも必要ではないが、確認のために打ち出した方がよい。本ユーザーコードでは、線量計算モードの時に、出力するように設定している。

### 3.4. STEP 4

CG-PRESTA を使用する場合は、幾何形状は、CG 入力データで規定するので、通常のような面、円筒、球等の設定は必要ない。

ここでは、線源の位置をキー入力するルーチンのみが書かれている。

### 3.5. STEP 5

AUSGAB での使用する変数の初期化を行う。エネルギー保存のチェックを行うサブルーチンである ECNSC1 を使用しているため、ここで初期化している。

```
CALL ECNSV1(0,NREG,TOTKE);" INITIALIZE ESUM ARRAY FOR ENERGY"
" CONSERVATION CALCULATION."
" NREG=NUMBER OF REGIONS"
" TOTKE=TOTAL KE (DUMMY VARIABLE HERE)"
" (MUST BE REAL*8)"

DO NNN=1,$NDET [
/DEPE(NNN),DEPEH(NNN),DEPEH2(NNN)/=0.0;]

/FAEXP,FAEXPS,FAEXP2S,FEXPS,FEXPSS,FEXPS2S/=0.0;

DO I=1,$SENBIN [
SASPEC(I)=0.0;
]
```

### 3.6. STEP 6

入射粒子のパラメータを設定する。本ユーザーコードでは、xray.dat から読み込んだ 100kV の X 線スペクトルを使用しているため、データの読み込みと、累積分布関数 (CDF) を求めるルーチンが含まれている。読み込むデータは、ビン数 (NOFEBIN)、ビンのエネルギー幅 (DELTAE:MeV 単位)、各ビンの X 線数 (SSPEC) である。

ヒストリー数 (NCASES) は、コンソールから入力するようになっている。NCASES の値として、0 を入力すると計算が終了する。0 以外の値を入力すると、新たなバッチとして処理される。

ファントム表面での照射野の半値幅 (XHBEAM, YHBEAM) を変更する場合には、これらの値を設定している箇所を変更する。

\$RNG-INITIALIZATION; は、Ranmar 乱数を使用する場合に、初期化を行うマクロである。

```
III=0;
IQI=0;

DO IXTYPE=1,$NXTYPE [
READ(1,*) NOFEBIN(IXTYPE);
READ(1,*) DELTAE(IXTYPE);
READ(1,*) (SSPEC(IXTYPE,IE),IE=1,NOFEBIN(IXTYPE));
"Source X-ray spectrum of IXTYPE"]

:X-RAY TYPE:
OUTPUT;' Key in source type. 1:100kV';
READ(5,*) IXTYPE;

IF(IXTYPE.EQ.0.OR.IXTYPE.GT.$NXTYPE) [
OUTPUT;' IXTYPE must be >0 <= $NXTYPE. ';
GO TO :X-RAY TYPE;]

"Create CDF from spectrum"
NSEBIN=NOFEBIN(IXTYPE);
TNUM=0.0;
DO IE=1,NSEBIN [
TNUM=TNUM+SSPEC(IXTYPE,IE);
]

ECDF(1)=0.0;
DO IE=2,NSEBIN [
```

```

ECDF(IE)=ECDF(IE-1)+SSPEC(IXTYPE,IE)/TNUM;
]

"Create Energy bin"
DO IE=1,NSEBIN [
EBIN(IE)=(IE-1)*DELTAE(IXTYPE);
]

XI=0.0; YI=0.0; ZI=-SPOSI; "Coordinates of incident particle"
UI=0.0; VI=0.0; WI=1.0; "Direction cosines---along Z-axis"

XHBEAM=2.5; "Half width of beam in X-direction"
YHBEAM=2.5; "Half width of beam in Y-direction"
RADMA2=XHBEAM*XHBEAM+YHBEAM*YHBEAM;
WIMIN=SPOSI/SQRT(SPOSI*SPOSI+RADMA2);

WTI=1.0; "Weight factor---not used in calculation, but is "
" a parameter in SUBROUTINE SHOWER; hence define as unity"
ICODE=-1; "An outputting parameter, invented to mark the "
" incident particles"

"Define IXX"
IXXST=987654321;
IXX=IXXST; "Random number generator seed"

$RNG-INITIALIZATION;

ECUTMN=ECUT(3); EKO=EBIN(NSEBIN); "*PRESTS*"
$PRESTA-INPUTS; "INPUT the *PRESTA* VARIABLES"

TOTKE=0.0;
:NEW-CASES:
OUTPUT;(' Key in number of cases (0 means end of calculation.)');
READ(5,*) NCASES;
IF(NCASES.EQ.0) GO TO :End of Run:;

```

3.6.1. X線源の種類を増やす方法: ucphantom\_cgpk.mor では、X線スペクトルは、1個しかないが、複数の線源を用意したい場合には、以下のようにする。

1. PARAMETER \$NXTYPE=1; "Number of source type." 中の、1を使用する X線源の数に変更する。
2. PARAMETER \$SENBIN=201; "Maximum source energy bin" の 201 を、使用する X線源中で、最も多いビン数 (NOFEBIN) に変更する。
3. xray.dat に、新たな線源に関するデータ (ビン数 (NOFEBIN)、ビンのエネルギー幅 (DELTAE:MeV 単位)、各ビンの X線数 (SSPEC)) を追加する。
4. X線源を選択する部分 (ユーザーコードの 372-374 行目) を変更する。例えば、60kV, 80kV 及び 100kV から選択する場合 (スペクトルデータは、60kV, 80kV, 100kV の順に書かれているとする) には、

```

:X-RAY TYPE:
OUTPUT;(' Key in source type. 1:100kV');
READ(5,*) IXTYPE;

```

を、

```

:X-RAY TYPE:
OUTPUT;(' Key in source type. 1:60kV, 2:80kV, 3:100kV');
READ(5,*) IXTYPE;

```

に変更する。

5. 出力部で、線源に関する部分を変更する。

```

WRITE(7,:FMT11:) SPOSI;
:FMT11:
FORMAT(///' Absorbed energy inside phantom for 100 kV X-ary'/
' Source position ',F10.1,' cm from phantom surface'/
' Within 1cm x 1cm area after 10 cm air');

```

を、

```

IF(IXTYPE.EQ.1) [IXEN=60;]
ELSEIF(IXTYPE.EQ.2) [IXEN=80;]
ELSE [IXEN=100;]
WRITE(7,:FMT11:) IXEN,SPOSI;
:FMT11:
FORMAT(///' Absorbed energy inside phantom for ',I4,'kV X-ary'/
' Source position ',F10.1,' cm from phantom surface'/
' Within 1cm x 1cm area after 10 cm air');

```

に変更する。

### 3.7. STEP 7

設定したヒストリー数だけ SUBROUTINE SHOWER を CALL し、EGS4 を使用する部分である。ucphantom\_cgpk.mor では、SPOSI の位置に、等方線源があり、そこから照射野内に、エネルギー分布を持った X 線が出るので、線源光子の方向、エネルギーを決めるルーチンが加わっている。線源の位置が、ファントム表面から 10cm 未満の場合は、-SPOSI が、ZI の値となり、XI=0.0; YI=0.0 となるが、10cm より大きい場合には、空気層の前面位置での X-, Y- 座標を計算し、XI, YI の値とする。最初のリージョンは、前面の空気層なので、常に IRI=1 である。

エネルギーのサンプリングをチェックするために、決定した光子のスペクトルを求めるルーチンが加わっている。ヒストリー毎に、光子のエネルギーが異なるので、体系に入射した全運動エネルギーは、サンプリングされた光子のエネルギーを加えて計算している。

```

DO J=1,NCASES [
"Determine direction of source"
:ANGLE:
$RANDOMSET WO;
WI=WO*(1.0-WIMIN)+WIMIN;
$RANDOMSET PHAIO;
PHAI=PI*(2.0*PHAIO-1.0);
SINTH=SQRT(1.0-WI*WI);
UI=COS(PHAI)*SINTH;
VI=SIN(PHAI)*SINTH;

DIS=SPOSI/WI; "Distance between source and pahntom surface"
XPF=DIS*UI;  "X position at phantom surface"
YPF=DIS*VI;  "Y position at phantom surface"

IF(ABS(XPF).GT.XHBEAM.OR.ABS(YPF).GT.YHBEAM) GO TO :ANGLE:;

IF(SPOSI.GT.10.0) [
DISAIR=(SPOSI-10.0)/WI; "Distance between source and air surface"
XI=DISAIR*UI;  "X position at air surface"
YI=DISAIR*VI;  "Y position at air surface"
ZI=-10.0;]
ELSE [/XI,YI/=0.0; ZI=-SPOSI;]

IRI=1;

"Determine source energy from CDF"
$RANDOMSET EIO;
DO IE=2,NSEBIN [
IF(EIO.LT.ECDF(IE)) [GO TO :ENERGY-CAL:;]
]

```

```

:ENERGY-CAL:
IF(IE.GT.NSEBIN) [IE=NSEBIN;]
SASPEC(IE)=SASPEC(IE)+1.0;

EI=EBIN(IE-1)+(EIO-ECDF(IE-1))*(EBIN(IE)-EBIN(IE-1))/
(ECDF(IE)-ECDF(IE-1));

EKIN=EI+IQI*PRM; "K.E. of particle---PRM is the electron rest mass"

TOTKE=TOTKE+EKIN;

LATCHI=0;

CALL SHOWER(IQI,EI,XI,YI,ZI,UI,VI,WI,IRI,WTI);

"Add absorbed energy per incident and it square"
DO KKK=1,$NDET [
DEPEH(KKK)=DEPEH(KKK)+DEPE(KKK);
DEPEH2(KKK)=DEPEH2(KKK)+DEPE(KKK)*DEPE(KKK);
DEPE(KKK)=0.0;]

"Add exposure with and without phantom and its square"
FAEXPS=FAEXPS+FAEXP;
FAEXP2S=FAEXP2S+FAEXP*FAEXP;
FAEXP=0.0;

FEXPSS=FEXPSS+FEXPS;
FEXPS2S=FEXPS2S+FEXPS*FEXPS;
FEXPS=0.0;

"END OF SHOWER-CALL LOOP"
]

```

3.7.1. 統計誤差:  $x$  をモンテカルロ計算で計算したい量(スコアする量)とする。モンテカルロ計算の結果には、その統計誤差が必要である。ucphantom\_cgpk.mor では、次のような MCNP で使用している方法を採用している。

- ヒストリー数を  $N$  とする。
- $x_i$  を  $i$  番目のヒストリーの結果とする。
- $x$  の平均値を計算する:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

- $x_i$  の分散値を以下の式から求める。:

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \simeq \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad (\overline{x^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2). \quad (2)$$

- $\bar{x}$  の分散値は、

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{N} s^2 \simeq \frac{1}{N} [\overline{x^2} - \bar{x}^2] \quad (3)$$

となる。

- 統計誤差として、

$$R = s_{\bar{x}}/\bar{x} \simeq \left[ \frac{1}{N} \left( \frac{\overline{x^2}}{\bar{x}^2} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (4)$$

を用いる。

このために、ヒストリー毎に、計算すべき量とその自乗の値を保存している。

### 3.8. STEP 8

得られた結果を処理して打ち出す処理を行う。線量計算モードの場合には、最初に、サンプリングした X 線のスペクトルと、元の X 線スペクトルとの比較を出力し、その後、線源の条件 (線源のタイプ、位置)、ヒストリー数を出力する。

```
DO IE=2,NSEBIN [
SASPEC(IE)=SASPEC(IE)/FLOAT(NCASES);
]

IF(IMODE.NE.0) [
WRITE(7,:FMT09:);
:FMT09:
FORMAT(//' Comparison between sampled spectrum and original data'/
23X,' Sampled Probability',25X,' Sampled Probability');
DO IE=2,NSEBIN,2 [
WRITE(7,:FMT10:) EBIN(IE),SASPEC(IE),ECDF(IE)-ECDF(IE-1),EBIN(IE+1),
SASPEC(IE+1),ECDF(IE+1)-ECDF(IE);
:FMT10:FORMAT(1X,G9.3,' MeV(upper)-- ',2G12.5,3X,
'); ',G9.3,' MeV(upper)-- ',2G12.5);
]

WRITE(7,:FMT11:) SPOSI;
:FMT11:
FORMAT(///' Absorbed energy inside phantom for 100 kV X-ary'/
' Within 1cm x 1cm area after ',F10.1,' cm air');
WRITE(7,:FMT12:) NCASES, XHBEAM,YHBEAM;
:FMT12:FORMAT(1X,I8,' photons normally incident from front side'/
' Half width of beam is ',G15.5,'cm for X and ',G15.5,'cm for Y');]
```

その後、計算したい量である、中心部分のファントム内 1cm 毎の線量、後方散乱係数をそれぞれの誤差を求めて、出力する。

線量計算モードで、計算が終了した場合には、ECNSV1 の最終結果を出力する。

### 3.9. SUBROUTINE AUSGAB

AUSGAB は、ユーザが求める情報をスコアするサブルーチンである。

線量計算を行う領域は、リージョン 2 から 21 であるので、IRL が該当するリージョンの場合にのみ、IDET=IRL-1; を検出器番号として、吸収線量を計算する。

次に、光子が、ファントム表面を横切った場合かどうかの判定を行い、横切ったと判断した場合には、面エネルギー束と空気のエネルギー吸収計数から、ファントム表面での空気吸収線量を計算する。光子が、Z 軸に対して逆に進んだことがない場合 (ファントムが無い場合のファントム表面位置) には、同様な方式で、ファントム無しの場合の空気吸収線量を計算する。この計算のため、W(NP) が負になった場合には、LATCH(NP) を 1 にセットし、ファントム無しの計算に加えないようにしている。

飛跡表示モードの場合は、粒子の情報を記録する SUBROUTINE を呼ぶ。

```
IRL=IR(NP);
DPWT=WT(NP);

"KEEP TRACK OF THE ENERGY DEPOSITION---FOR CONSERVATION PURPOSES"
ESUM(IQ(NP)+2,IRL,IARG+1)=ESUM(IQ(NP)+2,IRL,IARG+1)+EDEP*DPWT;

IF(W(NP).LT.0.0) [LATCH(NP)=1;]

IF(IRL.GE.2.AND.IRL.LE.21) [
"Detector region"
IDET=IRL-1;
IF(IDET.GT.0.AND.IDET.LE.$NDET) [
DEPE(IDET)=DEPE(IDET)+EDEP/RHOR(IRL);
]

"IF(IRL.NE.IROLD.AND.IQ(NP).EQ.0) [ photon cross plane"
"Changed not to include photons from detection plane. 8/23/2002 HH"
IF((IRL.NE.IROLD).AND.IQ(NP).EQ.0) ["photon cross plane"
IF((W(NP).GT.0.0.AND.IRL.EQ.2).OR.(W(NP).LE.0.0.AND.IROLD.EQ.2)) [
"Calculate exposure at phantom surface"
IF(ABS(W(NP)).GE.0.0349) [CMOD=ABS(W(NP));]
```



```

ELSE [CMOD=0.01745;]
ESING=E(NP);
DCON=ENCOEA(ESING); "PHOTX data"
FEXPS=FEXPS+E(NP)*DCON*DPWT/CMOD;
IF(W(NP).GT.0.0.AND.LATCH(NP).EQ.0) [
  FAEXP=FAEXP+E(NP)*DCON*DPWT/CMOD;]
]]
]

IF(IMODE.EQ.0) [
CALL PLOTXYZ(IARG,NP,IQ(NP),X(NP),Y(NP),Z(NP),E(NP),IR(NP),WT(NP)); "PICT"
]

```

### 3.10. SUBROUTINE HOWFAR

HOWFAR は、粒子の進行方向でのリージョン境界までの距離を計算し、反応点までの距離との比較をし、境界までの距離の方が短い場合には粒子の移動距離を境界までの距離に置き換え、リージョンが変わるという処理を行うサブルーチンであるが、CG-PRESTA の場合は、専用のサブルーチンが使用されるので、ユーザーコードには含まない。

## 4. ucphantom\_rec1k.mor と ucphantom\_cgpk.mor の計算速度の比較

複雑な形状の計算を行う場合には、CG は、相対的に容易であるが、反面、マクロを用いた HOWFAR に比べ、計算時間が長いという問題がある。対象とする問題によって、違いは異なるが、ucphantom\_rec1k.mor と ucphantom\_cgpk.mor で全く同じ条件の計算を行うと、ucphantom\_rec1k.mor の方が 9.5 倍速いという結果が得られている。

## 5. 実習課題

### 5.1. 実習課題 1 : 線源を Cs-137 に変更する

1. 各ヒストリー毎のエネルギー決定部分を削除し、単に EI=0.662; とする
2. 出力部分に、Cs-137 ガンマ線であるという説明を加える

### 5.2. 実習課題 2 : 線源を Co-60 に変更する

1. 各ヒストリー毎に、乱数を 1 個発生し、0.5 に等しいか、小さい場合には、EI=1.173; に 0.5 より大きい場合には、EI=1.332; になるように変更する
2. 出力部分に、Co-60 のガンマ線であるという説明を加える

### 5.3. 実習課題 3 : 肺のモデルに変更する

1. 前面から 3cm を通常の人体組織、3-13cm を肺 (密度  $0.3\text{g/cm}^3$ ) とし、その背後の 3cm の人体組織があるとする。
  - 新たな body26 を追加し、3-13cm で線量計算領域以外の部分をリージョン 23 とし、それ以降のリージョン番号を 1 ずつ増やす。

|     |    |       |      |       |      |       |       |
|-----|----|-------|------|-------|------|-------|-------|
| RPP | 1  | -15.0 | 15.0 | -15.0 | 15.0 | -10.0 | 0.00  |
| RPP | 2  | -15.0 | 15.0 | -15.0 | 15.0 | 0.0   | 20.0  |
| RPP | 3  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 0.0   | 1.00  |
| RPP | 4  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 1.0   | 2.00  |
| RPP | 5  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 2.0   | 3.00  |
| RPP | 6  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 3.0   | 4.00  |
| RPP | 7  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 4.0   | 5.00  |
| RPP | 8  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 5.0   | 6.00  |
| RPP | 9  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 6.0   | 7.00  |
| RPP | 10 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 7.0   | 8.00  |
| RPP | 11 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 8.0   | 9.00  |
| RPP | 12 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 9.0   | 10.00 |
| RPP | 13 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 10.0  | 11.00 |

|     |    |       |      |       |      |       |       |
|-----|----|-------|------|-------|------|-------|-------|
| RPP | 14 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 11.0  | 12.00 |
| RPP | 15 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 12.0  | 13.00 |
| RPP | 16 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 13.0  | 14.00 |
| RPP | 17 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 14.0  | 15.00 |
| RPP | 18 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 15.0  | 16.00 |
| RPP | 19 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 16.0  | 17.00 |
| RPP | 20 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 17.0  | 18.00 |
| RPP | 21 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 18.0  | 19.00 |
| RPP | 22 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 19.0  | 20.00 |
| RPP | 23 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 0.0   | 20.00 |
| RPP | 24 | -15.0 | 15.0 | -15.0 | 15.0 | 20.0  | 30.00 |
| RPP | 25 | -20.0 | 20.0 | -20.0 | 20.0 | -20.0 | 40.00 |
| RPP | 26 | -15.0 | 15.0 | -15.0 | 15.0 | 3.0   | 13.00 |
| END |    |       |      |       |      |       |       |
| Z1  |    | +1    |      |       |      |       |       |
| Z2  |    | +3    |      |       |      |       |       |
| Z3  |    | +4    |      |       |      |       |       |
| Z4  |    | +5    |      |       |      |       |       |
| Z5  |    | +6    |      |       |      |       |       |
| Z6  |    | +7    |      |       |      |       |       |
| Z7  |    | +8    |      |       |      |       |       |
| Z8  |    | +9    |      |       |      |       |       |
| Z9  |    | +10   |      |       |      |       |       |
| Z10 |    | +11   |      |       |      |       |       |
| Z11 |    | +12   |      |       |      |       |       |
| Z12 |    | +13   |      |       |      |       |       |
| Z13 |    | +14   |      |       |      |       |       |
| Z14 |    | +15   |      |       |      |       |       |
| Z15 |    | +16   |      |       |      |       |       |
| Z16 |    | +17   |      |       |      |       |       |
| Z17 |    | +18   |      |       |      |       |       |
| Z18 |    | +19   |      |       |      |       |       |
| Z19 |    | +20   |      |       |      |       |       |
| Z20 |    | +21   |      |       |      |       |       |
| Z21 |    | +22   |      |       |      |       |       |
| Z22 |    | +2    | -23  | -26   |      |       |       |
| Z23 |    | +26   | -23  |       |      |       |       |
| Z24 |    | +24   |      |       |      |       |       |
| Z25 |    | +25   | -1   | -2    | -24  |       |       |
| END |    |       |      |       |      |       |       |

- ファントム前面から、3cm-13cm の領域 (リージョン 5-14,23) の密度を 0.3 にする

```
DO I=2,NREG-2 [
MED(I)=1; "Water phantom"
IF((I.GE.5.AND.I.LE.14).OR.I.EQ.23) [RHOR(I)=0.3;]
]
```

#### 5.4. 実習課題 4 : 腫瘍を含む肺

1. 肺の前面から 3cm の位置に、厚さ 2cm の腫瘍を設定する。密度を通常の水とする。
  2. 腫瘍は、X-, Y-方向全域に広がっていると仮定する
- 新たな body27 を追加し、線量計算領域以外の腫瘍部をリージョン 24 とする。リージョン 23 からこの部分を除外する。以降のリージョン番号を 1 ずつ増やす。

|     |    |       |      |       |      |       |      |
|-----|----|-------|------|-------|------|-------|------|
| RPP | 1  | -15.0 | 15.0 | -15.0 | 15.0 | -10.0 | 0.00 |
| RPP | 2  | -15.0 | 15.0 | -15.0 | 15.0 | 0.0   | 20.0 |
| RPP | 3  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 0.0   | 1.00 |
| RPP | 4  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 1.0   | 2.00 |
| RPP | 5  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 2.0   | 3.00 |
| RPP | 6  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 3.0   | 4.00 |
| RPP | 7  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 4.0   | 5.00 |
| RPP | 8  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 5.0   | 6.00 |
| RPP | 9  | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 6.0   | 7.00 |
| RPP | 10 | -0.5  | 0.5  | -0.5  | 0.5  | 7.0   | 8.00 |

```

RPP 11 -0.5      0.5      -0.5      0.5      8.0      9.00
RPP 12 -0.5      0.5      -0.5      0.5      9.0      10.00
RPP 13 -0.5      0.5      -0.5      0.5     10.0     11.00
RPP 14 -0.5      0.5      -0.5      0.5     11.0     12.00
RPP 15 -0.5      0.5      -0.5      0.5     12.0     13.00
RPP 16 -0.5      0.5      -0.5      0.5     13.0     14.00
RPP 17 -0.5      0.5      -0.5      0.5     14.0     15.00
RPP 18 -0.5      0.5      -0.5      0.5     15.0     16.00
RPP 19 -0.5      0.5      -0.5      0.5     16.0     17.00
RPP 20 -0.5      0.5      -0.5      0.5     17.0     18.00
RPP 21 -0.5      0.5      -0.5      0.5     18.0     19.00
RPP 22 -0.5      0.5      -0.5      0.5     19.0     20.00
RPP 23 -0.5      0.5      -0.5      0.5      0.0     20.00
RPP 24 -15.0     15.0     -15.0     15.0     20.0     30.00
RPP 25 -20.0     20.0     -20.0     20.0    -20.0     40.00
RPP 26 -15.0     15.0     -15.0     15.0      3.0     13.00
RPP 27 -15.0     15.0     -15.0     15.0      6.0      8.00
END
Z1          +1      -2
Z2          +3
Z3          +4
Z4          +5
Z5          +6
Z6          +7
Z7          +8
Z8          +9
Z9          +10
Z10         +11
Z11         +12
Z12         +13
Z13         +14
Z14         +15
Z15         +16
Z16         +17
Z17         +18
Z18         +19
Z19         +20
Z20         +21
Z21         +22
Z22         +2  -23  -26
Z23         +26 -23  -27
Z24         +27  -23
Z25         +24
Z26         +25 -1  -2  -24
END

```

- 密度を変更する部分から腫瘍の部分を除く。

```

DO I=2,NREG-2 [
MED(I)=2; "Water phantom"
IF((I.GE.5.AND.I.LE.7).OR.(I.GE.10.AND.I.LE.14).OR.I.EQ.23)
[RHOR(I)=0.3;]
]

```

## 5.5. 実習課題5：金属の挿入

1. ファントムから 5cm-6cm の領域を鉄に変えて、変化を調べる。

- pgs4 で、鉄の物質データを作成する (FE-IAPRIM という名前を付けるとする。)
- 作成した物質データを body.k.dat に追加する (配布の body.k には、既に鉄のデータが含まれているので、この部分は、省略する。)
- ユーザーコードで使用する物質として、作成した鉄を追加

```

PARAMETER $MATNO=3;
.....
$TYPE MEDARR(24,$MATNO);
DATA MEDARR/($S'WATER-IAPRIM-PHOTX',6* ' ',
             $S'AIR-AT-NTP-IAPRIM',7* ' ',
             $S'FE-IAPRIM',15* ' ');

NMED=$MATNO; "Number of medium used"
DO J=1,NMED [DO I=1,24 [MEDIA(I,J)=MEDARR(I,J);]]

```

- 演習問題3で追加した body26 を変更する。

```

RPP 1 -15.0 15.0 -15.0 15.0 -10.0 0.00
RPP 2 -15.0 15.0 -15.0 15.0 0.0 20.0
RPP 3 -0.5 0.5 -0.5 0.5 0.0 1.00
RPP 4 -0.5 0.5 -0.5 0.5 1.0 2.00
RPP 5 -0.5 0.5 -0.5 0.5 2.0 3.00
RPP 6 -0.5 0.5 -0.5 0.5 3.0 4.00
RPP 7 -0.5 0.5 -0.5 0.5 4.0 5.00
RPP 8 -0.5 0.5 -0.5 0.5 5.0 6.00
RPP 9 -0.5 0.5 -0.5 0.5 6.0 7.00
RPP 10 -0.5 0.5 -0.5 0.5 7.0 8.00
RPP 11 -0.5 0.5 -0.5 0.5 8.0 9.00
RPP 12 -0.5 0.5 -0.5 0.5 9.0 10.00
RPP 13 -0.5 0.5 -0.5 0.5 10.0 11.00
RPP 14 -0.5 0.5 -0.5 0.5 11.0 12.00
RPP 15 -0.5 0.5 -0.5 0.5 12.0 13.00
RPP 16 -0.5 0.5 -0.5 0.5 13.0 14.00
RPP 17 -0.5 0.5 -0.5 0.5 14.0 15.00
RPP 18 -0.5 0.5 -0.5 0.5 15.0 16.00
RPP 19 -0.5 0.5 -0.5 0.5 16.0 17.00
RPP 20 -0.5 0.5 -0.5 0.5 17.0 18.00
RPP 21 -0.5 0.5 -0.5 0.5 18.0 19.00
RPP 22 -0.5 0.5 -0.5 0.5 19.0 20.00
RPP 23 -0.5 0.5 -0.5 0.5 0.0 20.00
RPP 24 -15.0 15.0 -15.0 15.0 20.0 30.00
RPP 25 -20.0 20.0 -20.0 20.0 -20.0 40.00
RPP 26 -15.0 15.0 -15.0 15.0 5.0 6.00
END

```

- 鉄のリージョン (7, 8, 23) の物質割り当てを変更する

```

DO I=2,NREG-2 [
MED(I)=1; "Water phantom"
IF(I.EQ.7.OR.I.EQ.8.OR.I.EQ.23) [MED(I)=3; "Fe region"]
]

```

## 5.6. その他

上記に加えて、以下のような試みも考えられる。

- 線源として、他のエネルギーの X 線を使用する
- 光子だけでなく、電子入射の可能にする
- 挿入した金属の厚さを 1cm と異なる厚さにする
- 腫瘍の面積を限定する

## References

- [1] T. Torii and T. Sugita, "Development of PRESTA-CG Incorporating Combinatorial Geometry in EGS4/PRESTA", *JNC TN1410 2002-201*, Japan Nuclear Cycle Development Institute (2002).
- [2] A. F. Bielajew, R. Mohan and C. S. Chui, "Improved bremsstrahlung photon angular sampling in the EGS4 code system," National Research Council of Canada Report PIRS-0203(1989).
- [3] A. F. Bielajew, "Improved angular sampling for pair production in the EGS4 code system," National Research Council of Canada Report PIRS-0287(1991).
- [4] A. F. Bielajew and D. W. O. Rogers, "Photoelectron angular distribution in the EGS4 code system," National Research Council of Canada Report PIRS-0058(1986).

## Appendix 1 Full listings of ucphantom\_cgpk.mor

```

!INDENT C6;
!INDENT M3;
!INDENT F2;
"*****"
"***** High Energy Accelerator Research "
"***UCPHANTOM_CGPK      *** Organization (KEK) "
"***** EGS4 USER CODE -- 11 Aug 2003/1800"
"*****"
"Programmer: H.Hirayama (KEK) "
"ucphantom geometry using PRESTA-CG. "
"mortjob.pic is used as the trajectory file for Cgview. "
"EGS4 user's code to simulate irradiation of phantom. "
"28NOV2001: PLOTXYZ is modified to correct the treatment of "
"  discarded particle. "
"31OCT2002: PLOTXYZ is modified to set a particle energy to that of "
"  starting point of each line. "
"15JAN2003: Revised to output in REAL (NPREC=2) for CG. "
"  IR is added to argument and output. Y. Namito "
"21APR2003: WT is added to argument and output Y. Namito "
"*****"
%C80
!NEWCONDITIONAL;

"STEP 1. USER-OVER-RIDE-OF-EGS-MACROS"

"-----"
"Select random number generator: 0=RAN6 1=RANMAR "
"RANMAR is a Lagged-Fibonacci Method pseudo random number generator"
"devised by George Marsaglia and Arif Zaman. "
"-----"
REPLACE {$RNGEN} WITH {0}

REPLACE {;COMIN/RANDOM/;} WITH {
  {SETR B=$RNGEN}
  [IF] {COPY B}=0 [
    ;COMMON/RANDOMR/URNDRM(97), IXX, IXXST;
  ]
  [IF] {COPY B}=1 [
    "This is ranmar correlations (SID 1.8 last edited 18 Dec 1996)"
    " by Alex F Bielajew "
    "RANDOM VARIABLE COMMON"
    "RANDOM, RANNDM1, RANDM2 ARE SHADOW AREAS USED FOR CORRELATIONS"
    ;COMMON/RANDOMM/URNDRM(97), CRNDM, CDRNDM, CMRNDM, IXX, JXX, IDUM2 ;
    COMMON/RANDOM/UDMO(97), CDMO, CDDMO, CMDMO, IXXDMO, JXXDMO;
    COMMON/RANDM1/UDM1(97), CDM1, CDDM1, CMDM1, IXXDM1, JXXDM1;
    COMMON/RANDM2/UDM2(97), CDM2, CDDM2, CMDM2, IXXDM2, JXXDM2;
    REAL URNDM, CRNDM, CDRNDM, CMRNDM, UDMO, CDMO, CDDMO, CMDMO, UDM1, CDM1,
    CDDM1, CMDM1, UDM2, CDM2, CDDM2, CMDM2, r4opt;
    INTEGER IXX, JXX, IDUM2, IXXDMO, JXXDMO, IXXDM1, JXXDM1, IXXDM2, JXXDM2,
    IXXIN, JXXIN;
  ]
}

REPLACE {$RANDOMSET#;} WITH {
  {SETR B=$RNGEN}
  [IF] {COPY B}=0 [
    IXX=IXX*663608941; {P1}=IXX*0.23283064E-09; IF (IXX.LT.0) {P1}={P1}+1.0;
    IF (IXX.EQ.IXXST) [OUTPUT; (' WARNING !'/
    ' Same random number will be produced.'/
    ' It is better to use RANMAR random number generator.')]
  ]
  [IF] {COPY B}=1 [
    {P1}=URNDRM (IXX)-URNDRM (JXX); IF ({P1}.LT.0.) {P1}={P1}+1.;
    URNDM (IXX) = {P1};
    IXX=IXX-1; IF (IXX.EQ.0) IXX=97;
    JXX=JXX-1; IF (JXX.EQ.0) JXX=97;
    CRNDM=CRNDM-CDRNDM; IF (CRNDM.LT.0.) CRNDM=CRNDM+CMRNDM;
    {P1}={P1}-CRNDM; IF ({P1}.LT.0.) {P1}={P1}+1.;
  ]
}

"This should be called somewhere near the beginning of the main routine"
"before any random numbers are asked for";
REPLACE {$RNG-INITIALIZATION;} WITH {;
  {SETR B=$RNGEN}
  [IF] {COPY B}=0 [;]
  [IF] {COPY B}=1 [ IXX=0; JXX=0; CALL RMARIN;
    DO II=1,20005[

```

```

        $RANDOMSET XRANM;
        IF(II.GT.20000) OUTPUT (MOD(INT(XRANM*16.**JJ),16),JJ=1,7);
        (8X,7I3); ]
    ]
}

"-----"
"          PLACE COMPILER DEPENDENT SUBROUTINE CALL HERE          "
"-----"
" Select Fortran Compiler.                                         "
" Lahey Fortran = 1                                                "
" Microsoft Fortran = 2                                           "
" Other PC = 3 (default)                                          "
" g77 on Windows = 4                                             "
" Sun UNIX Workstation and Linux = 5                              "
" Other UNIX Workstation =6                                       "
"-----"
REPLACE {$COMPILER} WITH {4}
"-----"

"-----"
"Macro to select the timer to be used (compiler dependent).      "
"-----"
REPLACE {$TIMERSET;} WITH {;}

REPLACE {$TIME-NOW#;} WITH {
    {SETR B=$COMPILER}
    [IF] {COPY B}=1 [CALL TIMER({P1});]
    [IF] {COPY B}=2 [CALL GETTIM(IHR,IMIN,ISEC,I100);
                    {P1}=(IHR*3600+IMIN*60+ISEC)*100+I100;]
    [IF] {COPY B}=3 [{P1}=0.0;]
    [IF] {COPY B}=4 [TT=ETIME(TARRAY);
                    {P1}=TARRAY(1)*100.0;]
    [IF] {COPY B}=5 [TT=ETIME(TARRAY);
                    {P1}=TARRAY(1)*100.0;]
    [IF] {COPY B}=6 [{P1}=0.0;]
}

"-----"
"Macro to define DIMENSION related to the timer to be used      "
"-----"
"                                     (compiler dependent).        "
"-----"
REPLACE {$TIME-DIM;} WITH {
    {SETR B=$COMPILER}
    [IF] {COPY B}=1 [;]
    [IF] {COPY B}=2 [;]
    [IF] {COPY B}=3 [;]
    [IF] {COPY B}=4 [REAL TARRAY(2);]
    [IF] {COPY B}=5 [REAL TARRAY(2);]
    [IF] {COPY B}=6 [;]
}

"COMMON to define variables to score at AUSGAB"
"IMODE: Calculation mode"
"DEPE: deposited energy inside the detector"
"FAXP: Exposure without phantom"
"FEXPS: Exposure at phantom surface"

REPLACE {;COMIN/TOTALS/;} WITH
    {;COMMON/TOTALS/IMODE,DEPE($NDET),FAEXP,FEXPS;}

"COMMON of geometry related parameter"

REPLACE {;COMIN/PASSIT/;} WITH
    {;COMMON/PASSIT/NREG;}

"COMMON of DISPLAY parameter"
REPLACE {;COMIN/NFAC/;} WITH
    {;COMMON/NFAC/FNORM,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,ZMIN,ZMAX,NPRECI;} "PICT"

"*****"
"***** ADDITIONAL (NON-EGS) MACROS *****"
"*****"

PARAMETER $MATNO=2;      "Number of material used"
PARAMETER $NDET=20;     "Detector number"
PARAMETER $NXTYPE=1;    "Number of source type."
PARAMETER $SENBIN=201;  "Maximum source energy bin"

"*****"
"***** DECLARATIONS *****"
"*****"

```

```

;COMIN/BOUNDS,DEBUG,EDGE,ELECN,ETALY1,GEOM,MEDIA,MISC,NFAC,PASSIT,
THRESH,TOTALS,UPHIOT,USEFUL,USER/;
"COMMON/NFAC2/NPRECI; PICT"

"COMMONS NEEDED"
COMMON/LINES/NLINES,NWRITE,ILINES; "TO KEEP TRACK OF LINES-PRINTED"
DIMENSION DEPEH($NDET),DEPEH2($NDET),DOSE($NDET),DOSE2($NDET),
ERROR($NDET),IDMED($NDET);
DIMENSION EBIN($SENBIN),NOFEBIN($NXTYPE),DELTA($NXTYPE),
SSPEC($NXTYPE,$SENBIN),ECDF($SENBIN),SASPEC($SENBIN);
$TIME-DIM;
$ENERGY PRECISION EKIN,TOTKE,ETOT; "DOUBLE PRECISION KLUDGE"
$TYPE MEDARR(24,$MATNO);
DATA MEDARR/$S'WATER-IAPRIM-PHOTX',6*' ',
$S'AIR-AT-NTP-IAPRIM',7*' '/;

COMIN/RANDOM/; "Located here to avoid FORTRAN 77 Diagnostic"

"*****"
"***** START OF EXECUTABLE CODE *****"
"*****"

OPEN(1,file='xray.dat'); "data of source x-ray"
OPEN(7,file='mortjob.out');
OPEN(8,FILE='mortjob.dum');
OPEN(12,FILE='body.dat',status='old');
OPEN(UNIT=90,FILE='USER.F90',STATUS='UNKNOWN');

"*****"
"***** STEP 2. PRE-HATCH-CALL-INITIALIZATION COMES NEXT *****"
"*****"
NPRECI=2; "0:precision of x-, y-, z-position in 4 digits PICT"
"1:precision of x-, y-, z-position in 8 digits PICT"
"2:x-,y-,z-position and energy in REAL. IR is added PICT"
" Use 2 for CG PICT"
" Medium number is output for 2 PICT"

OPEN(9,file='mortjob.pic',status='unknown'); PICT"

NMED=$MATNO; "Number of medium used"
DO J=1,NMED [DO I=1,24 [MEDIA(I,J)=MEDARR(I,J);]]

ITBODY=0;
IRPPIN=0;ISPIN=0;IRCCIN=0;ITORIN=0;ITRCIN=0;
IZONIN=0;IZONAD=0;
ITVERR=0;
IGMMAX=0;

IFTI = 90;
IFTO = 6;
IF(NPRECI.EQ.2) [
IFTO = 9;
WRITE(9,:FMT00:);
:FMT00:FORMAT('CSTA');
]
CALL GEOMGT(IFTI,IFTO,IGMMAX,ITBODY);
IF(NPRECI.EQ.2) [
WRITE(9,:FMT01:);
:FMT01:FORMAT('CEND');
]

NREG=IZONIN;

MED(NREG)=0; "VACUUM REGIONS"

/MED(1),MED(NREG-1)/=2; "Air region"
/IRAYLR(1),IRAYLR(NREG-1)/=1; "Rayleigh scattering option on."
/IEDGFL(1),IEDGFL(NREG-1)/=1; "1:Produce fluorescent X-ray"
" 0:Fluorescent X-ray does not produced."

DO I=2,NREG-2 [
MED(I)=1; "Water phantom"
IRAYLR(I)=1; "Rayleigh scattering option on."
IEDGFL(I)=1; "1:Produce fluorescent X-ray"
" 0:Fluorescent X-ray does not produced."
]

IF(NPRECI.EQ.2) [ PICT"
WRITE(9,:FMT02:); PICT"
:FMT02:FORMAT('MSTA'); PICT"

```



```

WRITE(9,:FMT03:}NREG; :FMT03:FORMAT(I4); "PICT"
WRITE(9,:FMT04:}(MED(I),I=1,NREG); :FMT04:FORMAT(15I4); "PICT"
WRITE(9,:FMT05:); "PICT"
:FMT05:FORMAT('MEND'); "PICT"
]

OUTPUT; (' Key in mode. 0:trajectory display, 1:dose calculation');
READ(5,*) IMODE;

"*****"
"***** STEP 3. HATCH-CALL COMES NEXT *****"
"*****"

CALL HATCH;

IF(IMODE.NE.0) [
WRITE(7,:FMT06:);
:FMT06:FORMAT(' Quantities associated with each media:');

DO J=1,NMED [
WRITE(7,:FMT07:)(MEDIA(I,J),I=1,24);
:FMT07:FORMAT(/,1X,24A1);
WRITE(7,:FMT08:}RHO(J),RLC(J);
:FMT08:FORMAT(5X,' Rho=',G15.7,' g/cm**3 RLC=',G15.7,' cm');
WRITE(7,:FMT09:}AE(J),UE(J),AP(J),UP(J);
:FMT09:FORMAT(5X,' AE=',G15.7,' MeV UE=',G15.7,' MeV'/
5X,' AP=',G15.7,' MeV UP=',G15.7,' MeV');
]

WRITE(7,:FMT10:);
:FMT10:FORMAT(/' Information of medium and cut-off for each region');

DO I=1,NREG [
IF(MED(I).EQ.0) [
WRITE(7,:FMT11:} I;
:FMT11:
FORMAT(' Medium(',I3,')=Vacuum');
]
ELSE [
WRITE(7,:FMT12:} I,(MEDIA(II,MED(I)),II=1,24),ECUT(I),PCUT(I),RHOR(I);
:FMT12:
FORMAT(' Medium(',I3,')=',24A1,'ECUT=',G10.5,' MeV, PCUT=',G10.5,
' MeV, density=',F10.3);
]]
]

"*****"
"***** STEP 4. HOWFAR-INITIALIZATION COMES NEXT *****"
"*****"

OUTPUT;(' Key in source position from phantom surface in cm');
READ(5,*) SPOSI;

"*****"
"***** STEP 5. INITIALIZATION FOR AUSGAB COMES NEXT *****"
"*****"

CALL ECNSV1(0,NREG,TOTKE);" INITIALIZE ESUM ARRAY FOR ENERGY"
" CONSERVATION CALCULATION."
" NREG=NUMBER OF REGIONS"
" TOTKE=TOTAL KE (DUMMY VARIABLE HERE)"
" (MUST BE REAL*8)"

DO NNN=1,$NDET [
/DEPE(NNN),DEPEH(NNN),DEPEH2(NNN)/=0.0;]

/FAEXP,FAEXPS,FAEXP2S,FEXPS,FEXPSS,FEXPS2S/=0.0;

DO I=1,$SENBIN [
SASPEC(I)=0.0;
]

"*****"
"***** STEP 6. DETERMINATION OF INCIDENT PARTICLE PROPERTIES *****"
"*****"
III=0;

IQI=0;

DO IXTYPE=1,$NXTYPE [
READ(1,*) NOFEBIN(IXTYPE);

```

```

READ(1,*) DELTAE(IXTYPE);
READ(1,*) (SSPEC(IXTYPE,IE),IE=1,NOFEBIN(IXTYPE));
"Source X-ray spectrum of IXTYPE"]

:X-RAY TYPE:
OUTPUT;(' Key in source type. 1:100kV');
READ(5,*) IXTYPE;

IF(IXTYPE.EQ.0.OR.IXTYPE.GT.$NXTYPE) [
OUTPUT;(' IXTYPE must be >0 <= $NXTYPE. ');
GO TO :X-RAY TYPE:;]

"Create CDF from spectrum"
NSEBIN=NOFEBIN(IXTYPE);
TNUM=0.0;
DO IE=1,NSEBIN [
TNUM=TNUM+SSPEC(IXTYPE,IE);
]

ECDF(1)=0.0;
DO IE=2,NSEBIN [
ECDF(IE)=ECDF(IE-1)+SSPEC(IXTYPE,IE)/TNUM;
]

"Create Energy bin"
DO IE=1,NSEBIN [
EBIN(IE)=(IE-1)*DELTAE(IXTYPE);
]

XI=0.0; YI=0.0; ZI=-SPOSI; "Coordinates of incident particle"
UI=0.0; VI=0.0; WI=1.0; "Direction cosines---along Z-axis"

OUTPUT;(' Key in half width of beam at phantom surface in cm. ');
READ(5,*) XHBEAM;
OUTPUT;(' Key in half height of beam at phantom surface in cm. ');
READ(5,*) YHBEAM;
RADMA2=XHBEAM*XHBEAM+YHBEAM*YHBEAM;
WIMIN=SPOSI/SQRT(SPOSI*SPOSI+RADMA2);

WTI=1.0; "Weight factor---not used in calculation, but is "
" a parameter in SUBROUTINE SHOWER; hence define as unity"
ICODE=-1; "An outputting parameter, invented to mark the "
" incident particles"

"Define IXX"
IXXST=987654321;
IXX=IXXST; "Random number generator seed"

$RNG-INITIALIZATION;

ECUTMN=ECUT(2); EKO=EBIN(NSEBIN); "*PRESTS*"
$PRESTA-INPUTS; "INPUT the *PRESTA* VARIABLES"

TOTKE=0.0;
:NEW-CASES:
OUTPUT;(' Key in number of cases (0 means end of calculation.) ');
READ(5,*) NCASES;
IF(NCASES.EQ.0) GO TO :End of Run:;

"*****
***** STEP 7. SHOWER-CALL---NEXT *****
*****"

III=III+1;

IF(III.NE.1) [
OPEN(9,file='mortjob.pic',ACCESS='APPEND'); "PICT"
]

WRITE(9,:FMT91:) III; :FMT91:FORMAT('0',I5); "PICT"

$TIME-NOW ITO;
TIMST=FLOAT(ITO)/100.0;
WRITE(7,:FMT-TO:) TIMST;
:FMT-TO:FORMAT(/' Start time=',F12.3,' s');

DO J=1,NCASES [

"Determine direction of source"
:ANGLE:
$RANDOMSET WO;

```

```

WI=WO*(1.0-WIMIN)+WIMIN;
$RANDOMSET PHAI0;
PHAI=PI*(2.0*PHAI0-1.0);
SINTH=SQRT(1.0-WI*WI);
UI=COS(PHAI)*SINTH;
VI=SIN(PHAI)*SINTH;

DIS=SPOSI/WI; "Distance between source and phantom surface"
XPF=DIS*UI; "X position at phantom surface"
YPF=DIS*VI; "Y position at phantom surface"

IF(ABS(XPF).GT.XHBEAM.OR.ABS(YPF).GT.YHBEAM) GO TO :ANGLE;;

IF(SPOSI.GT.10.0) [
DISAIR=(SPOSI-10.0)/WI; "Distance between source and air surface"
XI=DISAIR*UI; "X position at air surface"
YI=DISAIR*VI; "Y position at air surface"
ZI=-10.0;]
ELSE [/XI,YI/=0.0; ZI=-SPOSI;]

IRI=1;

"Determine source energy from CDF"
$RANDOMSET EIO;
"DO IE=1 is cahnged to DO IE=2 to avoid IE=1 when EIO=0. 11/21/2002 HH"
DO IE=2,NSEBIN [
"EIO.LE is changed to EIO.LT. 12/6/2002 HH"
IF(EIO.LT.ECDF(IE)) [GO TO :ENERGY-CAL:;]
]

:ENERGY-CAL:
"Insert a following statement for EIO=1 case. 12/6/2002 HH"
IF(IE.GT.NSEBIN) [IE=NSEBIN;]
SASPEC(IE)=SASPEC(IE)+1.0;

EI=EBIN(IE-1)+(EIO-ECDF(IE-1))*(EBIN(IE)-EBIN(IE-1))/
(ECDF(IE)-ECDF(IE-1));

EKIN=EI+IQI*PRM; "K.E. of particle---PRM is the electron rest mass"

TOTKE=TOTKE+EKIN;

LATCHI=0;

CALL SHOWER(IQI,EI,XI,YI,ZI,UI,VI,WI,IRI,WTI);

"Add absorbed energy per incident and it square"
DO KKK=1,$NDET [
DEPEH(KKK)=DEPEH(KKK)+DEPE(KKK);
DEPEH2(KKK)=DEPEH2(KKK)+DEPE(KKK)*DEPE(KKK);
DEPE(KKK)=0.0;]

"Add exposure with and without phantom and its square"
FAEXPS=FAEXPS+FAEXP;
FAEXP2S=FAEXP2S+FAEXP*FAEXP;
FAEXP=0.0;

FEXPSS=FEXPSS+FEXPS;
FEXPS2S=FEXPS2S+FEXPS*FEXPS;
FEXPS=0.0;

"END OF SHOWER-CALL LOOP"
]

$TIME-NOW ITO;
TIMEND=FLOAT(ITO)/100.0;
WRITE(7,:FMT-T1:) TIMEND;
:FMT-T1:FORMAT(' End time=',F12.3,' s'/);

"*****"
"***** STEP 8. OUTPUT OF RESULTS *****"
"*****"
CPUTIME=TIMEND-TIMST;

WRITE(7,:FMT-T2:) CPUTIME,NCASES;
:FMT-T2:FORMAT(1X,G15.5,' seconds for ',I12,' Histories');

DO IE=2,NSEBIN [
SASPEC(IE)=SASPEC(IE)/FLOAT(NCASES);
]

```

```

IF(IMODE.NE.0) [
WRITE(7,:FMT13:);
:FMT13:
FORMAT(// ' Comparison between sampled spectrum and original data'/
23X,' Sampled Probability',25X,' Sampled Probability');
DO IE=2,NSEBIN,2 [
WRITE(7,:FMT14:) EBIN(IE),SASPEC(IE),ECDF(IE)-ECDF(IE-1),EBIN(IE+1),
SASPEC(IE+1),ECDF(IE+1)-ECDF(IE);
:FMT14:FORMAT(1X,G9.3,' MeV(upper)-- ',2G12.5,3X,
'; ',G9.3,' MeV(upper)-- ',2G12.5);
]

WRITE(7,:FMT15:) SPOSI;
:FMT15:
FORMAT(// ' Absorbed energy inside phantom for 100 kV X-ray'/
' Source position ',F10.1,' cm from phantom surface'/
' Within 1cm x 1cm area after 10 cm air');
WRITE(7,:FMT16:) NCASES, XHBEAM,YHBEAM;
:FMT16:FORMAT(1X,I8,' photons normally incident from front side'/
' Half width of beam is ',G15.5,' cm for X and ',G15.5,' cm for Y');]

AREA=1.0*1.0;
DO KKK=1,$NDET [
VOL=AREA*1.0;
DOSE(KKK)=DEPEH(KKK)/NCASES;
DOSE2(KKK)=DEPEH2(KKK)/NCASES;
ERROR(KKK)=SQRT((DOSE2(KKK)-DOSE(KKK)*DOSE(KKK))/NCASES);
DOSE(KKK)=DOSE(KKK)*1.602E-10/VOL;
ERROR(KKK)=ERROR(KKK)*1.602E-10/VOL;
DEPTHs=KKK-1.0; DEPTHL=KKK;
OUTPUT DEPTHs,DEPTHL,(MEDIA(II,MED(KKK+1)),II=1,24),DOSE(KKK),ERROR(KKK);
(' Dose at depth ',F4.1,'--',F4.1,' cm (' ,24A1,')=' ,
G15.5,'+-',G15.5,'Gy/incident');
IF(IMODE.NE.0) [
WRITE(7,:FMT17:) DEPTHs,DEPTHL,(MEDIA(II,MED(KKK+1)),II=1,24),
DOSE(KKK),ERROR(KKK);
:FMT17:
FORMAT(' Dose at depth ',F4.1,'--',F4.1,' cm (' ,24A1,')=' ,
G15.5,'+-',G15.5,'Gy/incident');]
]

FAEXPA=FAEXPS/NCASES;
FAEXP2S=FAEXP2S/NCASES;
FAEXRR=SQRT((FAEXP2S-FAEXPA*FAEXPA)/NCASES);
FAEXPA=FAEXPA*1.6E-10/AREA;
FAEXRR=FAEXRR*1.6E-10/AREA;

FEXPSA=FEXPS/NCASES;
FEXPS2S=FEXPS2S/NCASES;
FEXERR=SQRT((FEXPS2S-FEXPSA*FEXPSA)/NCASES);
FEXPSA=FEXPSA*1.6E-10/AREA;
FEXERR=FEXERR*1.6E-10/AREA;

IF(FAEXPA.GT.0.0) [BSFA=FEXPSA/FAEXPA;
BSFERR=BSFA*SQRT((FAEXRR/FAEXPA)**2.+(FEXERR/FEXPSA)**2.);

OUTPUT FAEXPA,FAEXRR,FEXPSA,FEXERR,BSFA,BSFERR;
(/' Exposure in free air (using mu_en) =',
G15.5,'+-',G15.5,' Gy/incident'/
' Exposure at phantom surface (using mu_en) =',
G15.5,'+-',G15.5,'Gy/incident'/
' Backscattering factor =',G15.5,'+-',G15.5);
]

ELSE [
OUTPUT FAEXPA,FAEXRR,FEXPSA,FEXERR;
(/' Exposure in free air (using mu_en) =',
G15.5,'+-',G15.5,' Gy/incident'/
' Exposure at phantom surface (using mu_en) =',
G15.5,'+-',G15.5,'Gy/incident');
]

IF(IMODE.NE.0) [
WRITE(7,:FMT18:) FAEXPA,FAEXRR,FEXPSA,FEXERR,BSFA,BSFERR;
:FMT18:
FORMAT(// ' Exposure in free air (using mu_en) =',
G15.5,'+-',G15.5,' Gy/incident'/

```

```

' Exposure at phantom surface (using mu_en) =',G15.5,'+-',
G15.5,'Gy/incident'/' Backscattering factor =',G15.5,'+-',G15.5);
]

WRITE(9,:FMT92:); :FMT92:FORMAT('9');           "PICT"
CALL PLOTXYZ(99,0,0,0.,0.,0.,0.DO,0,0.);        "PICT"

CLOSE(UNIT=9, status='keep');

GO TO :NEW-CASES;

:End of Run:
"NEXT, CALL THE SUBROUTINE ECNSV1 TO WRITE-OUT THE ENERGY DEPOSITION"
"TOTALS---TO CHECK ENERGY CONSERVATION FOR ONE THING"
IF(IMODE.NE.0) [CALL ECNSV1(1,NREG,TOTKE);]

STOP;
END; "LAST STATEMENT OF MAIN"

"*****"
"          KEK, High Energy Accelerator Research Organization"
SUBROUTINE AUSGAB(IARG);
"          EGS4 SUBPROGRAM - 11 JUNE 2003/1730"
"*****"
COMIN/EPCONT,ETALY1,MEDIA,MISC,PASSIT,STACK,TOTALS/;
"COMMONS NEEDED IN AUSGAB"
COMMON/LINES/NLINES,NWRITE,ILINES; "TO KEEP TRACK OF LINES-PRINTED"

IRL=IR(NP);
DPWT=WT(NP);

"KEEP TRACK OF THE ENERGY DEPOSITION---FOR CONSERVATION PURPOSES"
ESUM(IQ(NP)+2,IRL,IARG+1)=ESUM(IQ(NP)+2,IRL,IARG+1)+EDEP*DPWT;

IF(W(NP).LT.0.0) [LATCH(NP)=1;]

IF(IRL.GE.2.AND.IRL.LE.21) [
"Detector region"
IDET=IRL-1;
IF(IDET.GT.0.AND.IDET.LE.$NDET) [
DEPE(IDET)=DEPE(IDET)+EDEP/RHOR(IRL);
]

"IF(IRL.NE.IROLD.AND.IQ(NP).EQ.0) [ photon cross plane"
"Changed not to include photons from detection plane. 8/23/2002 HH"
IF((IRL.NE.IROLD).AND.IQ(NP).EQ.0) ["photon cross plane"
IF((W(NP).GT.0.0.AND.IRL.EQ.2).OR.(W(NP).LE.0.0.AND.IROLD.EQ.2)) [
"Calculate exposure at phantom surface"
IF(ABS(W(NP)).GE.0.0349) [CMOD=ABS(W(NP));]
ELSE [CMOD=0.01745;]
ESING=E(NP);
DCON=ENCOEA(ESING); "PHOTX data"
FEXPS=FEXPS+E(NP)*DCON*DPWT/CMOD;
IF(W(NP).GT.0.0.AND.LATCH(NP).EQ.0) [
FAEXP=FAEXP+E(NP)*DCON*DPWT/CMOD;
]]
]

IF(IMODE.EQ.0) [
CALL PLOTXYZ(IARG,NP,IQ(NP),X(NP),Y(NP),Z(NP),E(NP),IR(NP),WT(NP)); "PICT"
]

RETURN;
END; "LAST STATEMENT OF SUBROUTINE AUSGAB"

%E
"*****"
" REAL FUNCTION ENCOEA(ENERGY) "
" FUNCTION TO EVALUATE THE ENERGY ABSORPTION "
" COEFFICIENT FOR AIR (Tables and Graphs oh photon mass "
" attenuation coefficients and energy-absorption coefficients for "
" photon energies 1 keV to 20 MeV for elements Z=1 to 92 and some "
" dosimetric materials, S. M. Seltzer and J. H. Hubbell 1995 "
" Japanese Society of Radiological Technology) "
"*****"
REAL FUNCTION ENCOEA(ENERGY);
REAL HNU(38)/0.001,0.0015,0.002,0.003,0.0032029,0.0032029,
0.004,0.005,0.006,0.008,0.01,0.015,0.02,0.03,0.04,
0.05,0.06,0.08,0.10,0.15,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.8,1.0,
1.25,1.5,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0,8.0,10.0,15.0,20.0/;
REAL ENMU(38)/

```

```

3599., 1188., 526.2, 161.4, 133.0, 146.0, 76.36,
39.31, 22.70, 9.446, 4.742, 1.334, 0.5389, 0.1537,
0.06833,0.04098,0.03041,0.02407,0.02325,0.02496,0.02672,
0.02872,0.02949,0.02966,0.02953,0.02882,0.02789,0.02666,
0.02547,0.02345,0.02057,0.01870,0.01740,0.01647,0.01525,
0.01450,0.01353,0.01311/;

IF(ENERGY.GT.HNU(38)) [ENCOEA=ENMU(38); RETURN;]
IF(ENERGY.LT.HNU(1)) [ENCOEPA=ENMU(1); RETURN;]

DO I=1,38 [
IF(ENERGY.GE.HNU(I).AND.ENERGY.LT.HNU(I+1)) [
ENM1=ALOG(ENMU(I+1)); ENMO=ALOG(ENMU(I));
HNU1=ALOG(HNU(I+1)); HNUO=ALOG(HNU(I));
ENE0=ALOG(ENERGY);
SLOPE=(ENM1-ENMO)/(HNU1-HNUO);
ENCOEA=EXP(ENMO+SLOPE*(ENE0-HNUO));
RETURN;]

IF(ENERGY.EQ.HNU(I+1)) [
ENCOEA=ENMU(I+1);
RETURN;]

"END OF DO-LOOP" ]

"IF SORT/INTERPOLATION CANNOT BE MADE, INDICATE SO BY WRITING"
"A COMMENT AND STOPPING HERE"

OUTPUT ENERGY; (///,' *****STOPPED IN ENCOEA*****',/, ' E=',G15.5,///);
RETURN;
END;

%E
"*****"
" REAL FUNCTION ENCOEW(ENERGY) "
" FUNCTION TO EVALUATE THE ENERGY ABSORPTION "
" COEFFICIENT FOR WATER (Tables and Graphs oh photon mass "
" attenuation coefficients and energy-absorption coefficients for "
" photon energies 1 keV to 20 MeV for elements Z=1 to 92 and some "
" dosimetric materials, S. M. Seltzer and J. H. Hubbell 1995, "
" Japanese Society of Radiological Technology) "
"*****"
REAL FUNCTION ENCOEW(ENERGY);
REAL HNU(36)/0.001,0.0015,0.002,0.003,0.004,0.005,0.006,0.008,0.01,
0.015,0.02,0.03,0.04,0.05,0.06,0.08,0.10,0.15,0.2,0.3,0.4,
0.5,0.6,0.8,1.0,1.25,1.5,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0,8.0,10.0,15.0,20.0/;
REAL ENMU(36)/
4065., 1372., 615.2, 191.7, 81.91, 41.88,
24.05, 9.915, 4.944, 1.374, 0.5503, 0.1557,
0.06947,0.04223,0.03190,0.02597,0.02546,0.02764,
0.02967,0.03192,0.03279,0.03299,0.03284,0.03206,
0.03103,0.02965,0.02833,0.02608,0.02281,0.02066,
0.01915,0.01806,0.01658,0.01566,0.01441,0.01382/;

IF(ENERGY.GT.HNU(36)) [ENCOEW=ENMU(36); RETURN;]
IF(ENERGY.LT.HNU(1)) [ENCOEW=ENMU(1); RETURN;]

DO I=1,36 [
IF(ENERGY.GE.HNU(I).AND.ENERGY.LT.HNU(I+1)) [
ENM1=ALOG(ENMU(I+1)); ENMO=ALOG(ENMU(I));
HNU1=ALOG(HNU(I+1)); HNUO=ALOG(HNU(I));
ENE0=ALOG(ENERGY);
SLOPE=(ENM1-ENMO)/(HNU1-HNUO);
ENCOEW=EXP(ENMO+SLOPE*(ENE0-HNUO));
RETURN;]

IF(ENERGY.EQ.HNU(I+1)) [
ENCOEW=ENMU(I+1);
RETURN;]

"END OF DO-LOOP" ]

"IF SORT/INTERPOLATION CANNOT BE MADE, INDICATE SO BY WRITING"
"A COMMENT AND STOPPING HERE"

OUTPUT ENERGY; (///,' *****STOPPED IN ENCOEW*****',/, ' E=',G15.5,///);
RETURN;
END;

%E
"*****"

```

```

"          KEK, High Energy Accelerator Research Organization  "
SUBROUTINE PLOTXYZ(IARG, NP, IQ, X, Y, Z, ENP, IR, WT);
"          EGS4 SUBPROGRAM - 21 Apr 2003/1600"
"
"02APR2001/1100 Revised to include 32 bits version. (NPRECI=1) "
"20APR2001: Revised to include the case that created particle is "
"          discarded immediately.          H. Hirayama "
"19OCT2001: Modified type miss. "
"28NOV2001: Delete unnecessary treatment for the discarded particle"
"26JUL2002: Limitation normalized absolute X-, Y-, or Z- values "
"          must be less than 4.999 is commented out. H. Hirayama "
"31OCT2002: Insert statement to set a particle energy to that of "
"          starting point of each line. "
"15JAN2003: Revised to output in REAL (NPRECI=2) for CG. "
"          IR is added to argument and output.          Y. Namito "
"21APR2003: WT is added to argument and output          Y. Namito "
"*****"
"Output X,Y,Z,IQ,E,IR for 3 dimensional graphic display on PC. "
"This subroutine based on PLOTXZ developed at SLAC for 2 "
"dimensional display with UG. "
"          H. Hirayama and Y. Namito "
"*****"
COMIN/DEBUG/;
;COMIN/NFAC/;          "PICT"
"COMMON/NFAC2/NPRECI;          PICT"
DIMENSION IXPT(100,40), IYPT(100,40), IZPT(100,40), IEPT(100,40),
          NPT(40), IQTOLD(40);
DIMENSION XPT(100,40), YPT(100,40), ZPT(100,40), EPT(100,40), WTPT(100,40),
IRPT(100,40);
$ENERGYPRECISION ENP;
DATA NPT/40*0/;

IF(NPRECI.LT.0)RETURN;

IF(IARG.EQ.99) [

DO I=1,40 [
IF(NPT(I).LE.0) NEXT;
IF(IQTOLD(I).EQ.0) [IIQ=1;]
ELSEIF(IQTOLD(I).EQ.-1) [IIQ=2;]
ELSE [IIQ=3;]
IF(NPRECI.NE.0) [IIQ=IIQ+3;]
DO INP=1,NPT(I) [
IF(NPRECI.EQ.0) [
WRITE(9,:FMT90:) IIQ, IXPT(INP,I), IYPT(INP,I), IZPT(INP,I), IEPT(INP,I);
:FMT90:FORMAT(I1,4I5);]
ELSEIF(NPRECI.EQ.1) [
WRITE(9,:FMT91:) IIQ, IXPT(INP,I), IYPT(INP,I), IZPT(INP,I), IEPT(INP,I);
:FMT91:FORMAT(I1,3I8,I5);]
ELSE [
WRITE(9,:FMT92:) IIQ, XPT(INP,I), YPT(INP,I), ZPT(INP,I), EPT(INP,I),
IRPT(INP,I), WTPT(INP,I);
:FMT92:FORMAT(I1,1P3E13.6,1PE10.3,I4,1PE10.3);]

IF(INP.EQ.NPT(I)) [
WRITE(9,:FMT93:);
:FMT93:FORMAT(' -1');]
]
]
NPT(I)=0;
]

"END OF IARG EQ 99 LOOP"]

ELSE ["IARG NE 99"
"Following limitations are commented out. 7/26/2002 HH"
"IF(X/FNORM.GT.4.999.OR.X/FNORM.LT.-4.999) [RETURN;]
"IF(Y/FNORM.GT.4.999.OR.Y/FNORM.LT.-4.999) [RETURN;]
"IF(Z/FNORM.GT.4.999.OR.Z/FNORM.LT.-4.999) [RETURN;]"
JARG=IARG;
NPT(NP)=NPT(NP) + 1;
IF(NPT(NP).EQ.1) IQTOLD(NP)=IQ;
IF(NPRECI.EQ.0) [
IXPT(NPT(NP),NP)=X/FNORM*10000+50000;
IYPT(NPT(NP),NP)=Y/FNORM*10000+50000;
IZPT(NPT(NP),NP)=Z/FNORM*10000+50000;
]
ELSEIF(NPRECI.EQ.1) [
IXPT(NPT(NP),NP)=X/FNORM*8388608+33554432;
IYPT(NPT(NP),NP)=Y/FNORM*8388608+33554432;
IZPT(NPT(NP),NP)=Z/FNORM*8388608+33554432;
]
]

```

```

ELSE [
XPT(NPT(NP),NP)=X;
YPT(NPT(NP),NP)=Y;
ZPT(NPT(NP),NP)=Z;
]

IF(NPRECI.LE.1) [
IF(IQ.EQ.0) [EEE=ENP*1000.;]
ELSE [EEE=(ENP-0.511)*1000.]
IF(EEE.LT.10000.0) [
IEPT(NPT(NP),NP)=INT(EEE)*10;]
ELSE [
IFF=ALOG10(EEE)-3;
IEF=EEE/10**IFF;
IEPT(NPT(NP),NP)=IEF*10+IFF;]
]
ELSE [
IF(IQ.EQ.0) [EPT(NPT(NP),NP)=ENP;]
ELSE [EPT(NPT(NP),NP)=ENP-0.511;]
WTPT(NPT(NP),NP)=WT;
IRPT(NPT(NP),NP)=IR;
]

IF(IQ.NE.IQTOLD(NP)) JARG=-1;

IF(NPT(NP).GE.100.OR.JARG.NE.0) [
IF(IQTOLD(NP).EQ.0) [IIQ=1;]
ELSEIF(IQTOLD(NP).EQ.-1) [IIQ=2;]
ELSE [IIQ=3;]
IF(NPRECI.NE.0) [IIQ=IIQ+3;]
IF(NPT(NP).GE.1) [
DO INP=1,NPT(NP) [
IF(NPRECI.EQ.0) [
"Followings are inserted to set a particle energy at that of"
"starting point of each line.      10/31/2002 H.H."
IF(JARG.NE.0.AND.(INP.GT.1.AND.INP.EQ.NPT(NP))) [
WRITE(9,:FMT90:) IIQ,IXPT(INP,NP),IYPT(INP,NP),IZPT(INP,NP),
IEPT(INP-1,NP);]
ELSE [
WRITE(9,:FMT90:) IIQ,IXPT(INP,NP),IYPT(INP,NP),IZPT(INP,NP),
IEPT(INP,NP);]]
ELSEIF(NPRECI.EQ.1) [
"Followings are inserted to set a particle energy at that of"
"starting point of each line.      10/31/2002 H.H."
IF(JARG.NE.0.AND.(INP.GT.1.AND.INP.EQ.NPT(NP))) [
WRITE(9,:FMT91:) IIQ,IXPT(INP,NP),IYPT(INP,NP),IZPT(INP,NP),
IEPT(INP-1,NP);]
ELSE [
WRITE(9,:FMT91:) IIQ,IXPT(INP,NP),IYPT(INP,NP),IZPT(INP,NP),
IEPT(INP,NP);]]
ELSE [
"Followings are inserted to set a particle energy at that of"
"starting point of each line.      10/31/2002 H.H."
IF(JARG.NE.0.AND.(INP.GT.1.AND.INP.EQ.NPT(NP))) [
WRITE(9,:FMT92:) IIQ,XPT(INP,NP),YPT(INP,NP),ZPT(INP,NP),
EPT(INP-1,NP),IRPT(INP,NP),WTPT(INP-1,NP);]
ELSE [
WRITE(9,:FMT92:) IIQ,XPT(INP,NP),YPT(INP,NP),ZPT(INP,NP),
EPT(INP,NP),IRPT(INP,NP),WTPT(INP,NP);]]

IF(INP.EQ.NPT(NP)) [WRITE(9,:FMT93:);]
]]
]
]

IF(JARG.GT.0.OR.IARG.GT.0) [NPT(NP)=0;]

ELSEIF(JARG.EQ.-1) [
IF(NPRECI.LE.1) [
IXPT(1,NP)=IXPT(NPT(NP),NP);
IYPT(1,NP)=IYPT(NPT(NP),NP);
IZPT(1,NP)=IZPT(NPT(NP),NP);
IEPT(1,NP)=IEPT(NPT(NP),NP);
]
ELSE [
XPT(1,NP)=XPT(NPT(NP),NP);
YPT(1,NP)=YPT(NPT(NP),NP);
ZPT(1,NP)=ZPT(NPT(NP),NP);
EPT(1,NP)=EPT(NPT(NP),NP);
WTPT(1,NP)=WTPT(NPT(NP),NP);
IRPT(1,NP)=IRPT(NPT(NP),NP);
]
]
NPT(NP)=1;

```



```

IQTOLD(NP)=IQ;
]

ELSE [
NPT(NP)=1;
IF(NPRECI.LE.1) [
IXPT(1,NP)=IXPT(100,NP);
IYPT(1,NP)=IYPT(100,NP);
IZPT(1,NP)=IZPT(100,NP);
IEPT(1,NP)=IEPT(100,NP);
]
ELSE [
XPT(1,NP)=XPT(100,NP);
YPT(1,NP)=YPT(100,NP);
ZPT(1,NP)=ZPT(100,NP);
EPT(1,NP)=EPT(100,NP);
WTPT(1,NP)=WTPT(100,NP);
IRPT(1,NP)=IRPT(100,NP);
]
]

]

ELSE [IQTOLD(NP)=IQ;]

"END OF IARG NE 99 LOOP"

RETURN;
END; "END OF SUBROUTINE PLOTXYZ"
%E
"*****"
" STANFORD LINEAR ACCELERATOR CENTER"
" Modified to WRITE(7, mode together with PICT. H.H."
SUBROUTINE ECNSV1(NTREE,NREG,TOTKE);
" EGS4 SUBPROGRAM - 21 MAY 2002/1730"
"*****"
" SUBROUTINE FOR KEEPING TRACK OF ENERGY CONSERVATION---TO BE "
" USED WITH EGS USER CODES. WHEN NTREE=0, THE PROGRAM IS "
" ENTERED IN ORDER TO INITIALIZE THE ESUM ARRAY TO ZERO. "
" OTHERWISE, IT IS ENTERED FOR TOTALING AND OUTPUTTING THE "
" RESULTS. THE ESUM ARRAY IS NEEDED IN SUBROUTINE AUSGAB, "
" WHERE EDEP (ENERGY DEPOSITION) IS ADDED TO THE ELEMENT OF "
" THE ARRAY CORRESPONDING TO THE VALUE OF IQ, IR, AND IARG. "
"*****"
COMIN/DEBUG,E'ALY1/; "INSERT IN ALL SUBPROGRAMS THAT USE ESUM"
REAL*8 ROWSUM(4,$MXREG),COLSUM(4,5),SUMSUM(4),GSUM,TOTKE;

" CHECK WHETHER NREG IS GE $MXREG. IF IT IS, STOP AND OUTPUT. "
IF(NREG.GT.$MXREG) [
MDUMMY=$MXREG;
OUTPUT NREG,MDUMMY;
(///,' ***** NOTE: STOPPED IN SUBROUTINE ECNSV1 BECAUSE NREG= ',
I5,' IS LARGER THAN $MXREG= ',I5,' *****');
STOP;]

IF(NTREE.EQ.0) [ "INITIALIZE ESUM TO ZERO AND RETURN"
DO I=1,4 [DO J=1,NREG [DO K=1,5 [ESUM(I,J,K)=0.DO;]]]
RETURN;]

" REACH THIS POINT WHEN FINAL TALLY IS TO BE MADE."

" FIRST, INITIALIZE SUMS"

GSUM=0.DO;

DO IQ=1,4 [
SUMSUM(IQ)=0.DO;
DO IR=1,NREG [ROWSUM(IQ,IR)=0.DO;]
DO ICODE=1,5 [COLSUM(IQ,ICODE)=0.DO;]
" END OF IQ-LOOP"

" SUM IQ=1,2,3 INTO IQ=4 OF ESUM FOR ALL IR- AND ICODE-VALUES"

DO IR=1,NREG [
DO ICODE=1,5 [
DO IQ=1,3 [
ESUM(4,IR,ICODE)=ESUM(4,IR,ICODE) + ESUM(IQ,IR,ICODE);
]]]

" NORMALIZE DATA TO TOTKE"

DO IQ=1,4 [

```

```

DO IR=1,NREG [
DO ICODE=1,5 [
ESUM(IQ,IR,ICODE)=ESUM(IQ,IR,ICODE)/TOTKE;
]]]

" SUM-UP COLUMNS AND ROWS"

DO IQ=1,4 [
DO IR=1,NREG [
DO ICODE=1,5 [
ROWSUM(IQ,IR)=ROWSUM(IQ,IR)+ESUM(IQ,IR,ICODE);
]]
DO ICODE=1,5 [
DO IR=1,NREG [
COLSUM(IQ,ICODE)=COLSUM(IQ,ICODE)+ESUM(IQ,IR,ICODE);
]]
" END OF IQ-LOOP"]

" NOW GET TOTAL FOR IQ AND GRAND TOTAL"

DO IQ=1,4 [
DO IR=1,NREG [
DO ICODE=1,5 [
SUMSUM(IQ)=SUMSUM(IQ)+ESUM(IQ,IR,ICODE);
IF(IQ.LE.3) [GSUM=GSUM+ESUM(IQ,IR,ICODE);]
]]]

" NOW WRITE-OUT THE RESULTS OF THE ENERGY DEPOSITION SUMMARY"

DO IQ=1,4 [
IF(IQ.LE.3) [
IQNOW=IQ-2;
WRITE(7,:FMT0:) IQNOW;
:FMT0:FORMAT(' Energy deposition summary for particles with IQ=',
I2,/,55X,'IARG',/,19X,'0',15X,'1',13X,'2',14X,'3',14X,'4',16X,
'Row sum',/,3X,'Region',/);
]
ELSE [
WRITE(7,:FMT1:);
:FMT1:FORMAT(' Energy deposition summary for all particles:',/,
55X,'IARG',/,19X,'0',15X,'1',13X,'2',14X,'3',14X,'4',16X,'Row sum',
/,3X,'Regin',/);
]
DO IR=1,NREG [
WRITE(7,:FMT2:) IR,(ESUM(IQ,IR,ICODE),ICODE=1,5),ROWSUM(IQ,IR);
:FMT2:FORMAT(I7,5X,5G15.7,5X,G15.7);
" END OF IR-LOOP"]
WRITE(7,:FMT3:) (COLSUM(IQ,ICODE),ICODE=1,5),SUMSUM(IQ);
:FMT3:FORMAT(/,3X,'Col sum',2X,5G15.7,5X,G15.7);
" END OF IQ-LOOP"]
WRITE(7,:FMT4:) GSUM;
:FMT4:FORMAT(/,,' Total fraction =',G15.7,
' Note: This number should be very close to unity');

RETURN;
END; "END OF SUBROUTINE ECNSV1"

%E
%C80
"-----"
" Start of PRSTAAUX MORTRAN - Auxiliary codes required by PRESTA. "
"-----"
" Taken from NRCCAUXP MORTRAN. "
" 24 August 1989 WRN "
"-----"
" "
"*****"
" * * "
" * FIXTMX * "
" * * "
" * * "
"*****"
SUBROUTINE FIXTMX(ESTEP,MEDIUM);
" "
" THIS ROUTINE CHANGES THE STEP SIZE ALGORITHM USED IN EGS SO THAT "

```

```

" THE STEP SIZE ARRAYS FOR TMXS CORRESPOND TO AN ARBITRARY,BUT "
" FIXED FRACTIONAL ENERGY LOSS ESTEPE. "
" IT IS ONLY NECESSARY FOR LOW ENERGY ELECTRON PROBLEMS SINCE "
" TYPICALLY THE 200*TEFFO RESTRICTION ON TMXS IS MORE STRINGENT "
" FOR ELECTRONS WITH ENERGIES ABOVE A FEW MEV "
" "
" NOTE THAT THE $TMXS-OVER-RIDE MACRO MAY STILL BE IN FORCE IN EGS. "
" "
" THE ROUTINE CHANGES THE VALUES ONLY FOR THE MEDIUM 'MEDIUM' "
" AND IT SHOULD PROBABLY BE USED FOR ALL MEDIA IN A PROBLEM. "
" "
" THE ROUTINE MUST BE CALLED AFTER HATCH HAS BEEN CALLED AND BEFORE "
" THE SIMULATION IS BEGUN. "
" "
" THE ROUTINE IS INDEPENDENT OF WHAT UNITS ARE BEING USED, AS LONG "
" AS THEY ARE CONSISTENT( E.G. CM, RL OR G/CM**2 ) "
" "
" IF CALLED WITH IOLDTM=0 (PASSED IN COMIN USER) THE TMXS ARRAYS ARE "
" ADJUSTED TO GIVE A FIXED ESTEPE AND ARE SUBJECTED TO THE TMIN AND "
" CONSTRAINTS. "
" IF CALLED WITH IOLDTM=1 THE CURRENT EGS ALGORITHM IS USED. "
" IF CALLED WITH IOLDTM=0 AND ESTEPE=0 THE CURRENT EGS ALGORITHM IS "
" USED. "
" IF CALLED WITH IOLDTM=1 AND ESTEPE=0 THEN ESTEPE=1.0 IS USED. "
" "
" FOR A DETAILED DISCUSSION OF THE USE OF THIS ROUTINE, SEE "
" 'Low Energy Electron Transport with EGS' in Nuclear Instr. and "
" Methods A227 (1984)535-548. D.W.O. Rogers "
" "
" FOR A DISCUSSION OF THE NEW FEATURES (VO3+) OF THIS ROUTINE, "
" ESPECIALLY WITH REGARD TO THE NEW UPPER AND LOWER LIMITS, SEE "
" 'PRESTA-the Parameter Reduced Electron-Step Transport Algorithm- "
" for Electron Monte Carlo Transport' by A.F.Bielajew & D.W.O.Rogers, "
" NRCC Internal Report PIRS-042 obtainable by contacting the above. "
" "
" VO1 DEC 10,1981 DAVE ROGERS NRCC "
" VO2 DEC 1984 EGS4 VERSION "
" VO3 JAN 1986 ALEX BIELAJEW NRCC REVISED FOR PRESTA "
"***** "
";COMIN/ELECI,N,MEDIA,USER/;

ESTEPE=ESTEP;

IF(MEDIUM > $MXMED) ["ERROR" OUTPUT MEDIUM;
(///'0***** MEDIUM=',I4,' IN FIXTMX IS TOO LARGE');RETURN;]

IF((ESTEPE = 0.) & (IOLDTM = 1)) RETURN; "USE THE CURRENT ALGORITHM "
IF(ESTEPE = 0.) ESTEPE=1.; "NEW VERSION DEFAULTS TO TOTAL ENERGY LOSS"
IF(IOLDTM = 0) [BLCCC=BLCC(MEDIUM);XCC2=XCC(MEDIUM)**2; "NEEDED BY ROOTMX"]
"SET UP SOME VARIABLES FOR FIRST PASS THROUGH LOOP"
EI =EXP( (1.-EKE0(MEDIUM))/EKE1(MEDIUM));"ENERGY OF FIRST TABLE ENTRY"

EIL = ALOG(EI); LEIL=1;
"THIS IS EQUIVALENT TO $SETINTERVAL EIL,EKE; BUT AVOIDS ROUND OFF"
$EVALUATE EDEDX USING EDEDX(EIL);"GET THE ELECTRON STOPPING AT EI"
"NOW CALCULATE STEP REQUIRED TO CAUSE AN ESTEPE REDUCTION IN ENERGY"
IF(IOLDTM = 1) [SI=ESTEPE*EI/EDEDX;]ELSE [SI=ROOTMX(EI,ESTEPE);]
"TABULATED ENERGIES ARE IN A FIXED RATIO - CALC LOG OF THE RATIO"
ERATIO=-1./EKE1(MEDIUM);

NEKE=MEKE(MEDIUM);"NUMBER OF ELEMENTS IN STORAGE ARRAY"
DO I=1,NEKE-1[
EIP1=EXP((FLOAT(I+1)-EKE0(MEDIUM))/EKE1(MEDIUM));"ENERGY AT I+1"
EIP1L=ALOG(EIP1);LEIP1L=I+1;"DESIGNED THIS WAY=$SETINTERVAL"
$EVALUATE EDEDX USING EDEDX(EIP1L);
IF(IOLDTM = 1) [SIP1=ESTEPE*EIP1/EDEDX;]ELSE [SIP1=ROOTMX(EIP1,ESTEPE);]

"NOW SOLVE THESE EQUATIONS "
" SI = TMXS1 * EIL + TMXSO "
" SIP1 = TMXS1 * EIP1L + TMXSO "
" "
TMXS1(I,MEDIUM)=(SI-SIP1)/ERATIO;TMXSO(I,MEDIUM)=SI-TMXS1(I,MEDIUM)*EIL;

"TRANSFER VALUES FOR NEXT LOOP"
EIL=EIP1L;SI=SIP1;]
"NOW PICK UP LAST TABLE ENTRY WHICH APPLIES ONLY TO LAST ENERGY"
TMXSO(NEKE,MEDIUM)=TMXSO(NEKE-1,MEDIUM);
TMXS1(NEKE,MEDIUM)=TMXS1(NEKE-1,MEDIUM);
RETURN;END;
/E
"***** "
" * * "

```

```

"                                     * ROOTMX *                                     "
"                                     *                                     "
"                                     *****                                     "
"                                     "                                     "
FUNCTION ROOTMX(EI,ESTEP);
"
"     THIS ROUTINE RETURNS MAX(TMIN,MIN(TMAX,ESTEPE*EI/EDDX)) WHERE      "
"     TMAX IS THE MAXIMUM STEP ALLOWED BY THE MOLIERE MULTIPLE SCATTERING  "
"     THEORY, TMIN IS THE THE MINIMUM STEP AND ESTEPE*EI/EDDX IS THE GREATEST "
"     STEP ALLOWED DUE TO CONTINUOUS ENERGY LOSS PROCESSES.                "
"
"     NOTE THE USE OF ITS AUXILLIARY FUNCTION FTMX APPENDED TO ROOTMX.    "
"     BECAUSE THE TMAX FUNCTION IS STRONGLY ENERGY DEPENDENT, IT WAS FOUND "
"     NECESSARY TO INCLUDE A CORRECTION FOR ENERGY LOSS IN IT. OTHERWISE THE "
"     UPPER LIMIT COULD BE GREATLY EXCEEDED - BY AS MUCH AS 50% IN SOME CASES. "
"     CORRECTING FOR ENERGY LOSS NECESSITATES USING A ROOT FINDING METHOD TO "
"     OBTAIN TMAX (HENCE THE NAME ROOTMX). TMIN IS ALSO STRONGLY ENERGY   "
"     DEPENDENT BUT IT DOES NOT MATTER WITHIN THE LOGIC OF THE CODE IF THIS  "
"     QUANTITY IS AS MUCH AS 50% HIGH SINCE NO PHYSICS CONSTRAINTS WILL BE  "
"     VIOLATED.                                                            "
"
"     THE ZERO-FINDING ROUTINE IS A CRUDE ONE BASED ON THE ASSUMPTION THAT   "
"     THE FUNCTION FTMX IS MONOTONIC AND THAT THE FUNCTION EVALUATED AT THE TWO "
"     STARTING POINTS RETURNS DIFFERENT SIGNS. IF THE SIGNS ARE THE SAME THEN "
"     EITHER THE ENERGY-LOSS STEP-SIZE IS MORE RESTRICTIVE OR THE STEP-SIZE IS "
"     BELOW TMIN.                                                          "
"
"     ALTHOUGH THIS ROUTINE COMES WITH THE PRESTA PACKAGE IT IS REALLY      "
"     INDEPENDENT OF IT AND IT IS AN IMPROVEMENT OVER THE PREVIOUS TMSX METHODS. "
"     THE OLD TMSX ROUTINE ALLOWED BOTH THE TMAX AND TMIN BOUNDS TO BE VIOLATED. "
"     EXCEEDING TMAX TAKES ONE OUT OF THE REGION OF VALIDITY OF THE MOLIERE   "
"     THEORY STILL ALLOWING A MULTIPLE SCATTERING SELECTION BUT OF UNPREDICTABLE "
"     WORTH. GOING LOWER THAN TMIN CAUSES THE MULTIPLE SCATTERING TO GET    "
"     SWITCHED OFF (STARTING WITH THE LOWER ENERGIES). THIS CAN SOMETIMES LEAD "
"     TO CALCULATIONAL ARTIFACTS. ONE WORD OF CAUTION] USING THIS ROUTINE AT "
"     VERY LOW ELECTRON ENERGIES .LE.10 keV CAUSES NEGATIVE USTEP ERRORS IF THE "
"     OLD EGS PATHLENGTH CORRECTION ALGORITHM (BASED ON FERMI-EYGES THEORY) IS "
"     USED. THE OLD EGS LESSENED THIS PROBLEM BY REDUCING THE UPPER LIMIT TO  "
"     0.8 THE VALUE USED IN THIS ROUTINE. THE PRESTA PATHLENGTH CORRECTION DOES "
"     NOT GIVE NEGATIVE USTEPS IN ANY OF THE CASES WE HAVE TESTED.        "
"
"     VERSION 1          ALEX BIELAJEW          JAN. 86                    "
"     VERSION 1.1      ALEX BIELAJEW          OCT. 87                    "
"
"                                     Lower limit ESTEPE violation fixed     "
"
"*****"
;
COMIN/USEFUL,USER/;
ESTEPE=ESTEP;
TMIN=2.718282*EI*(EI+2.*RM)/(BLCCC*(EI+RM)**2); "LOWER LIMIT, eq.(2-8)"
X1=TMIN; "INITIAL LOWER STARTING POINT OF THE SEARCH"
X2=ESTEPE*EI/EDDX; "INITIAL UPPER STARTING POINT OF THE SEARCH"

"THIS IS THE FIX-UP FOR THE MINIMUM STEP-SIZE"
IF( X2 <= X1 ) [ROOTMX=X1;RETURN;]

F1=FTMX(X1,EI);F2=FTMX(X2,EI);
AF1=ABS(F1);AF2=ABS(F2);
SF1=SIGN(1.,F1);SF2=SIGN(1.,F2);

"FIRST CHECK TO SEE IF EITHER OF THE STARTING POINTS IS ALREADY GOOD ENOUGH."
IF((AF1 <= $ROOTMX_PRECISION) | (AF2 <= $ROOTMX_PRECISION))[
  IF(AF1 <= AF2)[ROOTMX=X1;]ELSE[ROOTMX=X2;]]

"NOW CHECK TO SEE IF EITHER THE ENERGY LOSS IS MORE RESTRICTIVE THAN THE  "
"UPPER LIMIT TMAX (TRUE FOR HIGH ENERGIES) OR IF IT MORE RESTRICTIVE THAN "
"TMIN (TRUE FOR LOW ENERGIES WITH A SMALL ENOUGH ESTEPE).                "
ELSEIF(SF1 = SF2)[ROOTMX=X2;]

"OTHERWISE A SEARCH FOR TMAX MUST BE UNDERTAKEN."
ELSE[ "ITERATE"
  ITI=0; "NUMBER OF ITERATIONS COUNTER"
  XL=X1; "LAST X FOUND"
  :SEARCH-ROOT:LOOP[
    ITI=ITI+1;
    IF(ITI > 1000)[ "QUIT IF THIS HAPPENS"
      OUTPUT;(' SEARCH FOR TMSX ABORTED. TOO MANY ITERATIONS');STOP;]
    XT=(X1*F2-X2*F1)/(F2-F1);
    IF(XT = XL)[ROOTMX=XT;EXIT:SEARCH-ROOT:;"CONVERGENCE OBTAINED"]
    FT=FTMX(XT,EI);AFT=ABS(FT);
    IF(AFT <= $ROOTMX_PRECISION)[ROOTMX=XT;EXIT:SEARCH-ROOT:;"CONVERGENCE OBTAINED"]

```

```

ELSE[ "RE-ITERATE"
SFT=SIGN(1.,FT);
IF(SFT = SF1)[X1=XT;F1=FT;AF1=AFT;SF1=SFT;]ELSE[X2=XT;F2=FT;AF2=AFT;SF2=SFT;]
XL=XT; "UPDATE LAST X FOUND"
]
] "END OF SEARCH FOR ROOT LOOP"
] "END OF ITERATE ELSE"
RETURN;END;

FUNCTION FTMX(T,EI);
"When t=tmax as defined in eq.(2-10) this function returns 0. It is used by "
"FUNCTION ROOTMX in the search for tmax. "
COMIN/USEFUL,USER/;
"Energy dependent quantities are evaluated at the energy mid-point of the step."
"See section IV of the report PIRS-042."
EK=AMAX1(0.0001,EI-0.5*EDEDX*T);E=EK+RM;BETA2=EK*(E+RM)/E**2;
A=BLCCC/BETA2;G=XCC2/(E*BETA2)**2;
FTMX=1./ALOG(A/G)-G*T;
RETURN;END;

%E

"*****"
SUBROUTINE RMARIN;
"*****"
COMIN/RANDOM/;

IF((IXX.LE.0).OR.(IXX.GT.31328)) IXX=1802; "SETS MARSAGLIA DEFAULT"

" BUG. In the following line the assignment previous to 90/09/18 "
" was to IXX. This DID NOT upset the randomness of the sequence, "
" just the initial starting point. BLIF 90/09/18. "

IF((JXX.LE.0).OR.(JXX.GT.30081)) JXX=9373; "SETS MARSAGLIA DEFAULT"

I = MOD(IXX/177,177) + 2;
J = MOD(IXX, 177) + 2;
K = MOD(JXX/169,178) + 1;
L = MOD(JXX, 169) ;

DO II=1,97[
S=0.0;T=0.5;
DO JJ=1,24[
M=MOD(MOD(I*J,179)*K,179);
I=J;J=K;K=M;L=MOD(53*L+1,169);
IF(MOD(L*M,64).GE.32) S=S+T;
T=0.5*T;
]
URNDM(II)=S;
]

CRNDM = 362436./16777216.;
CDRNDM = 7654321./16777216.;
CMRNDM = 16777213./16777216.;

IXX = 97;
JXX = 33;

RETURN;END;
"*****"
"***** End of ucphantom_cgpk.mor *****"
"*****"

```