

## PROJETO: DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA FORMATAÇÃO DOS DADOS DA EXPERIÊNCIA ORCAS/SACI-1.

### **CARACTERÍSTICAS DOS TELESCÓPIOS DO EXPERIMENTO ORCAS**

Aluno: Júlio Albuquerque Maranhão, Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA/CTA, São José dos Campos, SP.

Orientador: Udaya B. Jayanthi, Divisão do Astrofísica DAS-INPE, São José dos Campos, SP.

#### INTRODUÇÃO:

A experiência ORCAS, fazendo parte de satélite SACI-1, tem dois telescópios com detectores de estado sólido PRE e MAIN com as respectivas finalidades:

1. medir a população de elétrons, prótons e partículas alfa.
2. medir a população dos íons do He até Ne/Fe,

presentes na magnetosfera terrestre. O telescópio MAIN utiliza dois detectores de entrada de silício, tipo 'dE/dX', em ambos os lados de um conjunto de 5 detectores de silício, que atuam como detectores de energia 'E' [Fig.1a]. O telescópio PRE é composto de quatro detectores de diodos de silício, com absorvedores de alumínio entrelaçados [Fig.1b].

As perdas de energia das partículas nos detectores permitem a determinação de carga e energia da partícula detectada. Assim cada telescópio permite determinar o fluxo de cada espécie das partículas. Para isso desenvolvemos programas de simulação que determinassem a capacidade de resolução de carga pelo detectores de telescópio e a variação de função de resposta dos fluxos em cada telescópio (fator geométrico).

#### RESULTADOS:

1. Perdas de Energia: A primeira simulação das perdas de energia nos detectores compreende as interações nucleares dos elétrons, prótons, partículas alfa e partículas com  $Z > 2$ , em materiais como alumínio e silício [Ref. 1]. Nas figuras 2a e 2b. mostramos as perdas das energias nos sucessivos detectores de telescópios PRE para elétron e próton e nos detectores de MAIN para oxigênio e ferro (Fig. 3 a,b). Também mostramos na Fig. 3c a correlação cruzada das perdas de energia no detectores 1 e 2 do MAIN, a fim de permitir a identificação dos íons.

2. Fator Geométrico: O fluxo de qualquer espécie de partícula é expresso como:  $N^\circ$  de partículas/s.cm<sup>2</sup>.sr. MeV. Isso significa que podemos calcular a resposta do telescópio por meio do parâmetro GF (Fator Geométrica), expresso em cm<sup>2</sup>.sr. Através da técnica de Monte Carlo [Ref. 2] desenvolvemos um programa para esses cálculos de parâmetros GF. O telescópio PRE possui campo de visada (FOV) circular, enquanto o FOV do MAIN é quadrado. A resposta GF dos dois telescópios PRE e MAIN com energia para alguns espécies:

Fevereiro 1, 1997.

Dr. Jerônimo dos Santos Travelho  
Presidente do Comitê PIBIC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
São José dos Campos, SP.

Sr Júlio Mendes de Albuquerque Maranhão, aluno do ITA/CTA, está trabalhando como bolsista no projeto ORCAS sob minha supervisão.

Estou plenamente, satisfeito com o desenvolvimento do trabalho pelo Júlio. Ele tem capacidade para compreender os trabalhos na área de física nuclear e de desenvolvimento de programas do tipo Monte-Carlo.

Ele se apresenta para trabalhos pontualmente e tem caráter e responsabilidade.

Atenciosamente,



Udaya B. Jayanthi

Departamento de Astrofísica, DAS  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
São José dos Campos, SP.

# RELATÓRIO PARCIAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Projeto: Desenvolvimento de software para formatação dos dados do experimento ORCAS/SACI-1.

## 1. Introdução:

Durante o período de Agosto a Dezembro de 1996, eu, Júlio Mendes de Albuquerque Maranhão, aluno do ITA/CTA e bolsista do INPE/CNPq, trabalhei no projeto ORCAS do SACI-1, orientado pelo Dr. Udaya B. Jayanthi do INPE e pela Ms. Kasi A. Jayanthi.

O experimento ORCAS tem dois telescópios de estado sólido chamados PRE e MAIN fazendo parte do satélite SACI-1, com a finalidade de, respectivamente: 1) medir a população de elétrons, prótons e He e 2) medir a população de íons de número atômico entre o He e o Fe, inclusive estes, presentes na magnetosfera terrestre. O telescópio PRE é composto de quatro detetores, com absorvedores de partículas feitos de alumínio entrelaçado [Fig. 1]. O telescópio MAIN utiliza dois detetores de entrada, do tipo  $dE/dX$  em ambos os lados de uma montagem de cinco detetores, que atuam como detetores de energia (E) [Fig. 2].

As perdas de energia das partículas nos detetores que constituem o telescópio permitem a determinação da carga e energia das partículas. Assim cada telescópio permite determinar o fluxo e o tipo de partícula de cada espécie. Para isso precisávamos desenvolver programas de computador que determinassem a capacidade de resolução de carga e a variação da função de resposta com respeito à energia.

## 2. Procedimento:

A. Perdas de Energia: Para determinar a capacidade de resolução de carga nós precisávamos determinar as perdas de energia em cada detetor e para cada partícula que entrasse no telescópio.

O primeiro programa compreende as interações nucleares de elétrons, pósitrons, prótons, partículas alfa e partículas com número atômico ( $Z$ ) maior que 2, em materiais como alumínio e silício. Obtivemos os parâmetros (escopo e perdas de energia específicas) de cada partícula no MAIN. Em outro momento usaremos estes cálculos para determinar o estado de ionização para as partículas com  $Z > 2$ . A literatura existente nos fornece fórmulas (Ref. KNOLL) para as interações nucleares. Porém nós precisávamos escrever um programa que se adaptasse à geometria do telescópio [sub-rotina 1: Perdas de Energia – Apêndice 1].

A determinação da carga das partículas que entram no telescópio PRE é feita através do nível de perda de energia para os elétrons, prótons e partículas de

He. As perdas em cada detetor permitem determinar a energia de cada partícula. No caso do telescópio MAIN o cálculo da carga dos íons (He até Fe) é feita através de correlação cruzada das perdas de energia entre quaisquer dois detetores sucessivos. Nós utilizaremos a sub-rotina 1 na próxima fase do trabalho.

**B. Fator Geométrico:** Para determinar o fluxo de qualquer tipo de partícula como função da energia nós precisávamos desenvolver um software integrado que calculasse a função de resposta como uma função da energia para cada tipo de partícula:

O fluxo de qualquer espécie de partícula é expresso como:  $N^\circ$  de partículas/s.  $\text{cm}^2$ . Sr. MeV. Isto significa que podemos calcular a resposta do telescópio por meio do parâmetro GF (Fator Geométrico), expresso em  $\text{cm}^2$ . Sr (posteriormente incluiremos a perda de energia, calculada pela sub-rotina 1, que vai variar o valor de GF).

A determinação do GF, na literatura, é feita por solução analítica (Ref. IYENGAR). O PRE tem como “campo de visão” (Field of View — FOV) uma geometria circular. Já o MAIN possui FOV do tipo quadrado. Especificamente no caso de geometria retangular ou quadrada as soluções para o cálculo do GF são difíceis ou impossíveis de se obter. Até mesmo para um detetor circular a variação do GF com a energia não é tão simples, a ponto de ser rejeitado para nosso propósito.

Por isso desenvolvemos simulações através da técnica de Monte-Carlo (Ref. PRESS & TEUKOLSKY). Na literatura, apenas ângulos de abertura circular foram tratados no passado, sem menção a aberturas retangulares ou quadradas. Primeiro fizemos simulações para o FOV circular [sub-rotina 2]. De maneira simples também usamos essa técnica para o FOV retangular (MAIN). Por isso nossas simulações para este último caso, segundo nossos conhecimentos, foram feitas pela primeira vez, evitando usar soluções analíticas complicadas e trabalhosas [sub-rotina 3].

**C. Técnica de Monte-Carlo:** Esta técnica se baseia na teoria da probabilidade para determinar valores que dificilmente seriam obtidos por resultado analítico. É uma verdadeira simulação, pois são gerados pseudo números aleatórios por computador que podem simular um efeito físico ou calcular uma integral com precisão, por exemplo.

Para calcular o GF de PRE e MAIN, precisava-se conhecer a área da entrada (círculo ou quadrado), que era fácil de ser calculada, e o ângulo sólido (este era complicado no caso de um quadrado). Supondo-se que várias partículas viessem de todas as direções, ao encontro da entrada dos telescópios (M partículas), e somente N chegassem no i-ésimo detetor, para um grande número de partículas, o produto  $2.\pi.(N/M)$  representará o ângulo sólido do detetor considerando os extremos como sendo a entrada e o i-ésimo detetor.

Sendo assim teríamos facilmente o cálculo do GF para cada telescópio e cada detetor, sem considerar perdas de energia. Para caracterizar cada partícula foram necessários quatro valores aleatórios ( posições x e y na área de entrada do telescópio, azimute e ângulo de incidência ). Apenas este último valor não possuía distribuição uniforme, mas seu coseno sim. Tendo-se essa idéia, restava apenas parametrizar a trajetória da partícula, que era uma reta, e verificar se alcançava ou não os outros detetores. Nos apêndices 2 e 3 encontram-se o código fonte do cálculo do GF de PRE e de MAIN respectivamente, e abaixo encontra-se uma tabela dos GF's calculados por essa técnica:

Fator Geométrico (GF)	PRE (cm <sup>2</sup> .Sr )	MAIN (cm <sup>2</sup> . Sr)
Detetor 1	0.093	36
Detetor 1 & 2	0.0046	1.14

Vale lembrar que o GF varia com a perda de energia de cada partícula, mas por enquanto calculamos o GF sem considerar essa perda.

### 3. Discussões:

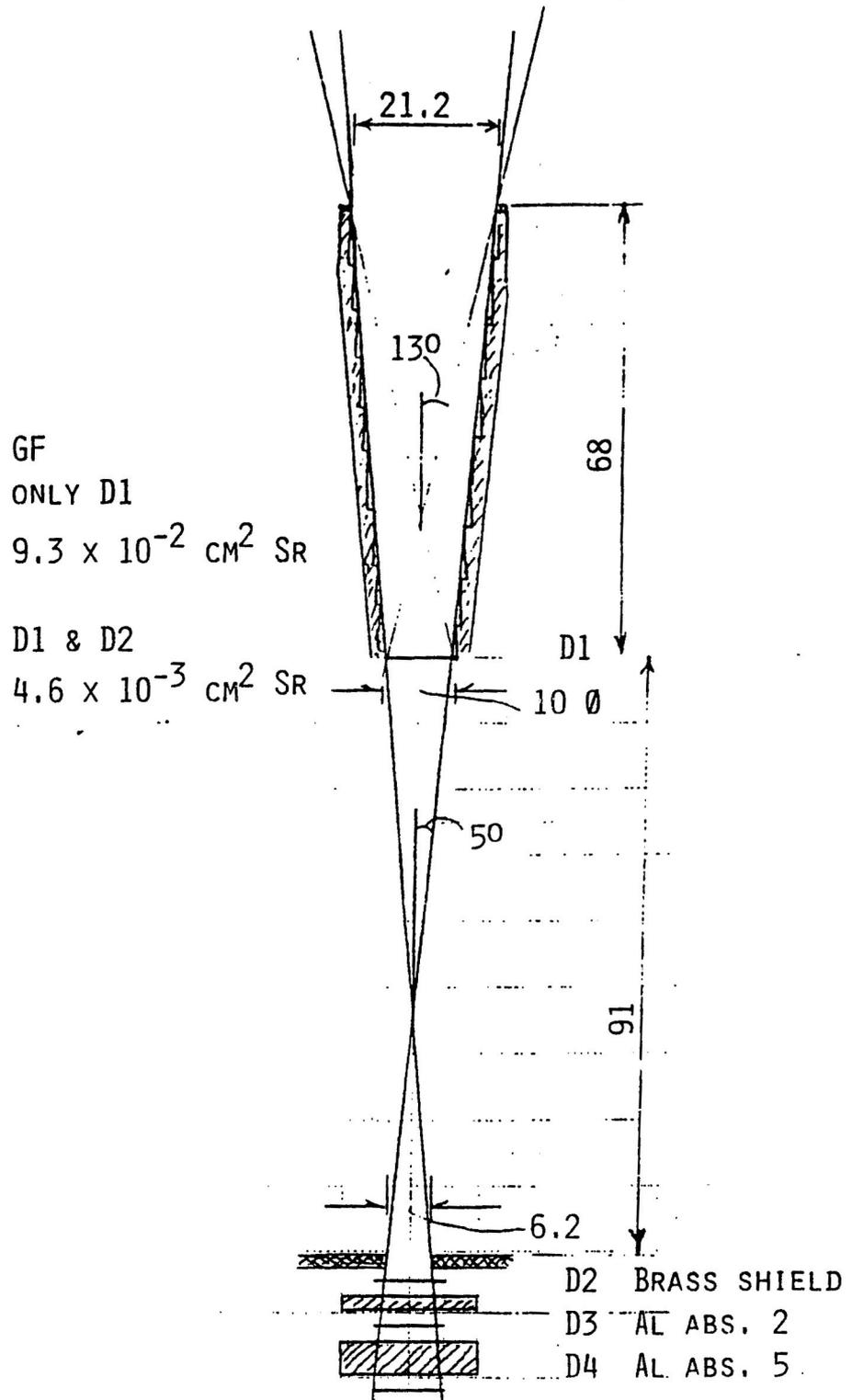
1. As sub-rotinas de perda de energia de elétron, pósitron, próton, Hélio e partículas com  $Z > 2$  para os materiais do detetor estão implementadas. As sub-rotinas para o cálculo do GF para os telescópios PRE e MAIN também estão feitas. Isto constitui a parte principal do projeto.
2. Na próxima fase do projeto estas subrotinas serão integradas num programa que determinará a variação do GF para os dois telescópios citados. Também pretendemos desenvolver um programa que simulará a capacidade de resolução de carga de MAIN. Estes cálculos serão verificados com observações de testes de aceleração a serem feitos no Japão.

### 4. Referências Bibliográficas:

1. KNOLL, Glenn F. , RADIATION DETECTION AND MEASUREMENT , John Willey & Sons , 1979.
2. PRESS, Willian H. & TEUKOLSKY, Saul A. , NUMERICAL RECIPES , Cambridge University Press , Second Edition, 1992.
3. IYENGAR, V. S. , STUDY OF DISCRETE COSMIC X-RAY SOURCES , Theses of Ph.D. degree , Tata Institute of Fundamental Research, Bombay , 1975.

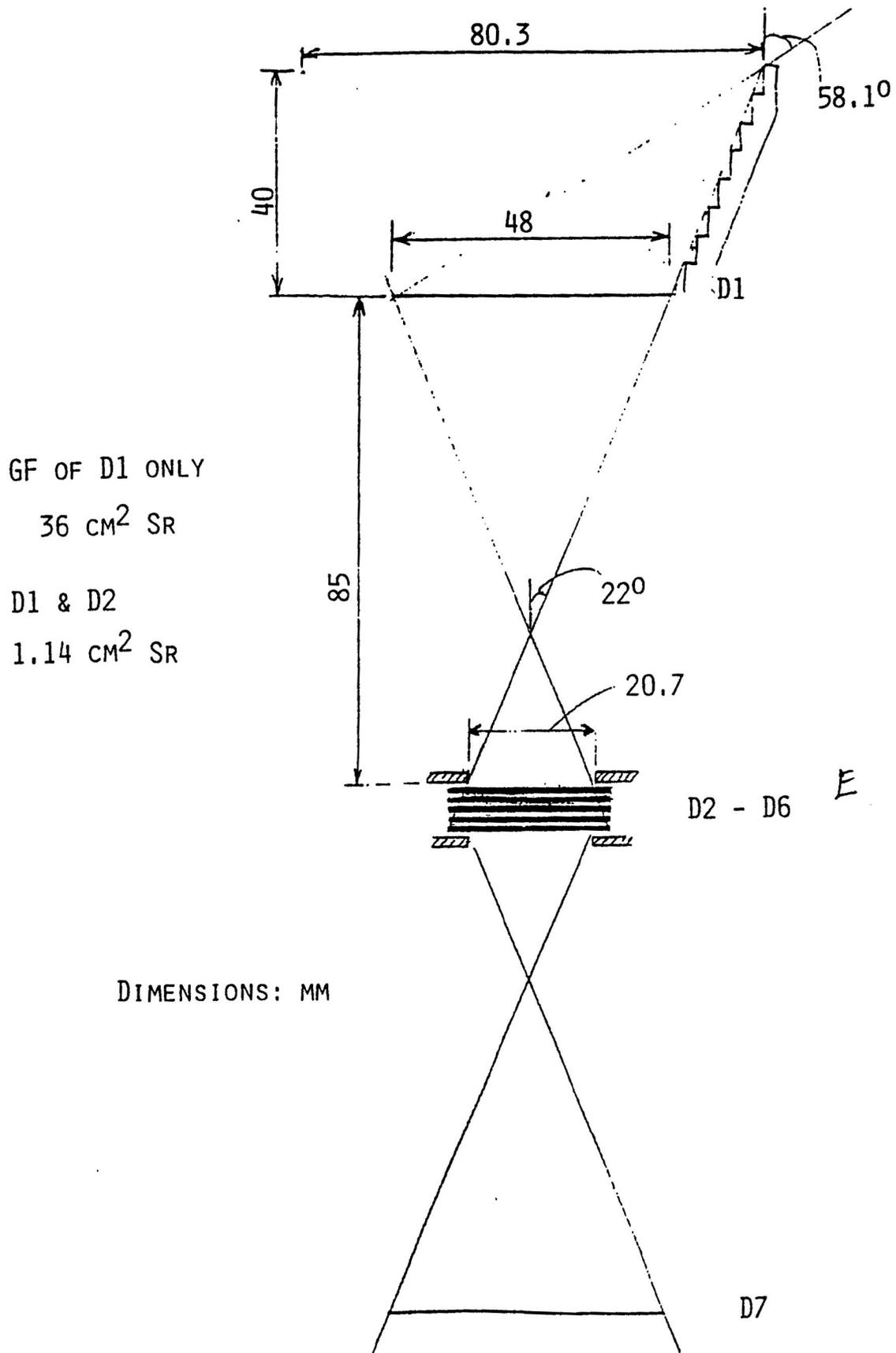
*Júlio Maranhão*

FIGURA 1: TELESCÓPIO PRE - GEOMETRIA CIRCULAR



DIMENSIONS: MM

FIGURA 2: TELESCÓPIO MAIN - GEOMETRIA RETANGULAR



```

C      FUNCTION ENELOSS (ZA,AWA,DEN,T,ZP,AWP,DEDX)
C      PROGRAMME TO CALCULATE ENERGY LOSSES FOR PARTICLES zp IN MATERIALS ZM
C
C      SUBROUTINE1: PERDAS de ENERGIA
C
C      open(1,file='ENELOSS.dat')
C
C      ZA charge, AWA Atomic Weight(*10-3kg/mol); and DEN(kg/m3) density of Absorber
C
C      DEN=2.7E3
C      AWA=27
C      ZA=13
C      PARTICLE ATOM NO. T= KE, ZP Charge No.
C      AWP=127
C      T=700
C      ZP=53
C
C      r0= Classical electron radius= 2.818*10-15 m; AME2 ELE REST ENERGY (MEV)
C      T KIN ENERGY (MEV)
C      AME2=0.511
C      r0=2.818E-15
C      PI=22/7
C      velc=2.99793E+8
C
C      NA AVAGADRO No. 6.023*1023 at/mol
C      ANA=6.023E+23
C
C      ION POT FOR MATERIALS (MEV) :C=78E-6, N=85E-6,O=89E-6,Mg=156E-6
C      AI (MeV)=(9.76+58.8ZA-1.19)ZA for ZA>12
C
C      if(ZA.eq.6)then
C          AI=78E-6
C          goto 20
C      end if
10     if(ZA.eq.7) then
C          AI=85E-6
C          goto 20
C      end if
11     if(ZA.eq.8) then
C          AI=89E-6
C          goto 20
C      end if
12     if(ZA.eq.12) then
C          AI=156E-6
C          goto 20
C      end if
C      AI=(9.76+58.8*(ZA-1.19))*ZA*1E-6
C
C      ZP: PARTICLE CHARGE(-1 for e, +1 for p etc),
C      T,AMC2 (MEV): PARTICLE KIN ENERGY, REST MASS
C
20     IF(ZP.GT.0) goto 50
C
C      gama=(T+AME2)/AME2
C      gama2=gama**2
C      beta2=1-(1/gama2)
C      beta=sqrt(beta2)

```

```

write(*,*)'IIII=1',FN,r0,AME2,gama2,gama,beta,beta2,DEN,ANA,AI
C
C
C
dE/dX= 4*PI(*r0)**2*(mc**2/beta**2)*(DEN*NA/A)*BRANCH
C
C
C
FACTOR1=(4*PI)*(r0**2)*ZP**2*(AME2/beta2)*DEN*ZA*ANA/(AWA*1E-3)
write(*,*)'jjjjj=1',FACTOR1

C
C
C
BRANCH FOR ELE={ln(beta*gama*sqrt(gama-1)*mc**2/I)+1/2*gamma**2[((gamma-1)**2/8)+
C
C
C
-(2*gama**2+2*gama-1)ln2]}

FACTOR2=ALOG(beta*gama*sqrt(gama-1)*AME2/AI)
write(*,*)'kkkkk=1',FACTOR2
FACTOR3=1/(2*gama2)*(((gamma-1)**2/8)+1-((2*gama2+2*gama-1)*ALOG(2.0)))
write(*,*)'lllll=1',FACTOR3

C
C
C
DEN IN kg/m**3 ; DEDX in MeV/m
DEDXI=FACTOR1*(FACTOR2+FACTOR3)
DEDXR=ZA*T*DEDXI/750.
DEDX=DEDXI+DEDXR
write(*,*)'ION ENE LOSSI =',DEDXI,'MeV/m RAD.ENE LOSS =', DEDXR,'MeV/m'
write(*,*)'ENERGY LOSS =',DEDX,'MeV/m'
go to 1000

C
C
C
BRANCH FOR p upto ALPHA={ln(2mc**2*beta**2/I)-ln(1-beta**2)-beta**2}
C
C
C
ZP=1 for p, 2 for alpha etc. AMC2 particle rest mass energy.

50
AMC2=AWP*939.
gama=(T+AMC2)/AMC2
gama2=gama**2
beta2=1-(1/gama2)
beta=sqrt(beta2)
vel=beta*velc

if(ZP.GT.2)goto 150

C
C
C
dE/dX= 4*PI(*r0)**2*(mc**2/beta**2)*(DEN*NA/A)*BRANCH
C
C
C
FACTOR1=(4*PI)*(r0**2)*ZP**2*(AME2/beta2)*DEN*ZA*ANA/(AWA*1E-3)
write(*,*)'jjjjj=1',FACTOR1

FACTOR2=ALOG(2*AME2*beta2/AI)
write(*,*)'kkkkk=1',FACTOR2

FACTOR3=-ALOG(1-beta2)-beta2
write(*,*)'lllll=1',FACTOR3

C
C
C
DEN IN kg/m**3 ; DEDX in MeV/m
DEDX=FACTOR1*(FACTOR2+FACTOR3)
write(*,*)'ENERGY LOSS1 =',ZP,DEDX,'MeV/m'
goto 1000

C
C
C
BRANCH FOR Z >2 OR ABOVE ALPHA

C
C
C
ORBVELOCITY=2*PI*e**2/h*ZP**2/3 [ZP**2/3*ALPHA(fine constant1/137)]
C
150
ORBVEL=0.2187545E+7*ZP**(2/3)
betalimit=ORBVEL/velc
gamalim=1/sqrt(1-beta**2)
Tlim=(gamalim-1)*AMC2
DEDX=ZP**2*ZA*ALOG(2*AME*beta2/AI)/(velc**2*beta2*AWA*1E-3)
write(*,*)ORBVEL,betalimit,gamalim,Tlim,velc

```

```
1000 write(*,*)'ENERGY LOSS2 =',ZP,DEDX,'MeV/m'  
end
```

```

C      Programme to calculate GEOMETRICAL FACTOR ORCAS DETECTOR PRE
C
C
C      SUBROUTINE 2: GEOMETRICAL FACTOR PRE - CIRCULAR GEOMETRY
C
C      open(1,file='GFCIRMAINII.dat')
C      pi=22/7
C      RENT RADIUS OF ENTRANCE TOP;
C      RENT=1.06
C      RENT=5.678
C      RDD1 Radius of Detector1
C      RDD1=0.5'
C      RDD1=3.394
C      RD2E Radius of Detector2 ENTRANCE SLIT
C      RD2E=0.31
C      RD2E=1.46
C      d1= Distance between Detector1 and TOP ENTRANCE
C
C      d1=6.8
C      d1=4.0
C      d2= Distance between ENT SLIT OF Detector2 and TOP ENTRANCE
C      d2=15.9
C      d2=12.5
C      write(1,*) ' GEOMETRY : MAIN CIRCULAR TYPE'
C      write(1,*) 'RADIUS of ENTRANCE RENT=', RENT
C      write(1,*) 'RADIUS OF DET 1, RDD1=', RDD1
C      write(1,*) 'RADIUS OF ENT SLIT DET2 RD2E=', RD2E
C      write(1,*) 'DIST DET1 and ENTRANCE, d1=', d1
C      write(1,*) 'DIST D2 SLIT and ENTRANCE d2=', d2
C
C      TOP ENTRANCE xe,ye,ze,re, PHI are coordinates and
C      azimuth in entrance slit
C      u,v,w= cosine angles, gamma,PHIL zenith and azimuth
C      angle at slit entrance point
C      xd,yd,zd,rd Detector intersection point coordinates,
C
C      write(1,*) 'SERIAL TRIAL NO. =          SUC TRIAL NO.='
C      write(1,*) 'POSITION ON TOP      XE=      YE=      ZE=      AZM ANG='
C      write(1,*) 'DIR COSINES OF INCIDENCE      U=      V=      W=      AZM ANG='
C      write(1,*) 'POSITION ON DET 1      XD1=      YD1=      ZD1=      RD1='
C
C      r=ran2(-163804)
25      do i=1,1000000
C          r=ran2(int(10000*r))
C
C      TOP ENTRANCE
C
C          re= r*RENT
C          r=ran2(int(10000*r))
C          PHI= r* 2*pi
C          xe= re*cos(PHI)
C          ye= re*sin(PHI)
C          ze=0.0
C          r=ran2(int(10000*r))
C          gamma= acos(r)
C          w=cos(gamma)
C          r=ran2(int(10000*r))
C          PHIL= 2*pi*r
C          u=sin(gamma)*sin(PHIL)
C          v=sin(gamma)*cos(PHIL)
C
C
C      FIRST DETECTOR ENTRANCE
C

```

```

        t1=d1/w
        xd1=xe+t1*u
        yd1=ye+t1*v
        zd1=t1*w
        rd1=sqrt(xd1**2+yd1**2)
        if(rd1.gt.RDD1) go to 50
        j=j+1
c      write(1,*)i, j
c      write(1,*)xe,ye,ze,PHI
c      write(1,*)u,y,w,PHIL
c      write(1,*)xd1,yd1,zd1,rd1
c
c      SECOND DETECTOR ENTRANCE
c
        t2=d2/w
        xd2=xe+t2*u
        yd2=ye+t2*v
        zd2=t2*w
        rd2=sqrt(xd2**2+yd2**2)
        if(rd2.gt.RD2E) go to 50
        k=k+1
c      write(1,*)
c      write(1,*)
c      write(1,*)
c
c      write(1,*)i, j, k
c      write(1,*)xd2,yd2,zd2,rd2
50     end do
c
c      GEOM FACT= 2PI (SOL ANG) TIMES 2* AREA
c
GFTOP= 2*pi*2*pi*(RENT**2)
GFDET1= float(j)/float(i)*GFTOP
GFDET2= float(k)/float(i)*GFTOP
write(1,*)
write(1,*)
write(1,*)
write(1,*)
write(1,*)
write(1,*)
write(1,*)

write(1,*)'TOP INC=',i, 'DET1 INC=',j, 'DET2 INC=', k
write(1,*)'GEOM FACT OF DET1=',GFDET1, 'CM**2. Sr'
write(1,*)'GEOM FACT OF DET2=',GFDET2, 'CM**2. Sr'
end

FUNCTION ran2(idum)
INTEGER idum,IM1,IM2,IMM1,IA1,IA2,IQ1,IQ2,IR1,IR2,NTAB,NDIV
REAL ran2,AM,EPS,RNMX
PARAMETER (IM1=2147483563,IM2=2147483399,AM=1./IM1,IMM1=IM1-1,
*IA1=40014,IA2=40692,IQ1=53668,IQ2=52774,IR1=12211,IR2=3791,
*NTAB=32,NDIV=1+IMM1/NTAB,EPS=1.2e-7,RNMX=1.-EPS)
INTEGER idum2,j,k,iv(NTAB),iy
SAVE iv,iy,idum2
DATA idum2/123456789/, iv/NTAB*0/, iy/0/
if (idum.le.0) then
  idum=max(-idum,1)
  idum2=idum
  do 11 j=NTAB+8,1,-1
    k=idum/IQ1
    idum=IA1*(idum-k*IQ1)-k*IR1
    if (idum.lt.0) idum=idum+IM1
    if (j.le.NTAB) iv(j)=idum
  11 continue

```

```

11      continue
        iy=iv(1)
      endif
      k=idum/IQ1
      idum=IA1*(idum-k*IQ1)-k*IR1
      if (idum.lt.0) idum=idum+IM1
      k=idum2/IQ2
      idum2=IA2*(idum2-k*IQ2)-k*IR2
      if (idum2.lt.0) idum2=idum2+IM2
      j=1+iy/NDIV
      iy=iv(j)-idum2
      iv(j)=idum
      if (iy.lt.1) iy=iy+IMM1
      ran2=min(AM*iy,RNMX)
      return
      END
C (C) Copr. 1986-92 Numerical Recipes Software 41$$'!)L.

```

```

c      Programme to calculate GF of MAIN DETECTOR
c
c      SUBROUTINE 3: GEOMETRICAL FACTOR MAIN: RECTANGULAR
c
c      open(1, file='GFMAIN.dat')
c      pi=22/7
c      RENT RADIUS OF ENTRANCE; RDD
c      RENT=5.678
c      DIAG SIZE of Detector1
c      RDD1=3.394
c      RD2E DIAG SIZE of Detector2 ENTRANCE SLIT
c      RDE2=1.46
c      d1= distance between detector and entrance slit
c      d1=4.0
c      d2= Distance between ENT SLIT OF Detector2 and TOP ENTRNCE
c      d2=12.5
c
c      TOP ENTRANCE xe,ye,ze,re, PHI are coordinates and
c      azimuth in entrance slit
c      u,v,w= cosine angles, gamma,PHIL zenith and azimuth
c      angle at slit entrance point
c      xd,yd,zd,rd Detector intersection point coordinates,
c
c      write(1,*)'SERIAL TRIAL NO. =          ACCP.TRIAL NO.='
c      write(1,*)'POSITION ON TOP  XE=    YE=    ZE=    AZM ANG='
c      write(1,*)'DIR COSINES OF INCIDENCE  U=    V=    W=    AZM ANG='
c      write(1,*)'SERIAL TRIAL NO.= ,ACCEP TRIAL NO.= DET1 ACCEP='
c      write(1,*)'POSITION ON DET 1  XD1=  YD1=  ZD1=  RD1='
c      write(1,*)'TOPENT=  TOP ENT EXP=  ENT ACC DET1='
c      write(1,*)'TOPENT=  DET2 ENT EXP=  ENT ACC DET2='
c
c      r=ran2(-163804)
c
c      25      do i=1,100000
c
c              r=ran2(int(10000*r))
c
c      TOP ENTRANCE
c      re= r*RENT
c      r=ran2(int(10000*r))
c      PHI= r* 2*pi
c      xe= re*cos(PHI)
c      ye= re*sin(PHI)
c      ze=0.0
c      if(abs(xe).gt.4.015) goto 50
c      if(abs(ye).gt.4.015) goto 50
c      j=j+1
c      r=ran2(int(10000*r))
c      gamma= acos(r)
c      w=cos(gamma)
c      r=ran2(int(10000*r))
c      PHIL= 2*pi*r
c      u=sin(gamma)*sin(PHIL)
c      v=sin(gamma)*cos(PHIL)
c      write(1,*)
c      write(1,*)
c      write(1,*)i,j
c      write(1,*)xe,ye,ze,PHI
c      write(1,*)u,v,w,PHIL
c      write(1,*)
c
c      FIRST DETECTOR ENTRANCE

```

c

```
t1=d1/w
xd1=xe+t1*u
yd1=ye+t1*v
zd1=t1*w
rd1=sqrt(xd1**2+yd1**2)
if(abs(xd1).gt.2.4) goto 50
if(abs(yd1).gt.2.4) goto 50
k=k+1
```

c

```
write(1,*)i,j,k
write(1,*)xd1,yd1,zd1,rd1
```

c

c

SECOND DETECTOR ENTRANCE

c

```
t2=d2/w
xd2=xe+t2*u
yd2=ye+t2*v
zd2=t2*w
rd2=sqrt(xd2**2+yd2**2)
if(abs(xd2).gt.1.035) goto 50
if(abs(yd2).gt.1.035) goto 50
l=l+1
```

c

```
write(1,*)
write(1,*)i,j,k,l
write(1,*)xd2,yd2,zd2,rd2
```

c

c

50 end do

c

GEOM FACT= 2PI (SOL ANG) TIMES 2\* AREA

c

c

```
GFTOP= 2*pi*2*pi*(RENT**2)
GFDET1= float(k)/float(i)*GFTOP
GFDET2= float(l)/float(i)*GFTOP
write(1,*)
write(1,*)
write(1,*)
write(1,*)
write(1,*)
write(1,*)'GF TOP=',GFTOP
```

```
write(1,*)'TOP INC i=',i, 'DET1 EXPECTED INC j=',j, 'DET1 ACCECEPTED INC k',
write(1,*)'TOP INC=',i, 'DET2 EXPECTED INC k=',k, 'DET2 ACCECEPTED INC l='
```

```
write(1,*)'GEOM FACT OF DET1=',GFDET1, 'CM**2. Sr'
write(1,*)'GEOM FACT OF DET2=',GFDET2, 'CM**2. Sr'
```

end

```
FUNCTION ran2(idum)
INTEGER idum, IM1, IM2, IMM1, IA1, IA2, IQ1, IQ2, IR1, IR2, NTAB, NDIV
REAL ran2, AM, EPS, RNMX
PARAMETER (IM1=2147483563, IM2=2147483399, AM=1./IM1, IMM1=IM1-1,
*IA1=40014, IA2=40692, IQ1=53668, IQ2=52774, IR1=12211, IR2=3791,
*NTAB=32, NDIV=1+IMM1/NTAB, EPS=1.2e-7, RNMX=1.-EPS)
INTEGER idum2, j, k, iv(NTAB), iy
SAVE iv, iy, idum2
DATA idum2/123456789/, iv/NTAB*0/, iy/0/
if (idum.le.0) then
idum=max(-idum,1)
idum2=idum
do 11 j=NTAB+8,1,-1
k=idum/IQ1
```

```

        idum=IA1*(idum-k*IQ1)-k*IR1
        if (idum.lt.0) idum=idum+IM1
        if (j.le.NTAB) iv(j)=idum
11      continue
        iy=iv(1)
      endif
      k=idum/IQ1
      idum=IA1*(idum-k*IQ1)-k*IR1
      if (idum.lt.0) idum=idum+IM1
      k=idum2/IQ2
      idum2=IA2*(idum2-k*IQ2)-k*IR2
      if (idum2.lt.0) idum2=idum2+IM2
      j=1+iy/NDIV
      iy=iv(j)-idum2
      iv(j)=idum
      if (iy.lt.1) iy=iy+IMM1
      ran2=min(AM*iy,RNMX)
      return
    END

```

C (C) Copr. 1986-92 Numerical Recipes Software 41\$\$'!)L.