

Ле Ван Нгок

БЗ-11-85-743



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

62.87/85

Б 3-11-85-743

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

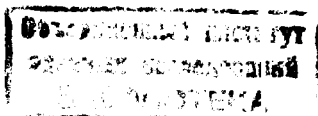
Дубна 19 85 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

БЗ-11-85-743

Ле Ван Нгок

МОНТЕ-КАРЛОВСКИЙ РАСЧЕТ ВКЛАДА ЯДЕР-ОТДАЧИ И ТЯЖЕЛЫХ ПРОДУКТОВ  
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В АТМОСФЕРЕ В РАДИАЦИОННЫЕ ДОЗЫ НА РАЗНЫХ  
ВЫСОТАХ



Рукопись поступила  
в издательский отдел  
.. 16. 10 1985

Дубна, 1985.

### АННОТАЦИЯ

Описана программа статистических расчетов радиационных доз на различных высотах, создаваемых ядрами отдачи и тяжелыми фрагментами, которые возникают в атмосфере под действием космического излучения. Программа может использоваться также для оценки радиационного действия искусственных источников адронного излучения в околоземном пространстве.

## I. Введение

Для оценки радиационной обстановки и расчетов радиационной защиты при полетах на различных высотах в земной атмосфере, важно учесть моделирование на ЭВМ биологическое действие космического излучения. Под действием космических лучей в атмосфере генерируются потоки адронов (в основном нуклонов и  $\pi$ -мезонов), дающих основной вклад в радиационную дозу. В работах<sup>1,2</sup> построена математическая модель, позволяющая рассчитывать этот эффект на разных высотах в атмосфере. Кроме этого, большой вклад дают ядра-отдачи и различные ядерные фрагменты, образующиеся в процессе развития межядерного каскада в атмосфере. Хотя пробеги ядер-отдачи, тяжелых продуктов ядерных реакций в тканях человеческого тела малы, биологическая эффективность ионов намного больше, чем у нуклонов и  $\pi$ -мезонов.

В данной работе описаны дополнения и изменения, которые следует сделать в программе<sup>1</sup> для учета вклада указанной ядерной компоненты. В качестве иллюстрации приводятся результаты расчета радиационной дозы для разных высот на широте  $43^\circ$  в условиях "спокойного солнца" (соответствующий спектр космических лучей взят из работы<sup>3</sup>).

## II. Физические основы

Для расчетов использовалась та же модель атмосферы, что и в работе<sup>1</sup>. Проходя сквозь атмосферу, частицы (первичные или вторичные) испытывают упругие и неупругие столкновения с ядрами азота и кислорода. Если происходит упругое взаимодействие, ядро-мишень получает импульс и, соответственно, энергию отдачи, которые определяются из законов сохранения энергии-импульса:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{P}_0 = \vec{P}_1 + \vec{P}_A \\ M_A + \sqrt{P_0^2 + m^2} = \sqrt{P_1^2 + m^2} + \sqrt{P_A^2 + M_A^2} \end{array} \right. \quad (I)$$

Здесь  $m$ ,  $M_A$  — масса налетающей частицы и ядра-мишени;  
 $P_0$ ,  $P_1$  — импульс налетающей частицы до и после столкновения.

Решая систему уравнений (I), получим:

$$P_1(\theta) = \frac{mP_0 \cos\theta (m+M_A \sqrt{m^2+P_0^2}) \pm \sqrt{\delta}}{(m^2 M_A^2 + P_0^2 + m^2 + 2mM_A \sqrt{m^2+P_0^2}) - P_0^2 \cos^2\theta} \quad (2)$$

где

$$\delta = m^2 P_0^2 \cos^2\theta (m+M_A \sqrt{m^2+P_0^2})^2 - (m^2 M_A^2 + m^2 + P_0^2 + 2mM_A \sqrt{m^2+P_0^2} - P_0^2 \cos^2\theta) m^2 P_0^2 (1-M_A^2)$$

$\theta$  - угол рассеяния.

Поскольку  $P_1(0) = P_0$ , в выражении (2) перед радикалом  $\sqrt{\delta}$  следует взять знак "Плюс". Зная импульс частицы после столкновения вычислим импульс ядра-отдачи:

$$\vec{P}_A = \vec{P}_0 - \vec{P}_1 \quad (3)$$

и его энергию:

$$T_A = \sqrt{M_A^2 + P_A^2} \quad (4)$$

В случае, когда происходит неупругое столкновение, инициируются внутриядерный каскад и рождается определенное число вторичных адронов. После каскада ядро, как правило, сильно возбуждено и испускает (испаряет) частицы  $p$ ,  $n$ ,  $d$ ,  $He^3$ ,  $He^4$ . В конце испарительной стадии ядро имеет импульс отдачи:

$$\vec{P}_A = \vec{P}_1 - \sum_i \vec{P}_i \quad (5)$$

где  $\vec{P}_1$  - импульс ядра до начала испарительной стадии,

$\sum_i \vec{P}_i$  - сумма импульсов испарившихся частиц.

Энергия остаточного ядра

$$T_A = \sqrt{M_A^2 + P_A^2} \quad (6)$$

Эту энергию ядро целиком расстрачивает на ионизационные процессы.

Для расчета ионизационных пробегов ядер отдачи использовалась приближенная формула:



$$R_A(T_A) = \frac{M_A}{m_p} \cdot \frac{z_p^2}{z_A^2} \cdot R_p \left( \frac{m_p}{M_A} \cdot T_A \right) \quad (7)$$

где  $z_p$  и  $z_A$  - заряды протона и ядра,  
 $R_p$  и  $R_A$  - их пробеги.

Энергия обрезания для ядер-отдачи и фрагментов, распространяющихся в атмосфере:

$$T_A^{\text{обр.}} = \frac{M_A}{m_p} T_p^{\text{обр.}} \quad (8)$$

где  $T_p^{\text{обр.}}$  - энергия обрезания для протона. В нашей программе  $T_p^{\text{обр.}} = 15$  МэВ.

Усредненная доза облучения в слое воздуха:

$$D_A = \frac{1}{\Delta R} \int_{\Delta R} dE D(E) N(E, r) \quad (9)$$

где  $D(E)$  - удельная эквивалентная доза  $\left[ \frac{\text{Бэр см}^2}{\text{сек}} \right]$

$N(E, r)$  - спектр ядер отдачи (или фрагментов) в точке  $r$   
 $\left[ \frac{\text{ядро (или фрагмент)}}{\text{сек. см}^2 \cdot \text{МэВ}} \right]$

$\Delta R$  - толщина слоя воздуха [см]

Поскольку кинетическая энергия ядер-отдачи и тяжелых продуктов зависит от  $z$  как от параметра выражения (9) можно представить в виде:

$$D_A = \frac{1}{\Delta R} \int_{\Delta R} dz D(z) N(z)$$

где  $z \equiv z(E)$

### III. Программа для ЭВМ

Для моделирования межядерного каскада в атмосфере используется Монте-карловская программа /I/. Входя в атмосферу земли, космическая частица теряет некоторую часть своей энергии на ионизацию (если частица заряженная) и испытывает далее ядерное взаимодействие. Тип взаимодействия высоко энергетической частицы с ядром-мишенью определяется в подпрограмме MAINMC /I/.

В этой подпрограмме

Дополнительно задаваемые величины

- $P_1$  - импульс налетающей частицы после упругого взаимодействия,  
 $TE$  - кинетическая энергия ядра отдачи,  
 $PE$  - импульс ядра-отдачи.

Дополнительно выдаваемые величины

- $A_1, Z_1$  - массовое число и заряд ядра,  
 $TO$  - кинетическая энергия налетающей частицы до взаимодействия,  
 $PNI, PNx, PNY, PNz$  - импульс налетающей частицы и три его компоненты до взаимодействия,  
 $P1X, P1Y, P1Z$  - компоненты импульса налетающей частицы после упругого взаимодействия,  
 $PEX, PEY, PEZ$  - компоненты импульса ядра-отдачи,  
 $COSE$  - угол между импульсом ядра-отдачи и осью  $z$ ,  
 $IKP$  - вспомогательный параметр, использующийся в ENLOSA,  
 $TAP$  - кинетическая энергия в расчете на нуклон ядра-отдачи.

В подпрограмме ELANGL вычисляются импульс и кинетическая энергия ( $P_1, T$ ) налетающей частицы после упругого взаимодействия, и соответственно, импульс и кинетическая энергия ( $PE, TE$ ) ядра отдачи с помощью соотношения (2).

Дополнительно выдаваемые величины

$P_1, T, PE, TE$

В подпрограмме EVARON определяются импульс и кинетическая энергия ядра-отдачи и тяжелых фрагментов в процессе испарения, а также косинус угла между направлением ядра отдачи или тяжелого фрагмента с осью  $z$ .

Дополнительно выдаваемые величины

- $P, P_x, P_y, P_z$  - импульс испарившейся частицы и три его компоненты,  
 $PE, PEX, PEY, PEZ$  - импульс ядра отдачи после испарительной стадии и, соответственно, три его компоненты,  
 $COSE$  - косинус угла между направлением импульса ядра отдачи или фрагмента и осью  $z$ ,  
 $IKP$  - вспомогательный параметр,  
 $TR$  (или  $TF$ ) - кинетическая энергия (на нуклон) остаточного ядра отдачи или фрагмента.

Подпрограмма ENLOSA вычисляет ионизационный пробег ядра отдачи или фрагмента в атмосфере по формуле (7).

Задаваемые величины:

$T$  - кинетическая энергия в расчете на нуклон ядра отдачи или фрагмента,  
 TR(1-85), RN(1-85) - характеристики ионизационной способности протона,  
 WP(3) - начальная  $Z$ -ая координата ядра отдачи или фрагмента

Выдаваемые величины

WX и WC - координаты начальной и конечной точек ионизационного пробега ядра отдачи или фрагмента в единицах  $[Г/см^2]$  и  $[см]$   
 RD - ионизационный пробег ядра отдачи или фрагмента.

Используемые подпрограммы

PREST, GM

Примечание: Параметр  $\Gamma_{кр}$  различает вызов ENLOSA из MAINMC и вызов ENLOSA из EVAPOR .

Характеристики ядра отдачи или фрагмента записаны в массив WP(1-9) и элемент WPIN(4) . Поэтому в случае, когда ENLOSA вызывается из MAINMC , нужно переносить вычисленные характеристики частицы после упругого взаимодействия в массив WP (1-9) в конце ENLOSA .

Подпрограмма NUCLET используется для записи на внешний носитель траектории ядра отдачи или фрагмента для последующей ее обработки.

Задаваемые величины

WPIN(1-9) и WP (1-9) - характеристики ядра отдачи или фрагмента в начале и конце ионизационного пробега,

RZ (1-5) - толщина слоев, на которые разбита атмосфера.

Выдаваемые величины

IMIN, IMAX, IM, IN, TK, DL, WP(1), WP(2), WP(3), WP(4), WP(9), WP(8), DL, NBROS



Примечание: NUCLET вызывается из ENLOSA . Все выдаваемые величины аналогичны соответствующим величинам в PROTON /I/ и записываются на внешний носитель. Программа DOSNU используется для обработки результатов расчетов в NUCLET , находящихся на внешнем носителе, с помощью Монте-карловской техники в оценке потоков ядер отдачи и тяжелых фрагментов.

#### Задаваемые величины

RO(3) - плотность атмосферы,  
 RZ(1-5) - разбиение атмосферы,  
 GH(1) - высота атмосферы,  
 GH(2) - экспериментальный параметр.

Величины I<sub>MIN</sub>, I<sub>MAX</sub>, I<sub>M</sub>, I<sub>N</sub>, T<sub>K</sub>, wp(3), wp(4), wp(9), wp(8), DL, NBROS находятся на внешнем носителе.

#### Выдаваемые величины

DOS(I-5) - усредненная доза облучения, создаваемая ядрами отдачи и тяжелыми фрагментами в каждом слое атмосферы. Эти величины рассчитаны по формуле (10).

#### Используемые подпрограммы

GRAM, DEPODX, INFORM, INTERC, INTEG

Подпрограмма INFORM задает удельные эквивалентные дозы ядер  ${}^2\text{He}^4$ ,  ${}^4\text{Be}^9$ ,  ${}^7\text{N}^{14}$ ,  ${}^{14}\text{Si}^{28}$  и вычисляет их логарифмы.

#### Задаваемые величины

A(I-4) - массовое число ядра  
 Z(I-4) - заряд ядра.

#### Задаваемые величины

D(I-12) - допустимая плотность потока вышеуказанных ядер, создающая допустимую мощность дозы, при энергиях на нуклон E(I-12).

#### Выдаваемые величины

A(I-4), Z(I-4), E(I-12), D(I-12) в логарифмическом масштабе.

#### Примечание: INFORM вызывается из DOSNU .

Подпрограмма INTERC для расчета логарифмов удельных эквивалентных доз какого-либо ядра отдачи или тяжелого фрагмента в атмосфере при заданных энергиях (в расчете на нуклон).

#### Задаваемые величины

A(I-4), Z(I-4) (см. в INFORM), wz - логарифм заряда ядра отдачи или тяжелого фрагмента.

Выдаваемые величины

$D$  (I-12) - удельные дозы ядра отдачи или тяжелого фрагмента в логарифмическом масштабе.

Примечание: INTERC вызывается из DOSNU .

Подпрограмма INTEG используется для оценки вклада ядра отдачи или фрагмента в общую дозу в каждом слое атмосферы.

Задаваемые величины

IMIN , IMAX , IM , DL (см. в NUCLET ) ,

TR(1-85) , RN(1-85) (см. в ENLOSA ) .

Выдаваемые величины

DOSE - вклад ядер отдачи и фрагментов в суммарную дозу облучения.

Используемые подпрограммы

GM, QINT, ARSIMP, REMER

Примечание: Для вычисления интеграла

$$\frac{1}{\Delta z} = \int_{z_0}^{z_i} dz D(z) N(z) = \frac{1}{\Delta z \Delta R} \int_{z_0}^{z_i} dz D(z) \phi(z),$$

где  $\Delta z = |z_1 - z_0|$  , а  $\phi(z)$  - поток ядер отдачи или фрагментов в точке  $z$  .

Используется приближенная формула:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta z \Delta R} \int_{z_0}^{z_i} dz D(z) \phi(z) &= \frac{1}{\Delta z \Delta R} \sum_{i=1}^{10} \int_{\tilde{z}_{i-1}}^{\tilde{z}_i} dz D(z) \phi(z) \\ &\cong \frac{1}{\Delta z \Delta R} \sum_{i=1}^{10} \Phi_i \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz D(z) \cong \frac{\bar{\Phi}}{\Delta z \Delta R} \sum_{i=1}^{10} \int_{\tilde{z}_{i-1}}^{\tilde{z}_i} dz D(z) \end{aligned}$$

Подпрограмма REMER - для расчета удельной эквивалентной дозы ядра отдачи (или тяжелого фрагмента) при любой энергии.

Задаваемые величины

$T$  - энергия на нуклон ядра отдачи или фрагмента.

Выдаваемые величины

D— удельная эквивалентная доза при энергии T/нуклон.

Используемые подпрограммы

QINT

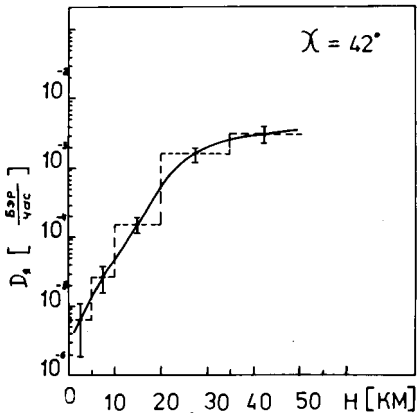
В приложении приведены подпрограммы, изменяемые с учетом вклада ядер отдачи и тяжелых фрагментов, и программа обработки. Пользуемся случаем выразить нашу благодарность В.С.Барашенкову за помощь и обсуждение. Мы благодарны также В.И.Цовбуну за предоставление данных, характеризующих биологическую эффективность различных ионов.

ЛИТЕРАТУРА

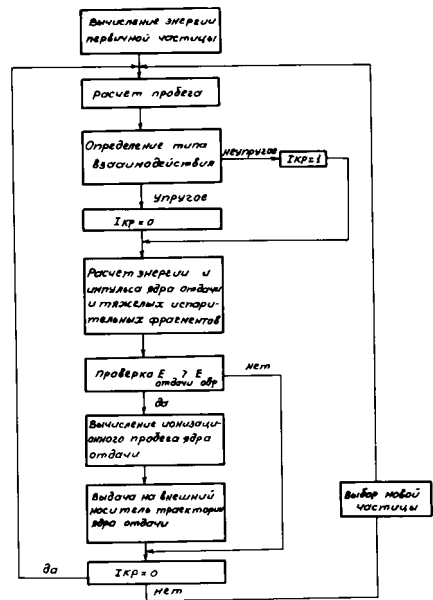
- 1..Ле Ван Нгок, Шмаков С.Ю. ОИИИ, Б2-85-47, Дубна, 1985.
2. Барашенков В.С., Ле Ван Нгок, Шмаков С.Ю. ОИЯИ, Р2-85-46, Дубна, 1985.
3. Donald M.C. F.V. IQSY observation of low energy galactic and Solar cosmic ray, Annals of IQSY, vol. 4, p.187-216, Mit Press, Cambridge, 1969.
4. Немец О.Ф., Ю.В.Гофман. Справочник по ядерной физике. Изд-во "Наукова думка", Киев, 1975.
5. Нормы радиационной безопасности НРБ-76 и основные санитарные правила ОСП-72/80. Атомиздат, М., 1981.

ПОДПИСЬ К РИСУНКУ

Рис. I. Высотное распределение радиационных доз, создаваемых ядрами отдачи и тяжелыми продуктами в атмосфере на широте  $\lambda = 42^\circ$  в условиях "спокойного солнца".



Блок-схема расчет ядер отдачи и тяжелых продуктов



```

SUBROUTINE MAIN MC (TOBRNN, NSTAT, CONT, BN1, BN2, BN3, BP1, BP2, BP3)
THE MAIN SUBROUTINE
COMMON /BLOK77/ SP T(9, 60) /BLOK88/ SECPR1(9, 150)
*/TABLCS/ SIGMA(30, 13), ARGUS(30, 3)
*/TYPECS/ ICST(28), NSIGST(21)
*/COEFA/ ANKJ(4, 4, 29) /COEFB/ ENKJ(4, 4, 8), CKJ(3, 8)
COMMON /HCASC/ ANUC1, ZNUC1, EP1, VP1, A, C, D, TFO
COMMON ANUCL, ZNUCL, EPS, VPI, N, RSH(10), REIG(10), RHOP(10), RHON(10),
*AF(10), TFP(10), TFN(10)
*/BEGIN/ CH0, T0, T1, T2, MEC, MQU, MS0, LD
COMMON /NFART/ NEWF /VREMJI/ TIME /OBRDET/ TOBRD /TOGRD/ TGPD
COMMON /MATINE/ KK /MANYKO/ NKOMP /HEFIS/ FISFL
COMMON /BLK100/ ENP(30, 3) /TOGR/ TGR
COMMON /BLOK1/ GH(5) /BLK104/ SGPI(30, 3)
* /BLG F4/ SPFU(5, 11) /BLGR5/ VNU(5)
*/BLK101/ SGNT(30, 3) /BLK102/ SGPT(30, 3) /BLK103/ SGNI(30, 3)
COMMON /BLGR1/ EGR(27) /BLGR2/ SGLN(2E, 6, 3) /BLGR3/ SUV(10, 11, 3)
COMMON /BLOK7/ TR(85) /BLOK8/ RN(85) /BLOK9/ RP(85)
COMMON /BLSDA/ SD(3), ASD
*/BLOK2/ ATG(3), ZTG(3) /PMA BSR/ PIMR
* /BL1000/ AM, ANF /BL0999/ RADNCL
* /BLCK13/ TOBRN, TOBRP /BLGR6/ CLN
* /BLINEL/ TCASC, BOUNDN, BOUNDP
*/WRPR11/ X1, X2, X3, TC, SF, CF, T, Q, AMP /WRPR/ WP(9)
* /WRPRIN/ WPIN(9)
*/GOOUT/ GUT /BLOK11/ PUGL /BLOK10/ PI2G /PRZVNL/ VINEL
* /BLOKRT/ CTR, SFR, CFR, STR
* /BLFUS/ FUSION /BL1003/ U, AI, Z
COMMON /BL1001/ T1Y(130) /BL1002/ T2XY(200)
* /BL1014/ EAM(6) /BL1016/ CC(6)
*/BL1005/ AJ(6) /BL1006/ ZJ(6) /BL1008/ DLM(6) /BL1017/ VK(6)
*/NBROS/ NBROS
COMMON /CHAR/ A1, Z1 /COSE/ COSE /VER/ IKP /SOLID/ TE
COMMON /P/ PNI, P1, PE
COMMON /HCU/ COST, CI, CI
DIMENSION SR(3)
DIMENSION SNI1(30), SNI2(30), SNI3(30), EN1(30), EN2(30), EN3(30)
EQUIVALENCE (SGNI(1), SNI1(1)), (SGNI(31), SNI2(1)), (SGNI(61), SNI3(1))
EQUIVALENCE (ENP(1), EN1(1)), (ENP(31), EN2(1)), (ENP(61), EN3(1))

DATA (RANDZ=000031411053646211713)
CALL RDMIN(RANDZ)
CALL ZERO(NBROS)
CALL GRAM
NBROS=0
DO 777 J1=1, NSTAT
CALL RDMOUT(RNUM)
CALL SECOND(CT)
RT=0.

SELECTION OF ANGULAR AND ENERGETIC CHARACTERISTICS OF A NEW
PARTICLE

CALL SPECTR
IF (CT-TIME) 10, 10, 776
10 CALL INSPAR
11 CONTINUE
IDEUTR = -1
IF (WP(9)-1882.0) 41, 41, 25
41 IF (WP(9)-950.0) 42, 42, 43
43 IDEUTR = +1
IF (WP(7)-TOBRD) 25, 44, 44
44 PRINT 45
45 FORMAT(/, 10X, 20(1H*), * DEUTRONS *, 20(1H*), /)
GO TO 105
42 KK = 1
IF (WP(9)-1000.) 12, 12, 25
12 IF (WP(9)-500.) 13, 13, 14
13 IF (WP(7)-TOBRP) 25, 25, 18
14 IF (WP(8).GT.0.1) GO TO 16
15 IF (WP(7)-TOBRNN) 17, 17, 18
16 IF (WP(7)-TOBRN) 25, 25, 18
TOBRN -THE CUTOFF ENERGY IN MEV FOR TRANSPORTING PROTONS.
TOBRP -THE CUTOFF ENERGY IN MEV FOR TRANSPORTING PIONS.
TOBRNN -THE CUTOFF ENERGY IN MEV FOR HIGH ENERGY NEUTRONS (T=10.5 M
17 CONTINUE

```

```

C   TRANSPORT OF LOW ENERGY NEUTRON
    CALL LOENT
    GO TO 25
C   CALCULATION OF FREE PATH OF PROTON AND PI MESON BEFORE COLLISION
18  CALL ENLOSS
105  IF( IDEUTR) 53,53,52
5 ?  IF(GOT.GT.0.0) GO TO 21
    IF (POGL.GT.0.0) GO TO 21
    KK=1
    BETA = SUB(WP(7),EN1,EN3,30) / SUB(WP(7),EN1,EN2,30)
    GO TO 155
53  IF(GOT) 19,19,21
19  IF(POGL)20,20,21
20  IF(PI2G)22,22,21
21  VINEL=0.
    IF (PIMR)25,25,222
222  WP(7) = 10.0
22  3 = RNDM(-1)
C   SELECTION OF A TYPE OF THE TARGET NUCLEUS
    DO 51 K = 1,NKO
51  SR(K)=SD(K)*CROSST(K,WP(9),WP(7))
    DO 165 K = 2,NKOMP
165  SR(K) = SR(K-1)+SR(K)
    B=RNDM(-1)*SR(NKOMP)
    DO 164 K = 1,NKOMP
161  IF(B-SR(K))161,161,164
164  IF(K-2)150,151,452
C   CONTINUE
    KK-ELEMENT IDENTIFIER (K=1,2,3)
150  KK=1 $ BOUNDN=BN1 $ BOUNDP=BP1 $ GO TO 152
452  KK=3 $ BOUNDN=BN3 $ BOUNDP=BP3 $ GO TO 152
151  KK=2 $ BOUNDN=BN2 $ BOUNDP=BP2
152  IF(PIMR)153,153,154
C   PIMR-(PI-)-MESONS REACHING THEIR ENERGY CUTOFF WILL BE
    FORCED TO INTERACT VIA THE INTRA-NUCLEAR-CASCADE (PIMR=+1)
154  BETA = 1.0
    GO TO 155
153  BETA = CROSSI(KK,WP(9),WP(7))/CROSST(KK,WP(9),WP(7))
C   CHOICE OF THE INTERACTION TYPE
155  IF(RNDM(-1)-BETA)23,23,24
23  VINEL=1.
C   DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS OF SECONDARIES
C   CALL INELIN
C   STORING PARTICLES IN TO THE MEMORY
    CALL SPT SEC
    FISPL = -1.0
    GO TO 25
24  VINEL=-1.
    A1=ATG(KK) $ Z1=ZTG(KK)
    TO=WP(7)
    PNI=SQRT(TO*(TO+2.*WP(9)))
    SQ=SQRT(1.-WP(4)**2)
    PNX=PNI*WP(6)*SQ $ PNY=PNI*WP(5)*SQ
    PNZ=PNI*WP(4)
    CALL ELANGL(ATG(KK),WP(7),WP(9),CTE,SFE,CFE)
    CALL SUBROT(WP(4),WP(5),WP(6),CTE,SFE,CFE)
    WP(4)=CTR $ WP(5)=SFR $ WP(6)=CFR
    TAP=TF/A1 $IF(TAP.LE.15.)GOTO11
    SQ1=SQRT(1.-WP(4)**2)
    P1X=P1*WP(6)*SQ1 $P1Y=P1*WP(5)*SQ1
    P1Z=P1*WP(4)
    PEX=PNX-P1X $PEY=PNY-P1Y
    PEZ=PNZ-P1Z
    COSE=PEZ/PE $IKP=1
    COSI=COSE
    SINE=SQRT(1.-COSE**2)
    IF(SINE)500,500,501
500  SI=0. $CI=1. $G 10502
501  CONTINUE
    SI=PEY/(PE*SINE) $CI=PEX/(PE*SINE)
502  CONTINUE
    CALL ENLOSA
    GO TO 11
25  CONTINUE

```





```

SUBROUTINE EVAPOR(ENEXT,ATWGT,CHARGE,PNX,PNY,PNZ,
*AM,AMF,RADNCL,FUSION,KSTART)
COMMON /BL1001/T1Y(130) /BL1002/T2XY(200)
COMMON/BL1011/VJ(6) /BL1015/RJ(7)
*/BL1005/AJ(6) /EL1006/ZJ(6) /BL1008/CLM(6)
*/BL1014/GAM(6) /EL1016/CC(6) /BL1017/VK(6)
*/BL1003/U,AI,Z/BL1009/AFJ(7) /EL1010/ZFJ(6)
COMMON/BL0K77/SPT(9,60)/BLANGL/ANGL(4)
* /WRF/ WP (9)
COMMON/CHAR/A1,Z:/COSE/COSE/VER/IKP/SOLID/TE
COMMON/HCU/COST,S1,C1
DIMENSION GJ(7),EJ(7)
FUSION=-1.
U=ENEXT*1000. $ AI=ATWGT $ Z=CHARGE $ REMN=940.*AI
VNX=(PNX/REMN)*1000. $ VNY=(PNY/REMN)*1000. $ VNZ=(PNZ/REMN) 1000.
KST1 = KSTART
DO 20 K=KST1,60
IF(AI-4.0)101,101,100
100 IF(Z-2.0)101,101,5
101 IF(AI-1.0)102,102,103
102 RETURN
103 EP1=U/AI$U=U-EP1
IF(Z-1.0)104,105,105
104 EP2=0.0$GO TO 106
105 EP2=1.0
106 Z=Z-EP2$EP3=940.0$AI=AI-1.0
GO TO 107
5 DL=DELTAM(AI,Z)
DO 6 I=1,6
AFJ(I)=AI-AJ(I) $ ZFJ(I)=Z-ZJ(I)
VJ(I) = COLOMB(I,RADNCL,AM,AMF)
BJ(I)=DELTAM(AFJ(I),ZFJ(I))-(CL-DLM(I) )
6 RJ(I)=U-(BJ(I)+VJ(I))
A=AI
N1=(A-1.)/2 $ N2=Z/2
IF(N1-(A-1.)/2.) 90,91,91
90 RJ(1)=RJ(1)-12./SQRT(A) $ GO TO 93
91 IF(N2-Z/2.) 93,92,92
92 RJ(1)=RJ(1)-2. (12./SQRT(A))
93 CONTINUE
X=Z**2/A
XT=((X-33.5)**2)**0.333333333
IF(X-33.5) 71,71,72
71 BJ(7)=12.5+4.7*X**0.9/8. $ GO TO 73
72 BJ(7)=12.5-2.7*XT
73 CONTINUE
L1=(A-Z)/2. $ L2=Z/2.
IF((A-Z)/2.-L1) 75,75,74
74 BJ(7)=BJ(7)+1.0
75 CONTINUE
IF(Z/2.-L2) 76,76,77
76 BJ(7)=BJ(7)-0.5
77 CONTINUE
IZ=Z $ IA=A
TZ=T1Y(IZ) $ TN=T2XY(IA-IZ)
BJ(7)=BJ(7)-(TZ+TN)
BJ(7)=BJ(7)/(1.+SQRT(U/(2.*A)))
AFJ(7)=A $ RJ(7)=U-BJ(7)
M1=A/2. $ M2=Z/2.
IF(M1-A/2.) 80,81,81
80 RJ(7)=RJ(7)-1./(1.+SQRT(U/(2.*A))) $ GO TO 83
81 IF(M2-Z/2.) 83,82,82
82 RJ(7)=RJ(7)-2./(1.+SQRT(U/(2.*A)))
83 CONTINUE
CALL ARFA11(PER,#M,AMF)
C
DO 7 I=1,7
IF(RJ(I))8,8,9
8 GJ(I)=0. $ GO TO 7
9 GJ(I)=GAMMA(I,PER,AM,AMF,RADNCL)
7 CONTINUE
G=0. $ DO 10 I=1,7
10 G=G+GJ(I)
IF(G)11,11,12
11 RETURN
12 DO 13 J=2,7
13 GJ(J)=GJ(J-1)+GJ(J)

```

```

      R = RNDM(-1)*G
      DO 14 J=1,7
      IF (R-GJ(J)) 15,14,14
15    LM=J $ GO TO 16
14    CONTINUE
16    IF (LM-7) 18,17,18
17    FUSION=1.
      RETURN
18    EP1=TKIN(LM,AM,AMF) $ EP2=ZJ(LM) $ EP3=940.*AJ(LM)
      U=(RJ(LM)-EP1)+VJ(LM)
13    AI=AFJ(LM) $ Z=ZFJ(LM)
C 107 CONTINUE
      CALCULATION OF KINETIC ENERGY, MOMENTUM, DIRECTION OF HEAVY PARTICLE
      VPM=SQRT((2.*EP1)/EP3) $ CALL ISANGL
      VPX=VPM*ANGL(4)*ANGL(3)
      VPY=VPM*ANGL(4)*ANGL(2)
      VPZ=VPM*ANGL(1)
      VX=VNX+VPX $ VY=VNY+VPY $ VZ=VNZ+VPZ
      VM=SQRT(VX**2+VY**2+VZ**2)
      COT = VZ/VM $ TEMP1=1.-COT**2
      PX=VX*EP3 $ PY=VY*EP3 $ PZ=VZ*EP3
      P=SQRT(PX**2+PY**2+PZ**2)
      IF (TEMP1) 30,30,31
30    SPT(4,K)=1.0 $ SPT(5,K)=0. $ SPT(6,K)=1.0 $ GO TO 32
31    SIT=SQRT(TEMP1)
      SPT(4,K)=COT $ SPT(5,K)=VY/(VM*SIT) $ SPT(6,K)=VX/(VM*SIT)
32    CONTINUE
      SPT(1,K)=WP(1) $ SPT(2,K)=WP(2) $ SPT(3,K)=WP(3)
      SPT(7,K)=(EP3+VM**2)/2.0 $ SPT(8,K)=EP2 $ SPT(9,K)=EP3
      KSTART = KSTART+1
      TF=SPT(7,K)*940./EP3
      IF (EP2.GE.2..AND.TF.GT.15.) GOTO 300
      GOTO 303
300    TE=P**2/(2.*EP3) $ COSE=COT $ A1=EP3/940. $ Z1=EP2 $ IKP=0
      COST=COSE
      SI=SPT(5,K) $ CI=SPT(6,K)
      CALL ENLOSA
303    CONTINUE
      PNX=PNX-FX $ PNY=PNY-PY $ PNZ=PNZ-PZ
20    CONTINUE
      A1=AI $ Z1=Z
      IF (Z1.LI.2.) RETURN
      PEX=PNX $ PEY=PNY $ PEZ=PNZ
      PE=SQRT(PEX**2+PEY**2+PEZ**2)
      TE=SQRT(PE**2+(A1*940.)**2)-A1*940.
      COSE=PEZ/PE $ IKP=0
      TR=TE/A1 $ IF (TR.LE.15.) RETURN
      SQ2=SQRT(1.-COSE**2)
      COST=COSE
      IF (SQ2) 500,500,501
500    SI=0. $ CI=1. $ GO TO 502
501    CONTINUE
      SI=PEY/(PE*SQ2) $ CI=PEX/(PE*SQ2)
502    CONTINUE
      CALL ENLOSA
      RETURN
      END

```

```

SUBROUTINE NUCLEI
REGISTRATION OF CHARACTERISTICS OF HEAVY PARTICLE
PASSING THROUGH THE ATMOSPHERE
COMMON/WRPRIN/WPIN(9)/WRPR/WP(9)/RZ/RZ(100)/BLOK11/POGL
* /BLOK7/TR(85)/BLCK8/RN(85)/BLOK9/PP(85)/NBROS/NBROS
COMMON/DIO/REO,RE,IPN
COMMON/ICE/IM,OL
IF(WPIN(3).EQ.0..AND.WP(3).EQ.0.)RETURN
WP(1)=WPIN(1) $WP(2)=WPIN(2)
IPN=1
DO1 I=1,5
IF(WPIN(3).LE.RZ(I))GOTO2
CONTINUE
RETURN
IO-THE INDEX OF THE ZONE WHERE THE INITIAL POINT OF THE
TRAJECTORY OF THE CHARGED PARTICLE IS
IO=I
DO4 J=1,5
IF(WP(3).LE.RZ(J))GOTO5
CONTINUE
RETURN
I1-THE INDEX OF THE ZONE WHERE THE END POINT OF THE
TRAJECTORY OF THE CHARGED PARTICLE IS
I1=J
IMIN=MINO(IO,I1) $IMAX=MAXO(IO,I1)
WZ=GM(WPIN(3)) $WZ1=GM(WP(3))
IF(IO.LT.I1)GOTO7
IF(IO.GT.I1)GOTO8
GOTO9

INCR,IC,IO-THE AUXILIARY PARAMETERS USED FOR DIFFERING
THE CASE IO SMALLER THAN I1 FROM THE CASE IO GREATER THAN I1
INCR=1 $IC=0 $IO=1
I=IO+INCR
RH=GM(RZ(IO+IC)) $RH1=GM(RZ(1))
IF(IO.EQ.1)GOTO11
DL=ABS((RZ(IO+IC)-WPIN(3))/(RZ(IO)-RZ(IO-1)))
TRACE=ABS((RH-WZ)/WPIN(4))
IM=IO $IN=IO $GOIO=2
DIL=(RZ(1)-WPIN(3))/RZ(1) $IM=1 $IN=1
TRACE=ABS((RH1-WZ)/WPIN(4))
IF(WP(8).EQ.0.)GOTO27
IRA=1
TK=ENCHA(TRACE,IRA)
CALL PLACO(WP(1),WP(2))
GOTO20
TK=WP(7)
CALL PLACO(WP(1),WP(2))
WRITE(3)IMIN,IMAX,IM,IN,TK,WP(1),WP(2),WP(3),WP(4),WP(9),
* WP(8),DL,NBROS
IF(I.EQ.11)GOTO24
IF(WP(8).NE.0.)GOTO26
K1=IMIN+1 $K2=IMAX-1
DO100 K=K1,K2
DL=1. $IM=K $IN=K $TK=WP(7)
CALL PLACO(WP(1),WP(2))
IM,IN-THE INDEXS OF THE ZONES TO WHICH A PART OF THE
TRAJECTORY OF HEAVY PARTICLE BELONGS
TK-THE KINETIC ENERGY OF THE CHARGED PARTICLE
WP(3)-THE END POINT OF A PART OF THE TRAJECTORY
WP(4)-COSINE OF THE ENTER ANGLE OF HEAVY PARTICLE
WP(9)-MASS OF HEAVY PARTICLE
WP(8)-THE CHARGE
DL-PART OF HEAVY PARTICLE PASSING THROUGH A ZONE
NBROS-NUMBER OF THE SIMULATED PRIMARY PARTICLES
WRITE(3)IMIN,IMAX,IM,IN,TK,WP(1),WP(2),WP(3),WP(4),WP(9),
* WP(8),DL,NBROS
CONTINUE
GOTO29
DL=1. $IM=I $IN=I
RA=GM(RZ(I)) $RB=GM(RZ(I-1))
TRACE1=ABS((RA-RB)/WPIN(4))
TRACE=TRACE+TRACE1
IRA=1
TK=ENCHA(TRACE,IRA)
CALL PLACO(WP(1),WP(2))

```

```
WRITE(3) IMIN, IMA X, IM, IN, TK, WP(1), WP(2), WP(3), WP(4), WP(9), WPC(8),
*DL, NBROS
29 I=I+INCR
IF(INCR.LT.0)GOTO50
IF(I-I1)23,24,25
50 IF(I-I1)25,24,23
24 IF(T.EQ.1)GOTO30
DL=ABS((WP(3)-RZ(I-ID))/(RZ(I)-RZ(I-1)))
IM=I $IN=I
IF(WP(8).EQ.0.)GOTO41
RH2=GM(RZ(I-ID))
TRACE2=ABS((WZ1-FH2)/WPIN(4))
39 TRACE=TRACE+TRACE2
IRA=1
TK=ENCHA(TRACE,IRA) $GOTO36
36 CALL PLACO(WP(1),WP(2))
WRITE(3) IMIN, IMA X, IM, IN, TK, WP(1), WP(2), WP(3), WP(4), WP(9),
*WP(8), DL, NBROS
GOTO29
30 DL=ABS((WP(3)-RZ(1))/RZ(1)) $IM=1 $IN=1
IF(WP(8).EQ.0.)GOTO41
TRACE2=ABS((WZ1-FH1)/WPIN(4))
GOTO39
25 RETURN
3 INCR=-1
IC=-1 $ID=0 $GOTO10
9 IF(ID.EQ.1)GOTO60
DL=ABS((WP(3)-WPIN(3))/(RZ(ID)-RZ(ID-1)))
IM=ID $IN=ID $GOTO61
60 DL=ABS((WP(3)-WPIN(3))/RZ(1)) $IM=1 $IN=1
61 IF(WP(8).EQ.0.)GOTO41
IRA=1
TRACE=ABS((WZ-WZ1)/WPIN(4))
TK=ENCHA(TRACE,IRA)
GOTO40
41 TK=WP(7)
40 CALL PLACO(WP(1),WP(2))
WRITE(3) IMIN, IMA X, IF, IN, TK, WP(1), WP(2), WP(3), WP(4), WP(9),
*WP(8), DL, NBROS
RETURN $END
```

FUNCTION ENCHA(TRACE,I)

CALCULATION OF KINETIC ENERGY OF HEAVY PARTICLE  
AT THE END OF EACH ZONE

COMMON/DIO/REC,RE,IPN  
COMMON/BLOK7/TR(85)/BLOK8/RN(85)/BLOK9/RF(85)  
COMMON/CHAR/A1,Z  
IF(IPN.GT.0)GOTO1

IPN DEFINES WHERE THE CONTROL COMES FROM (PROTON OR ENLOSS)

RE1=RF \$GOTO10  
1 RE1=REC-TRACE  
3 RE1=RE1\*(Z1\*\*2)/A1  
ENCHA=QINT(RE1,RN,TR,85)  
ENCHA=ENCHA\*A1 \$RETURN  
10 IF(I.EQ.2)GOTO20  
IF(RE1.GE.0.3)GOTO15  
ENCHA=0. \$RETURN  
15 ENCHA=QINT(RE1,RN,TR,85)  
RETURN  
20 IF(RE1.GE.1.2)GOTO30  
ENCHA=0. \$RETURN  
30 ENCHA=QINT(RE1,RF,TR,85)  
RETURN \$END



```

C SUBROUTINE ELANGL(A,T,RM,CTE,SFE,CFE)
C ELANGL CALCULATES THE NEW DIRECTION COSINES AFTER ELASTIC SCATTERING
C OF A PARTICLE WITH MASS RM AND ENERGY T ON NUCLEUS A.
C CALCULATION OF KINETIC ENERGY, MOMENTUM OF RECOILING NUCLEUS
C COMMON/SOLID/TE/P/PNI,F1,PE
C DIMENSION WP(9)
C HI2=(1.68/1.E+05)*(A**(2./3.))*T*(T+2.*RM) $ PI=3.1415926536
C W1=1.-EXP(-HI2*PI**2) $ W2=1.-RNDM(-1)*W1
C W1=SQRT(-ALOG(W2)/HI2)
C CTE=COS(W1) $ W2=2.*PI*RNDM(-1) $ SFE=SIN(W2) $ CFE=COS(W2)
C TO=T $ A1=A $ WP(9)=RM
C C=WP(9)*PNI*COS(CTE) (WP(9)+A1*SQRT(PNI**2+WP(9)**2))
C C1=C**2
C C2=(WP(9)**2)*A1**2+PNI**2+WP(9)**2+2.*WP(9)*A1*SQRT(PNI**2+WP(9)
C **2)-(PNI**2)*(COS(CTE)**2)
C C3=(WP(9)**2)*PNI**2*(1.-A1**2)
C DEL=C1-C2*C3
C P1=(C+SQRT(DEL))/C2
C T=SQRT(P1**2+WP(9)**2)-WP(9)
C PF=SQRT(PNI**2+WP(9)**2)-SQRT(P1**2+WP(9)**2)
C PG=2.*WP(9)*A1+PF
C PE=SQRT(PF*PG)
C TE=SQRT(PE**2+(A1*940.)**2)-A1*940.
C RETURN
C END
```

```
SUBROUTINE ENLOSA
COMMON/WRPR/WP(9)/CHAR/A1,Z1/SOLID/TE/BLOK7/TR(35)/BLOK8/RN(85)
COMMON/VER/IKF/GOCUT/G(T/WRPRI)/WPIN(9)
COMMON/RZ/RZ(100)/DIO/REO,RE,IPN
COMMON/HCU/COST,SI,CI
COMMON/COSE/COSE
COMMON/INTER/WX
DO100 I=1,9
100 WPIN(I)=WP(I)
WQ=WPIN(4) $WP(8)=Z1 $WP(9)=A1
WP(4)=COSE $WPIN(4)=COSE
WP(5)=SI $WP(6)=CI
T=TE/A1
REO=QINT(T,TR,RN,35) $REO=REO*A1/(Z1**2)
RE=REO
WX=GM(WPIN(3))
CALL PREST(WC) $RD=WC-WPIN(3)
RD=ABS(RD/WP(4))
CALL NEWCOR(RD,1) $CALL OUT(WP(1),WP(2),WP(3))
IF(GOT.LT.0.)GOTO10
IF(WP(3).LT.0.)GOTO5
WP(3)=RZ(100) $GOTO10
5 WP(3)=0.
10 CALL NUCLET
IF(IKP.EQ.0)RETURN
WP(1)=WPIN(1) $WF(2)=WPIN(2) $WP(3)=WPIN(3)
WP(5)=WPIN(5) $WF(6)=WPIN(6)
WP(4)=WQ $WP(8)=WPIN(8) $WP(9)=WPIN(9)
RETURN $END
```

```

PROGRAM DOSNU(INFUT,OUTPUT,TAPE3)
COMMON/WRPR/WP(9)
COMMON/WZ/WZ
COMMON/ESTA/E(12),D(12,4)
COMMON/BLOK3/RO(3),DI(3),R2(3)/BLOK1/GH(5)
DIMENSION DOS(11),ER(11),A(11),B(11)
RO(3)=1.443E-3 $GH(1)=0.5E+7 $GH(2)=0.73274E+6
DO100 I=1,5
DOS(I)=0. $A(I)=0. $B(I)=0.
100 CONTINUE
SP=2436.
CALL INFORM
CALL GRAM
1 CALL DEPODX(1.,14.4,7.2,91.7,1.443E-3,0.)
CONTINUE
READ(3)IMIN,IMAX,IM,IN,TK,WP(1),WP(2),WP(3),WP(4),
*WP(9),WP(8),DL,NBROS
IF(EOF(3).NE.0.)GOTO1000
IF(WP(4).EQ.0.)GOTO1
WZ=ALOG(WP(8))
CALL INTERC
CALL INTEG(IMIN,IMAX,IM,DL,DOSE)
DOS(IM)=DOS(IM)+DOSE
D1=1.652283*DOSE
A(IM)=A(IM)+D1 $B(IM)=B(IM)+D1**2
GOTO1
1000 CONTINUE
DO500 J=1,5
DOS(J)=1.852283*(DOS(J)/SP
A(J)=(A(J)/SP)**2 $B(J)=B(J)/SP
ER(J)=SQRT((B(J)-A(J))/(SP-1.))
500 CONTINUE
PRINT2000
2000 FORMAT(2X,15HDOSE OF NUCLEUS)
PRINT3000,(DOS(L),L=1,5)
3000 FORMAT(2X,5F11.4)
PRINT3000,(ER(K),K=1,5)
END
    
```

```

SUBROUTINE INTEG (M,N,IP,DL,DOSE)
COMMON/WRPR/WP(9)/RZ/RZ(100)
COMMON/BLOK7/TR(8)/BLOK8/RN(85)/BLOK9/RP(85)
DIMENSION ZH(11),EF(11),D(11)
I=IM $IF(I.EQ.1)GOTO2000
RZI=RZ(I)-RZ(I-1)
GOTO2001
2000 RZI=RZ(1)
2001 TF(WP(4).L1.0.)GOTO99
IF(M.EQ.N)GOTO180
IF(I.NE.N)GOTO200
WZ=WP(3) $GOTO205
200 WZ=RZ(I) $GOTO205
180 WZ=WP(3)
205 IF(I.EQ.1)GOTO220
H0=WZ-CL*(RZ(I)-RZ(I-1)) $GOTO230
220 H0=WZ-DL*RZ(1)
230 H1=WZ $STEP=(H1-H0)/10.
ZH(1)=H0 $IF(I.NE.M)GOTO.1
RD=ABS((GM(WP(3))-GM(H0))/WP(4))
GOTO11
99 IF(M.EQ.N)GOTO250
IF(I.NE.M)GOTO310
WZ=WP(3) $GOTO305
300 WZ=RZ(I-1) $GOTO305
280 WZ=WP(3)
305 IF(I.EQ.1)GOTO320
H0=WZ+DL*(RZ(I)-RZ(I-1)) $GOTO330
320 H0=WZ+DL*RZ(1)
330 H1=WZ $STEP=(H1-H0)/10.
ZH(1)=H0 $IF(I.NE.N)GOTO.1
RD=ABS((GM(WP(3))-GM(H0))/WP(4))
11 CONTINUE
DO1 J=2,11
ZH(J)=ZH(1)+STEP*(J-1)
1 CONTINUE
R00=RD*(WP(8)**2)/WP(9)
TK=QINT(R00,RN,TR,85) $CALL REMER(TK,DA) $D(1)=DA
REF=0.3*WP(9)/(WP(8)**2)
DO2 K=2,11
ZG=GM(ZH(K-1)) $ZG1=GM(ZH(K))
RG=ABS((ZG1-ZG)/WP(4)) $RD=RD-RG
IF(RD.LE.REF)GOTO120
RD1=RD*WP(8)**2/WP(9)
EP(K)=QINT(RD1,RN,TR,85)
GOTO3
120 TK=0. $D(K)=0. $GOTO2
3 TK=EP(K) $CALL REMER(TK,DA)
D(K)=DA
2 CONTINUE
CALL ARSIMP(11,STEP,D,R)
R=ABS(R)
DOSE=R/(10*RZI+AES(WP(4)))
RETURN $END
    
```

```
SUBROUTINE INFORM
COMMON/WRPR/WP(9)/CONE/A(4),Z(4)/ESTA/E(12),D(12,4)
DATA(E=2.,5.,10.,20.,50.),1.E+2,2.E+2,5.E+2,1.E+3,2.E+3,
*5.E+3,1.E+4)
DATA(A=4.,9.,14.,28.)
DATA(Z=2.,4.,7.,14.)
DATA(D=9.2E-4,1.2E-3,2.E-3,3.7E-3,1.1E-2,3.2E-2,8.E-2,
*2.E-1,4.E-1,8.E-1,2.,3.625,3.5E-4,3.8E-4,4.5E-4,
*6.2E-4,1.2E-3,2.5E-3,8.5E-3,2(5.7E-1),4.7E-1,
*3.5E-1,2.5E-1,0.,1.7E-4,2.1E-4,2.4E-4,
*3.7E-4,6.5E-4,1.9E-3,2.E-3,1.3E-1,2(1.5E-1),1.4E-1,
*0.,8.7E-5,9.7E-5,1.E-4,1.1E-4,1.6E-4,2.5E-4,7.E-4,
*1.1E-2,3(1.2E-2))
D(1,3)=1.1E-4 $D(1,4)=1.8E-5
D020 K=1,4
D020 L=1,12
D(L,K)=(2.5E-3)/D(L,K) $D(L,K)=ALOG(D(L,K))
20 CONTINUE
D04 K=1,4
4 Z(K)=ALOG(Z(K))
CONTINUE
D05 M=1,12
5 E(M)=ALOG(E(M))
CONTINUE
RETURN $END
```

```
SUBROUTINE INTERC
COMMON/WRPR/WP(9)/DONE/A(4),Z(4)/ESTA/E(12),D(12,4)/D1/D1(12)
COMMON/WZ/WZ
DO1 I=2,4
I1=I-1
IF(WZ.GE.Z(I1).AND.WZ.LE.Z(I))GOTO2
1 CONTINUE
2 J=I1
DZ=Z(J+1)-Z(J)
DO7 N=1,12
DE=D(N,J+1)*(WZ-Z(J))
DF=D(N,J)*(Z(J+1)-WZ)
D1(N)=(DE+DF)/DZ
7 CONTINUE
RETURN $END
```



```
SUBROUTINE REMER(T,DX)
COMMON/ESTA/E(12),D(12,4)/D1/D1(12)
T=ALOG(T)
DX=QINT(T,E,D1,12)
DX=EXP(OX)
RETURN $END
```