

Б1-2-5458

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория теоретической физики

Н.М.СОБОЛЕВСКИЙ

ПРОГРАММА РАСЧЕТА НУКЛОН-МЕЗОННОГО КАСКАДА В ВЕЩЕСТВЕ
МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

с.ф. 3111

13 ноября 70

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Дубна, 1970 г.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	стр.
§1. Введение.....	2
§2. Общая блок-схема и основные физические процессы, реализованные в программе.....	4
§3. Практическая работа с программой.....	14
Литература.....	27
Приложения I-4 и Дополнение.....	31

§ I. В в е д е н и е

Взаимодействие частиц высоких энергий с веществом - очень важный в прикладном отношении вопрос. Рассмотрение таких задач как расчёт радиационной защиты ускорителей и космических кораблей, учёт влияния на пучки ускоренных частиц разного рода фильтров, изучение распределения радиоактивных изотопов в толще облучённого вещества и т.п. - всё это требует знания характеристик частиц, образующихся при взаимодействии высокоэнергетического излучения с веществом. Эта информация необходима также для анализа взаимодействия первичного космического излучения с веществом метеоритов и с поверхностями планет, лишённых атмосферы.

Получение указанной информации экспериментальным путём - задача весьма трудоёмкая, требующая значительных затрат и не во всех случаях разрешимая. Поэтому желательно уметь рассчитывать взаимодействие ядерно активных частиц с веществом теоретически.

Удобным, а иногда и единственно возможным способом расчёта является моделирование процесса методом Монте-Карло на ЭВМ.

Ниже приводится достаточно подробное описание программы расчёта ядерного каскада в веществе методом Монте-Карло и инструкция для её использования.

Программа написана на языке **FORTRAN** и реализуется на ЭВМ БЭСМ-6. Эта программа позволяет моделировать взаимодействие нуклонов и π - мезонов с блоком однокомпонентного вещества некоторой заданной геометрии. Обобщение на многоком-

понтные среды не вызывает принципиальных затруднений.

Рассматриваются следующие интервалы кинетических энергий частиц:

$$\text{протоны} \quad 10,5 \text{ Мэв} < T_p \leq 5 \text{ Гэв}$$

$$\pi - \text{ мезоны} \quad 10,5 \text{ Мэв} < T_\pi \leq 5 \text{ Гэв}$$

$$\text{нейтроны} \quad 0,215 \text{ эв} < T_n \leq 5 \text{ Гэв}$$

(Значение 10,5 Мэв обусловлено тем, что константы для расчёта ядерных реакторов /1/, с помощью которых в настоящей программе моделируется поведение низкоэнергетических нейтронов, заданы в интервале энергий 0,215 эв - 10,5 Мэв. В отношении протонов и π - мезонов величина 10,5 Мэв не имеет какого-либо принципиального значения. Фактически можно уже не рассматривать распространение заряженных частиц с энергиями ниже ~ 30 Мэв из-за высоких ионизационных потерь при этих энергиях).

Значение верхней границы ~ 5 Гэв связано с пределами применимости каскадной модели ядерных реакций в её обычном виде /2,3/, используемой в настоящей программе.

Массовое число вещества мишени может иметь значения в интервале $25 \leq A \leq 209$. Нижняя граница обусловлена пределами применимости каскадно-испарительной модели, а при A бóльших, чем верхняя граница, имеет место процесс деления, который в данной программе не рассматривается.

Указанные ограничения по энергии и по массовому числу существенны только при рассмотрении частиц с энергиями ниже нескольких десятков Мэв. Если нас интересуют только частицы с энергиями $T \geq 100$ Мэв, то область применимости программы расширяется: $100 \text{ Мэв} \leq T < 30 \text{ Гэв}$, A - любое.

В её настоящем виде программа относится к блокам вещества следующих конфигураций: цилиндр, слой, бесконечное полупространство. Обобщение программы на другие конфигурации не представляет затруднений.

Программа вычисляет следующие характеристики для каждой прослеживаемой частицы:

координаты её местонахождения (x, y, z)
направление полёта (ϑ, φ)
кинетическую энергию T

Имея эти индивидуальные характеристики, можно построить интересные нас распределения, например: спектры и угловые распределения частиц, покинувших блок; распределения числа ядерных реакций по глубине поглотителя; тепловыделение в блоке и т.п.

Организация выдачи зависит от конкретной моделируемой ситуации.

§ 2. Общая блок-схема и основные физические процессы, реализованные в программе

Типичная экспериментальная ситуация, моделируемая с помощью настоящей программы, изображена на рис. 1.

Проследим работу программы по блок-схеме рис. 2. Нумерация на блок-схеме соответствует нумерации пунктов описания. Случайные числа, равномерно распределённые в интервале $(0,1)$, обозначены через β .

1. Розыгрыш акта взаимодействия частицы с блоком вещества начинается с определения характеристик первичной частицы. При

этом задаются координаты точки входа в вещество, направление полёта и кинетическая энергия. Например, в случае точечного моноэнергетического пучка протонов с энергией T_0 , направленного вдоль оси Z , первичная частица полностью определяется заданием девяти чисел: $X = 0$, $y = 0$, $Z = 0$, $\cos \vartheta = 1$, $\sin \varphi = 0$, $\cos \psi = 1$, $T = T_0$, $e = +1$ и $M = 940$. В более общих случаях, когда пучок имеет пространственное или угловое распределение или некоторый энергетический спектр, соответствующие характеристики могут быть определены путём розыгрыша по заданным распределениям.

2. После того, как характеристики частицы определены, проверяем, удовлетворяет ли она условиям данной задачи. Например, мы можем ограничиваться рассмотрением только частиц с энергиями выше некоторого значения T_{min} , а данная частица имеет более низкую энергию. Тогда эту частицу забываем и переходим к следующей. Забываются также тяжёлые заряженные частицы (дейтон, тритон, He^3 и α) возникающие на испарительной стадии ядерной реакции (см. ниже), распространение которых в веществе можно не рассматривать из-за высоких ионизационных потерь. Эти частицы могут быть использованы при учёте тепловыделения в блоке.

3. Если частица удовлетворяет условиям задачи, то проверяем, не является ли она нейтроном с энергией ниже 10,5 Мэв. Поведение таких нейтронов моделируется особо, с использованием реакторных констант, о чём будет сказано ниже.

4. Если рассматриваемая частица не является низкоэнергетическим нейтроном, то переходим к розыгрышу её пробега до точки взаимодействия.

Длина ядерного пробега l для нейтронов и π^0 - мезонов определяется по формуле:

$$l = -\lambda(T) \ln \beta \quad (1)$$

Здесь $\lambda(T)$ - средняя длина ядерного пробега:

$$\lambda(T) = \frac{A}{N \rho \sigma_{tot}(T)} \quad (2)$$

где: A - массовое число мишени

ρ - плотность материала мишени

N - число Авогадро

$\sigma_{tot}(T)$ - полное сечение взаимодействия частицы с ядром

Для протонов и заряженных π^- - мезонов учитываются потери энергии на ионизацию, для чего используется формула Стернхеймера^{4,5/}, дающая значение ионизационного пробега $R_p(T_p, I)$ протона с кинетической энергией T_p Мэв в веществе со средним потенциалом возбуждения I эв:

$$R_p(T_p, I) = R_p(2 \text{ Мэв}, I) + \frac{A}{2Z} \Phi_{ie} \cdot (1 + G_1 X + G_2 X^2 + G_3 X^3) \quad (3)$$

Здесь: $R_p(2 \text{ Мэв}, I)$ - экспериментальное значение пробега протона с энергией 2 Мэв в веществе со средним потенциалом возбуждения I эв.

Z и A - атомный номер и атомный вес вещества

Φ_{ie}, G_1, G_2, G_3 - коэффициенты, зависящие только от энергии

$$X = \log_{10} \left(\frac{I}{I_{Ae}} \right) = \log_{10} \left(\frac{I}{166} \right)$$

Величина ионизационного пробега R_{π} π - мезона с энергией T_{π} выражается через пробег протона в том же веществе следующим образом:

$$R_{\pi}(T_{\pi}) = \frac{m_{\pi}}{m_p} R\left(\frac{v_p}{v_{\pi}} T_{\pi}\right) \quad (4)$$

С учётом ионизационных потерь ядерный пробег заряженных частиц l определяется соотношениями

$$\sum_i \frac{\Delta l_i}{\lambda(T_i)} = -\ln \beta \quad (5)$$

$$l = \sum_i \Delta l_i$$

Здесь суммирование ведётся по некоторым отрезкам траектории Δl_i при прохождении которых потери энергии таковы, что $\lambda(T)$ меняется незначительно. Одновременно с длиной пробега определяется энергия заряженной частицы в конце пробега.

Определив длину ядерного пробега l находим координаты точки взаимодействия по формуле:

$$\vec{r}_f = \vec{r}_i + l \vec{n} \quad (6)$$

где \vec{r}_f и \vec{r}_i - координаты конечной и начальной точек пробега

\vec{n} - единичный вектор в направлении полёта частицы

Для π^0 - мезонов учитывается возможность распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$. Разыграв время жизни π^0 - мезона в системе покоя по формуле:

$$\tau = -\tau_0 \ln \beta \quad (7)$$

вычисляем путь, который он пройдёт до распада:

$$l_{\text{расп}} = v \frac{\tau}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (8)$$

Здесь v - скорость π^0 - мезона
 c - скорость света.

Если этот путь меньше ядерного пробега (I), то считается, что π^0 - мезон распался, не испытав ядерного взаимодействия. Заметим, что вследствие малости времени жизни ($\tau_0 = 1,8 \cdot 10^{-16}$ сек), практически все π^0 - мезоны распадаются не провзаимодействовав. Взаимодействие γ - квантов с веществом в программе не рассматривается, так как полное сечение реакции γ - квант - ядро на два-три порядка меньше сечения нуклон-ядро.

Что касается заряженных π - мезонов, то их время жизни относительно распада $\pi \rightarrow \mu + \nu$ достаточно велико ($\tau_0 = 2,55 \cdot 10^{-8}$ сек) для того, чтобы π^\pm - мезон мог не распавшись пройти в веществе путь, равный нескольким ядерным пробегам. Другими словами, практически все π^\pm - мезоны успевают до распада провзаимодействовать с ядрами. Поэтому распад заряженных π - мезонов в программе не учитывается.

5. Проследим работу программы далее. Теперь мы знаем состояние частицы в конечной точке пробега и можем определить, возможно ли её взаимодействие с ядром в этой точке. Взаимодействие невозможно, если конечная точка пробега лежит вне блока вещества и если частица не достигла этой точки вследствие ионизационных потерь или распада. В этих случаях частицу можно использовать для построения каких-либо распределений, например, спектров вылетевших частиц. Затем следует проверить, не пуста ли память (см. рис. 2).

Но допустим, что взаимодействие возможно. Тогда переходим к определению типа взаимодействия.

6. Тип взаимодействия определяется из соотношения

$$\frac{\sigma_{in}(T)}{\sigma_{tot}(T)} > \beta \quad (9)$$

где $\sigma_{in}(T)$ и $\sigma_{tot}(T)$ - неупругое и полное сечения взаимодействия частицы с ядром.

Если неравенство (9) выполняется, то считается, что происходит неупругое взаимодействие частицы с ядром, а если нет - то упругое рассеяние.

7. В случае упругого рассеяния изменяется только направление движения частицы. Угол отклонения разыгрывается по формуле^{/14/}

$$\frac{d\sigma_{el}}{d\Omega_{lab}} = \sigma_0 \exp\left(-\frac{1}{3} - \frac{z^2 z^2 \vartheta_{lab}^2}{\hbar^2}\right) \quad (10)$$

где σ_0 - множитель, не зависящий от ϑ_{lab}

p - импульс частицы

$$z = Z^{1/3} \frac{\hbar}{m_p c} \quad , \quad Z - \text{атомный номер мишени}$$

ϑ_{lab} - угол отклонения частицы в лабораторной системе

Разыграв угол, снова идём на определение пробега до взаимодействия (рис. 2).

8. Неупругое взаимодействие частицы с ядром рассматривается в рамках каскадно-испарительной модели ядерных реакций^{/6/}, согласно которой ядерная реакция протекает в два этапа: сначала, под действием высокоэнергетической первичной частицы развивается внутриядерный каскад, а затем, по окончании каскадной стадии, происходит испарение частиц из возбуждённого остаточного ядра.

В случае нелетающего нуклона с энергией ниже ~ 50 Мэв ядерная реакция идёт через составное ядро: происходит захват нуклона, вся кинетическая энергия которого идёт на возбуждение ядра и затем - испарение частиц.

Программа для расчёта внутриядерного каскада описана в работах /7,8,15/ и используется в настоящей программе как подпрограмма.

Расчёт испарительной стадии ядерной реакции основан на теории Вайскопфа /6/, согласно которой вероятность испускания частицы типа j с кинетической энергией в интервале $T, T+dT$ дается формулой:

$$W_j(T)dT = \frac{g_j m}{\pi^2 \hbar^3} \sigma(T) T \frac{\omega_j(U-T-Q_j)}{\omega_i(U)} dT \quad (11)$$

где: $g = 2S+1$, S - спин частицы
 m - масса частицы

$\sigma(T)$ - сечение обратной реакции

ω_i и ω_j - плотность уровней исходного и конечного ядра

U - энергия возбуждения исходного ядра

Q_j - энергия связи частицы типа j в исходном ядре

Возможно испускание частиц шести типов: нейтронов, протонов, дейтронов, тритонов, ядер He^3 и α - частиц.

Плотность уровней ядра берётся в виде:

$$\omega(U) = Const \cdot \exp(2\sqrt{\alpha AU}) \quad (12)$$

где A - массовое число ядра

α - параметр плотности уровней

Энергетическая зависимость сечений обратных реакций для нейтронов и заряженных частиц выбрана соответственно в виде:

$$\sigma_n(T) = \sigma_{geom} \alpha \left(1 + \frac{\beta}{T}\right) \quad (I3a)$$

$$\sigma_j(T) = \sigma_{geom} (1 + C_j) \left(1 - \frac{V_j}{T}\right) \quad (I3b)$$

где : $\sigma_{geom} = \pi R^2 = \pi r_0^2 A^{2/3}$ - геометрическое сечение

$$\alpha = 0.76 + 2.2 A^{-1/3}$$

$$\beta = (2.12 A^{-2/3} - 0.05) / (0.76 + 2.2 A^{-1/3})$$

$$C_p = 0,2; \quad C_d = 0,1; \quad C_t = 0,07; \quad C_{He^3} = 0,13;$$

$$C_\alpha = 0,1;$$

V_j - высота кулоновского барьера для заряженной частицы типа j

При вычислении кулоновского барьера учитывается возможность подбарьерного проникновения заряженных частиц, а также зависимость высоты барьера от температуры ядра:

$$V_j = K_j V_0 \left(1 - \frac{U}{81 \alpha A}\right) \quad (I4)$$

где $K_p = 0,7; \quad K_d = 0,77; \quad K_t = 0,8; \quad K_{He^3} = 0,8;$

$$K_\alpha = 0,83$$

Величина V_0 даёт номинальную высоту кулоновского барьера:

$$V_0 = \frac{e^2 Z Z_j}{r_0 (A^{1/3} + A_j^{1/3})} \quad (I5)$$

где: A и Z - массовое число и атомный номер ядра

A_j и Z_j - массовое число и атомный номер частицы

e - заряд электрона.

торого вылетает следующая частица и т.д. до тех пор, пока вылет частицы хотя бы одного типа энергетически возможен. Угловое распределение испарительных частиц изотропно в системе покоя ядра.

Итак, в результате ядерной реакции образуется несколько вторичных, каскадных и испарительных частиц, которые заносятся в память.

Зная координаты точки неупругого взаимодействия и энергии налетающей частицы, можно построить распределение числа взаимодействий по объему блока или по энергиям.

9. Организация выдачи зависит от конкретной задачи, о чём будет сказано подробно в § 3.

10. На блок-схеме рис. 2 видно, что после окончания операций с данной частицей управление передаётся на проверку памяти. Если в памяти нет частиц, то это означает, что акт взаимодействия первичной частицы с веществом закончен. В этом случае либо переходим к новой первичной частице, либо производим выдачу результатов.

11. Если в памяти есть частицы, то выбираем любую из них (например, последнюю) и прослеживаем её судьбу описанным выше путём.

12. При моделировании поведения низкоэнергетических нейтронов используется 25-ти групповая система констант для расчёта ядерных реакторов^{/I/}. Распространение нейтронов рассматривается в первом транспортном приближении. При взаимодействии нейтронов с ядрами возможны следующие процессы: упругое рассеяние (n, n); неупругое рассеяние (n, n') и ($n, 2n$); де-

ление (n, f) и радиационный захват нейтрона (n, γ) . Процессы $(n, 2n)$ и (n, f) обуславливают возможность размножения нейтронов.

Работа подпрограммы заканчивается и управление возвращается в основную программу, когда все низкоэнергетические нейтроны либо покинут блок вещества, либо поглотятся в реакции (n, γ) , а также когда в результате неупругого рассеяния энергия нейтронов уменьшится до значения, ниже которого нейтроны можно не проследивать при условиях данной задачи.

§ 3. Практическая работа с программой

Для решения какой-либо конкретной задачи с помощью настоящей программы необходимо:

- а) задать исходную информацию,
- б) написать две подпрограммы организации выдачи.

В Приложении I приведён пример задания информации и организации выдачи.

Задание исходной информации

I. После карты *EXECUTE необходимо положить восемь перфокарт с информацией.

Первые пять п/к содержат характеристики блока вещества. Блок имеет цилиндрическую форму и зафиксирован в декартовых осях (x, y, z) лабораторной системы координат так, что ось цилиндра параллельна оси z и совпадает с ней, а основание лежит в плоскости (x, y) (см. рис. I). Чтобы получить блок в

Форме слоя или бесконечного полупространства надо задать размеры цилиндра достаточно большими - порядка десяти ядерных пробегов.

п/к 1

FORMAT (F 5.1, F 4.1, F 5.2, F 6.1, F 7.5, 53 X)

Вводится: массовое число A ;
атомный номер Z ;
плотность вещества мишени $[г/см^2]$;
средний потенциал возбуждения $[эв]$;
экспериментальное значение пробега протона с энергией 2 Мэв $[г/см^2]$.

п/к 2

FORMAT (3F 5.3, 65 X)

Вводится: параметр плотности уровней $[Мэв^{-1}]$ (дважды);
радиус нуклона $[ферми]$.

Рекомендуется задавать следующие значения: 0.1; 0.1; 1.3

п/к 3

FORMAT (F 6.1, 2F 5.2, 64 X)

Вводится: значение энергии, ниже которой ядерная реакция рассчитывается через составное ядро;
энергия отделения нейтрона от ядра $(A + 1, Z)$;
энергия отделения протона от ядра $(A + 1, Z + 1)$.
Все энергии в Мэв.

п/к 4

FORMAT (2F6.1, F 10.7, 58X)

Вводится: энергия, ниже которой протон считается поглотившимся из-за ионизационных потерь;
аналогичная энергия для заряженного мезона;
энергия, ниже которой не рассматривается распространение низкоэнергетических нейтронов.
Все энергии в Мэв.

п/к 5

FORMAT (5F8.2, 40X)

Вводится: радиус цилиндра [см];
высота цилиндра [см];
три числа, которые не используются при цилиндрической конфигурации мишени. Рекомендуется задавать их равными нулю.

Последние три перфокарты содержат характеристики первичной частицы. Эти характеристики относятся к точечному моноэнергетическому пучку. Если пучок имеет некоторое пространственное или энергетическое распределение, то надо заново написать подпрограмму задания первичной частицы *SUBROUTINE INSPAR* (см. Приложение 3). В этом случае информация, содержащаяся в последних трёх перфокартах, может не использоваться, но карты должны присутствовать в колоде.

п/к 6

FORMAT (3F7.2, 3F6.2, 41X)

Вводится: координаты точки входа частицы в блок X, Y, Z [см];
направление полёта частицы $\cos\vartheta, \sin\varphi, \cos\psi$
(ϑ и φ - полярный и азимутальный углы).

п/к 7

FORMAT(F 10.3, 70 X)

Вводится: кинетическая энергия частицы [Мэв].

п/к 8

FORMAT(F 4.1, F 6.1, 70 X)

Вводится: заряд частицы;

масса частицы [Мэв].

Вся информация, содержащаяся в указанных восьми перфокартах, печатается после ввода.

II. Необходимо написать подпрограмму **SUBROUTINE INFORM** в которой задаются реакторные константы и полные и неупругие сечения взаимодействия нуклонов и π - мезонов с ядрами. Такие подпрограммы для C, Al, Fe, Ni, Cu и Pb приведены в Приложении 2. Реакторные константы берутся непосредственно из книги Абагянэ и др./I/. Полные и неупругие сечения взаимодействия нуклонов и π - мезонов с ядрами в интервале энергий 50 Мэв ÷ 30 Гэв можно найти в работах/10,11/. Нуклонные сечения в интервале 10.5 Мэв - 50 Мэв приведены в атласе Юза/12/. Сечения для π - мезонов в интервале 10.5-50 Мэв полагаются постоянными и равными их значению при энергии 50 Мэв.

Величины сечений в миллибарнах задаются при тридцати значениях энергии в интервале 10.5 Мэв - 30 Гэв и при работе программы производится квадратичная интерполяция.

Ниже перечислены имена массивов, загружаемых в **SUBROUTINE INFORM** и указаны содержащаяся в них информация. В первых трёх массивах заключена общая для всех ядер информация.

Если при работе программы низкоэнергетические нейтроны не рассматриваются, то реакторные константы можно не задавать.

- EGR - границы энергетических групп [Мэв]
- SPFU - спектры нейтронов деления
- VNU - числа нейтронов деления
- SGLN - сечения делений [барн]
 - числа нейтронов деления
 - сечения радиационного захвата [барн]
 - сечения неупругого рассеяния [барн]
 - сечения упругого рассеяния [барн]
 - среднее значение косинуса угла упругого рассеяния
- SUV - сечение неупругих переходов в более низкую группу
- ENP - значения энергии, при которых задаются неупругие и полные сечения [Мэв]
- SGNT - полные сечения взаимодействия нуклонов с ядром [мбарн]
- SGPT - полные сечения взаимодействия π - мезонов с ядром [мбарн]
- SGNI - неупругие сечения взаимодействия нуклонов с ядром [мбарн]

SGPI - неупругие сечения взаимодействия π - мезонов с ядром [мбарн]

Последние семь чисел: EPS, VPI, N, T1, T2, MSU, LD - общие для всех ядер.

III. В управляющей программе PROGRAM SHIELD имеются два обращения:

```
CALL LOAD GO(A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,6HHEADIN)
```

```
CALL LOAD GO(B1,B2,B3,6HMATTER)
```

Фактические значения параметров в этих обращениях имеют следующий смысл:

A1 = +I. - печатается зависимость пробег-энергия для протонов и π - мезонов

A1 = -I. - печати не происходит

A2 = +I. - печатаются следующие характеристики ядра по зонам

1. Радиусы зон в ферми

2. Радиусы зон относительно радиуса третьей зоны

3. Плотность протонов

4. Плотность нейтронов

5. Высота кулоновского барьера [Гэв]

6. Энергия Ферми протонов [Гэв]

7. Энергия Ферми нейтронов [Гэв]

A2 = -I. - печати не происходит

A3 = 0.90 } Коэффициенты, связанные с разбиением ядра на
A4 = 0.20 } зоны. Рекомендуется задавать указанные здесь
A5 = 0.01 } значения. Подробности можно найти в /13/

A 6 - параметр ζ_0 [ферми] распределения Вудса-Саксона

A 7 - 10.0 - всегда

A 8 - параметр α [ферми] распределения Вудса-Саксона

B 1 = 10.5 - всегда

B 2 - период по числу бросаний первичной частицы с которым можно производить выдачу результатов счёта с пульта ЭВМ (см. Приложение I). Обычно B 2 = 50. При высоких энергиях и блоках больших размеров B 2 = 2+5.

B 3 = +1.- при продолжении счёта, когда нужно вводить с перфокарт результаты предыдущих вычислений (см. приложение I).

B 3 = -1.- в противном случае

Этим исчерпывается задание исходной информации.

Организация выдачи

Результаты вычислений оформляются подпрограммой **SUBROUTINE HISOUT**, а выдача их на внешние устройства ЭВМ осуществляется подпрограммой **SUBROUTINE PRNHST**. Обе подпрограммы необходимо писать заново для каждой конкретной моделируемой ситуации. Здесь даются сведения, достаточные для написания обеих подпрограмм. В Приложении I приведен пример организации выдачи.

I. **SUBROUTINE HISOUT**

Обращения к данной подпрограмме производятся из подпрограммы **SUBROUTINE MATTER** (см. блок-схему рис. 2). и из подпрограммы низкоэнергетических нейтронов **SUBROUTINE LOENT**.

Информация, необходимая для построения результатов при обращении к `SUBROUTINE HISDUT` заключается в знании характеристик рассматриваемой частицы и некоторых признаков, которые указывают, что именно происходит с частицей в той точке, где она находится в данный момент.

Ниже приводятся наименования общих блоков и идентификаторы массивов, содержащих необходимую для работы `SUBROUTINE HISDUT` информацию.

`COMMON/WRPR/ WP(9)` - содержит характеристики рассматриваемой частицы.

`WP(1), WP(2), WP(3)` - координаты местонахождения частицы
 x, y, z [см]

`WP(4), WP(5), WP(6)` - направление движения частицы $\cos \vartheta$,
 $\sin \varphi$, $\cos \varphi$

ϑ и φ - полярный и азимутальный углы

Координаты и углы заданы в лабораторной системе координат (рис. 1).

`WP(7)` - кинетическая энергия [Мэв]

`WP(8)` - заряд

`WP(9)` - масса [Мэв]

`COMMON/WRPRIN/ WPIN(9)` - содержит характеристики рассматриваемой частицы перед обращением к блоку пробогов (см. рис. 2, блок 4).

`COMMON/BLGR8/ PRLLEN`

`PRLLEN = +1.` - обращение к `SUBROUTINE HISDUT` произошло из `SUBROUTINE LOENT`

PRLEN=-1. - указанное обращение произошло не из
SUBROUTINE LOENT

COMMON /GOODUT/ GOT

GOT = +1. - конечная точка пробега лежит вне блока вещества.

GOT = -1. - конечная точка пробега лежит внутри блока.

COMMON /BLGR7/ IPR

Если PRLEN = +1. и GOT = -1., то есть низкоэнергетиче-
ский нейтрон не покинул блок вещества, то он в конечной точке
своего пробега претерпевает следующие взаимодействия:

IPR (1) = 1 - деление ядра (n, f)

IPR (2) = 1 - радиационный захват (n, γ)

IPR (3) = 1, IPR (5) = 0 - неупругое рассеяние (n, n')

IPR (3) = 1, IPR (5) = 1 - реакция ($n, 2n$)

IPR (4) = 1 - упругое рассеяние (n, n)

Следующие признаки относятся к взаимодействиям при энер-
гии $T > 10.5$ Мэв, т.е. когда PRLEN = -1.

COMMON /BLOK11/ POGI

POGI = +1. - заряженная частица поглотилась из-за ионизаци-
онных потерь

POGI = -1. - указанного поглощения не было

COMMON /BLOK10/ PI2G

PI2G = +1. - произошёл распад $\pi^+ \rightarrow 2\gamma$

PI2G = -1. - указанного распада не произошло

COMMON /PRZVNL/ VINEL

VINEL = -1. - происходит упругое взаимодействие при энергии $T > 10.5$ Мэв

VINEL = +1. - происходит неупругое взаимодействие при энергии $T > 10.5$ Мэв

VINEL = 0 - эквивалентно равенству +1., хотя бы одного из признаков GOT, P0GL или PI2G

Отметим, что признак GOT используется как при рассмотрении низкоэнергетических нейтронов, так и при энергиях $T > 10.5$ Мэв.

В тех случаях, когда частица покидает блок вещества, координаты её местонахождения WP(1) WP(2) и WP(3) соответствуют конечной точке пробега, а не точке пересечения траектории частицы с поверхностью блока. Кроме того, при этом несколько занижается энергия заряженных частиц.

Чтобы найти истинную точку выхода и скорректировать энергию достаточно сделать обращение:

CALL COROUT(BACK, SIDE, FORV)

В результате работы подпрограммы SUBROUTINE COROUT в массиве WP будут сделаны соответствующие исправления. При этом вырабатываются три признака, значения которых имеют следующий смысл:

BACK = +1. - частица вышла через заднее основание цилиндра (лежащее в плоскости (X, Y) на рис. 1),

FORV = +1. - частица вышла через переднее основание,

SIDE = +1. - частица вышла через боковую поверхность цилиндра.

Отсутствию данной возможности соответствует значение признака равное -1.

Как правило результаты вычислений представляются в виде гистограмм. При обращении:

CALL HIST(X,A,B,H,RN,N,W)

в интервал гистограммы с номером $INT((X-A)/H)$ представляется вес W . Фактические параметры в этом обращении означают следующее:

- X - значение величины, для которой строится гистограмма;
- A и B - нижняя и верхняя границы области изменения X;
- H - шаг гистограммы;
- RN - имя массива, содержащего гистограмму;
- N - размерность массива RN;
- W - вес.

При обращении к SUBROUTINE HIST должно выполняться соотношение $N \geq INT((B-A)/H) + 6$

В ячейках массива RN гистограмма располагается следующим образом:

$RN(1) \div RN(N-6)$ - гистограмма для X удовлетворяющих условию $A \leq X < B$

- $RN(N-5)$ - нуль
- $RN(N-4)$ - $\sum W$ для $X < A$
- $RN(N-3)$ - $\sum W$ для $A \leq X < B$
- $RN(N-2)$ - $\sum W$ для $X \geq B$
- $RN(N-1)$ - $\sum X$ для $A \leq X < B$
- $RN(N)$ - сумма всех X

II. SUBROUTINE PRNHST

Эта подпрограмма осуществляет печать и перфорацию результатов, построенных подпрограммой SUBROUTINE HISOUT и очистку соответствующих массивов перед началом счёта, а также ввод с перфокарт полученных ранее результатов и сбоя датчика случайных чисел в случае, если необходимо продолжить прерванные вычисления. Работа подпрограммы ясна из примеров, приведенных в Приложении I.

Замечание

В тех случаях, когда по условию задачи можно не учитывать частицы с энергиями ниже ~ 20 Мэв, целесообразно пользоваться укороченным вариантом программы, в котором исключены блоки, ответственные за низкоэнергетические частицы: блок ядерного испарения и блок низкоэнергетических нейтронов. Это позволяет сэкономить значительное место в оперативной памяти ЭВМ, а также время, идущее на расчёт испарения.

Для того чтобы получить укороченный вариант, достаточно в основном варианте программы (Приложение 3) заменить три подпрограммы: HEADIN, MATTER и INELIN и управляющую программу PROGRAM SHIELD на соответствующие подпрограммы, приведенные в Приложении 4.

Задание исходной информации для укороченного варианта полностью аналогично описанному выше с той лишь разницей, что в обращении

```
CALL LOAD GO(B1, B2, B3, 6HMATTER)
```

фактическое значение параметра B1 равно энергии в Мэв ниже

которой распространение нейтронов не рассматривается (В1 ≥ 10.5).

В организации выдачи никаких изменений нет.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- I. Л.П.Абэган, Н.О.Базазянц, И.И.Бсндаренко, М.Н.Николаев.
Групповые константы для расчёта ядерных реакторов.
Атомиздат, 1964.
2. В.С.Барашенков, К.К.Гудима, С.М.Елисеев, А.С.Ильинов,
В.Д.Тонеев. Препринт ОИЯИ Р2-4662.
3. В.С.Барашенков, К.К.Гудима, В.Д.Тонеев. Препринт ОИЯИ Р2-4302.
Дубна, 1969.
4. **Sternheimer R.M. Phys.Rev. 118, 1045 (1960)**
5. С.В.Стародубцев, А.М.Романов. Прохождение заряженных час-
тиц через вещество. Издательствс АН Уз.ССР, Ташкент, 1962.
6. Н.А.Перфилов, О.В.Ложкин, В.И.Остроумов. Ядерные реакции
под действием частиц высоких энергий. Издательство АН СССР,
Москва-Ленинград, 1962.
7. В.С.Барашенков, К.К.Гудима, В.Д.Тонеев. Препринт ОИЯИ Р2-
-4065, Дубна, 1968.
8. В.С.Барашенков, К.К.Гудима, В.Д.Тонеев. Препринт ОИЯИ
Р2-4066, Дубна, 1968.
9. **A.G.W.Cameron. A revised semi-empirical atomic mass formula.
CPR-690, Chalk-River, Ontario, 1957.**
10. В.С.Барашенков, К.К.Гудима, В.Д.Тонеев. Препринт ОИЯИ
Р2-4183, Дубна, 1968.
11. В.С.Барашенков, К.К.Гудима, А.С.Ильинов, В.Д.Тонеев,
Препринт ОИЯИ, Р2-4520, Дубна, 1969.
12. Д.И.Юз, Р.В.Шварц, Атлас нейтронных сечений.
Атомиздат, 1959.

- I3. H.W.Bertini. Monte Carlo calculations on intranuclear cascades. ORNL-3383, 1963.
- I4. J.A.Geibel, J.Ranft. Nucl.Instr. Meth. 32, 65 (1965).
- I5. А.С.ИЛЬИНОВ. Отчёт ОИЯИ Б1-4-5478, Дубна, 1970.

Соболевский

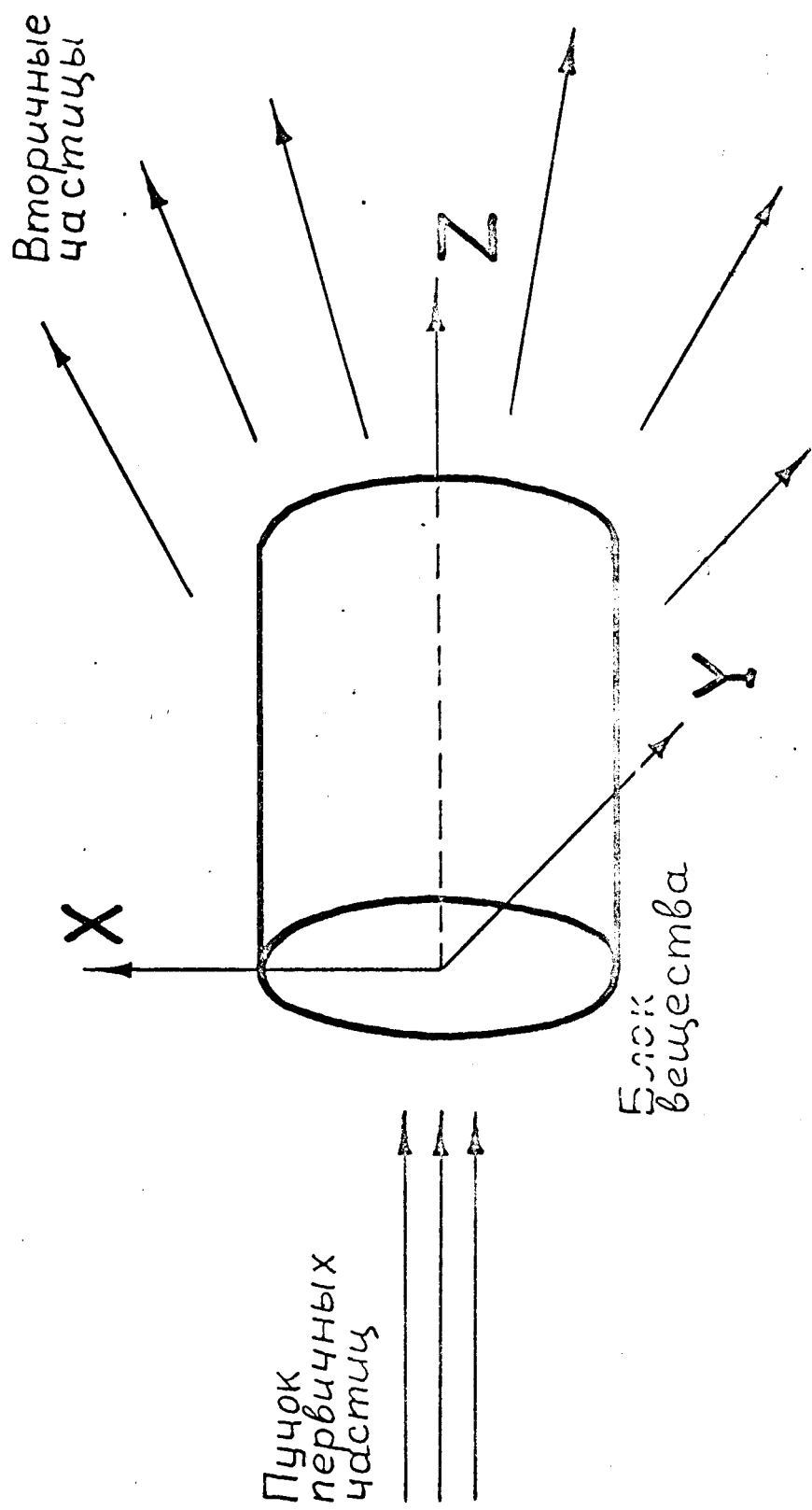


Рис. 1. Типичная экспериментальная ситуация.

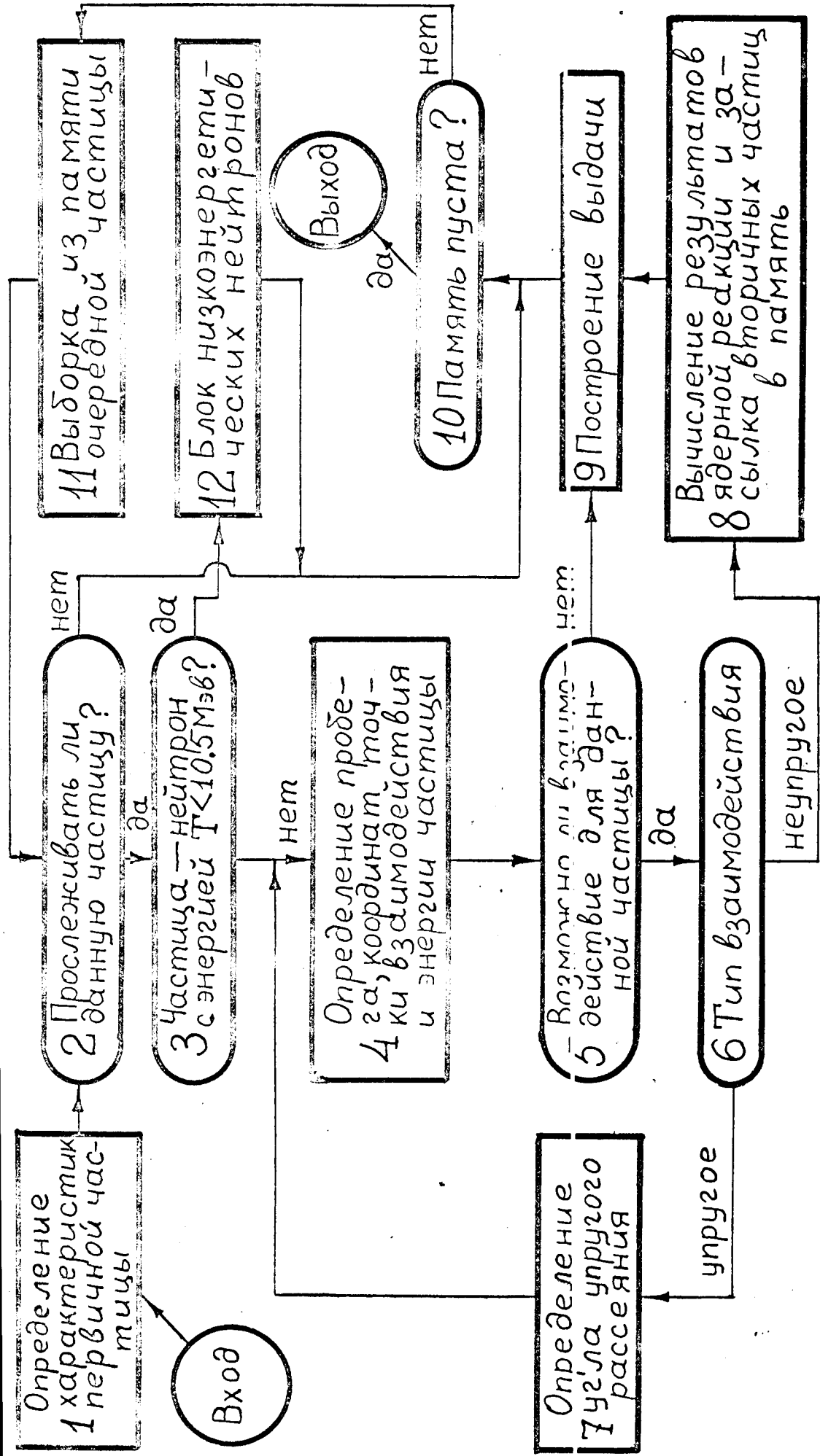


Рис. 2. Общая блок-схема программы.

Приложение I: примеры задания исходной информации и организации выдачи.

Пример I

Пусть требуется построить спектр нейтронов, вылетающих из слоя алюминия толщиной 10 см под действием точечного пучка протонов с энергией 1 Гэв. Пучок падает на слой нормально. При этом нас интересуют нейтроны с энергиями в интервале 1-100 Мэв, вылетающие из круга радиусом 5 см с центром на оси пучка и летящие под углами, меньшими 30° .

Восемь перфокарт с исходной информацией пробиваются в виде:

```
└27.0└13.0└2.70└166.00.01151
0.1└└0.1└└1.3
└└70.0└7.7211.58
└└20.0└└20.0└1.0
└1000.0└└└└10.0└└└└0.0└└└└0.0└└└└0.0
└└└0.0└└└└0.0└└└└0.0└└1.0└└└0.0└└└1.0
└└1000.0
└1.0└940.0
```

Подпрограмма SUBROUTINE INFORM приведена в Приложении 2.

Обращения в управляющей программе имеют вид
CALL LOAD GO(1.,1.,0.9,0.2,0.01,1.00,10.,0.56,6HHEADIN)
CALL LOAD GO(10.5,50,-1.,6HMATTER)

Подпрограммы SUBROUTINE HISOUT и
SUBROUTINE PRNHST(NBROS) приведены ниже:


```
SUBROUTINE HISTOUT  
COMMON /HIST/ QZ, SFN(28)  
COMMON /URPR/ P(9) /COBT/ GOT  
IF(GOT)1,1,2  
RETURN  
IF(WF(9)-5.1.)1,1,3  
IF(WF(8))1,4,1  
CALL CPRINT(LACK, SIDE, FDBV)  
IF(FDBV)1,1,1  
RW=SQRT(WF(1)**2+WF(2)**2)  
DLT=WF(4)  
IF(RW-5.)6,6,1  
IF(COT-0.866)1,1,7  
TR=WF(7)  
CALL HIST(TH, P., 100., D., RW, 28, 1.)  
RETURN  
END
```

```

SUBROUTINE PR01ST(I,RR05)
COMMON /HIST00/ SPB(26)
DO 1 J=1,26
1 SPB(J)=0.
NPFCS=0
RETURN

```

```

-----
ENTRY PR0511
PRINT 09
72 FORMAT(///46),28HCONTINUATION OF CALCULATIONS///)
REAL 100,RR05
FORMAT(1X,I11)
REAL 2,SPB
1 FORMAT(7F11.2)
REAL 101,BETA
2 FORMAT(11X,F13.11)
PRINT 102,BETA
3 FORMAT(//26X,47HLAST RANDOM NUMBER IN PREVIOUS CALCULATIONS,
*7X,5EBETA=,F13.11//)
4 CALL RNDM1(BETA)
BETAM=RNDM(-1)
5 PRINT 105,BETAM
6 FORMAT(27X,42HFIRST RANDOM NUMBER IN MODERN CALCULATIONS,
*5X,7EBETAM=,F13.11//)
PRINT 106
6 FORMAT(44X,30HRESULTS OF PREVIOUS CALCULATIONS//)
GO TO 110

```

```

-----
ENTRY PR0522
PUNCH 10,RR05
PUNCH 2,SPB
BETAM=RNDM(-1)
PUNCH 101,BETAM
PRINT 107,BETAM
7 FORMAT(//26X,41HLAST RANDOM NUMBER IN MODERN CALCULATIONS,
*5X,7EBETAM=,F13.11)
GO TO 100

```

```

-----
ENTRY PR0533
7 PRINT 108
8 FORMAT(//45X,30HRESULTS OF MODERN CALCULATIONS//)
PRINT 111,RR05
1 FORMAT(51X,6HRR05=,I11//)
PRINT 3
5 FORMAT(//50X,20HSPECTRUM OF NEUTRONS//)
DO 4 J=1,20
4 PRINT 5,SPB(J)
2 FORMAT(54X,F12.2)
DO 6 J=21,28
6 PRINT 7,SPB(J)
7 FORMAT(46X,E20.13)
RETURN
END

```

В результате вычислений получим гистограмму, представляющую искомый спектр нейтронов, в массиве SPN .

Подпрограммы INFORM , HISOUT и PRNHST вместе с подпрограммами, приведенными в Приложении 3 и Дополнении, составляют библиотеку подпрограмм, достаточную для решения данной задачи.

Выдача результатов вычислений на внешние устройства производится с пульта ЭВМ БЭСМ-6, для чего необходимо на четвертом тумблерном регистре нажать:

первую клавишу - при этом происходит печать результатов - затем вычисления продолжают:

или

первую и вторую клавиши - при этом происходит перфорация и печать результатов и вычисления прекращаются.

Перед началом вычислений первая и вторая клавиши должны быть отжаты.

Для того, чтобы получить достаточную статистическую точность ($\sim 10\%$) при решении данной задачи, необходимо ~ 30 минут машинного времени.

Если требуется продолжить прерванные вычисления, необходимо перфокарты, содержащие полученные ранее результаты, подложить после восьми перфокарт с исходной информацией и в обращении

```
CALL LOAD GO(B1,B2,B3,6NMATTER)
```

задать $B3 = +1.$

Возможен другой способ продолжения счета: достаточно сбить датчик случайных чисел, подложив в управляющую программу перед приведенным выше обращением (з котором $B3 = -1.$) перфокарту с обращением

CALL RNDM1(BETA)

где BETA - случайное число, равномерно распределенное в интервале (0,1).

Пример 2.

Пусть на основание железного цилиндра радиусом 15 см и высотой 90 см падает точечный пучок протонов с энергией 3 Гэв. Пучок направлен по оси цилиндра. Требуется найти распределение числа неупругих взаимодействий по глубине поглотителя, причем пусть нас интересуют взаимодействия частиц в следующих энергетических интервалах:

нейтроны, $5 \text{ Мэв} < T_n < 20 \text{ Мэв};$

нейтроны, $50 \text{ Мэв} < T_n < 3 \text{ Гэв};$

протоны, $50 \text{ Мэв} < T_p < 3 \text{ Гэв};$

π - мезоны, $50 \text{ Мэв} < T_\pi < 3 \text{ Гэв}.$

Информация:

56.026.07.80282.00.01710

0.100.101.3

060.07.646.02

020.0020.05.0

0015.000090.000000.000000.000000.0

0000.00000.00000.001.0000.00001.0

003000.0

01.00940.0

Обращения в управляющей программе:

CALL LOAD GO(1.,1.,0.9,0.2,0.01,1.07,10.,0.545,6HHEADIN)

CALL LOAD GO(10.5,50,-1.,6HMAFTER)

Подпрограммы HISOUT и PRNHST :

SUBROUTINE HISTOUT

COMMON/HIST00/HP1(24),IP1(24),DP(24),DPI(24)

COMMON/ZWPE/UP(9) /ZREPE/PLE1 /ZCPE/T/DT /ZHEPEZ/IF(8)

*ZPEZ/VI1 /VIBEL

Z=UP(Z)

IF(PELEK)11,11,1

IF(COT)2,2,77

IF(IEF(3))77,77,7

CALL HIST(Z, ..90..5..PE1,24,1.) 3 - RT EN

RETURN

IF(VIIBL)77,77,12

IF(PE(9)-500.)21,21,13

IF(VF(8))31,31,41

IF(WF(7)-50.)77,22,27

CALL HIST(Z, ..90..5..PE1,24,1.) 4 - RT EN

IF(WF(7)-20.)77,72,27

CALL HIST(Z, ..90..5..PE1,24,1.) 5 - RT EN

IF(WF(7)-50.)77,24,34

CALL HIST(Z, ..90..5..PE1,24,1.) 6 - RT EN

IF(WF(7)-50.)77,42,40

CALL HIST(Z, ..90..5..PE1,24,1.) 7 - RT EN

END

```

SUBROUTINE PRHS10(BR00)
COMMON/PHIST0/ ZD0(24),DN2(24),DP(24),DPI(24)
DO 1 J=1,24
  DN1(J)=0. 1 DP(J)=0. 1 DP(J)=0. 1 DPI(J)= .
CONTINUE
NPROS=1
RETURN

```

```

-----
ENTRY PRHS11
PRINT 99
9 FORMAT(///46X,78)COEFFICIENTS OF CALCULATIONS//)
REAL 110, BR00
FORMAT(11X, I11)
REAL 10, DN1, DP, DPI
1 FORMAT(8F10.1)
REAL 101, BETA
FORMAT(11X, F13.11)
PRINT 100, BETA
2 FORMAT(///26X,41)HIGHEST RANDOM NUMBER IN EQUATION CALCULATIONS,
*7X,5)BETA=,F13.11//)
3 CALL RNDM(1, BR00)
BETAL=BR00(-1)
4 PRINT 105, BETAL
5 FORMAT(27X,40)HIGHEST RANDOM NUMBER IN NUMBER CALCULATIONS,
*5X,7)BETAL=,F13.11//)
PRINT 106
6 FORMAT(44X,30)RESULTS OF PREVIOUS CALCULATIONS//)
GO TO 11

```

```

-----
ENTRY PRHS22
PRINT 107, BR00
PRINT 2, DN1, DP, DPI
BETAL=BR00(-1)
PRINT 108, BETAL
7 FORMAT(///26X,41)HIGHEST RANDOM NUMBER IN NUMBER CALCULATIONS,
*5X,7)BETAL=,F13.11)
GO TO 109

```

```

-----
ENTRY PRHS33
PRINT 109
8 FORMAT(///45X,3)RESULTS OF COEFFICIENTS CALCULATIONS//)
PRINT 110, BR00
1 FORMAT(51X,6)PROS=,I11//)
PRINT 3
3 FORMAT(///22X,2)D1,26X,2)D2,29X,1)D,2)DPI//)
DO 4 J=1,24
4 PRINT 5, DN1(J), DN2(J), DP(J), DPI(J)
5 FORMAT(4(11X, F10.2, 6X))
RETURN
END

```

В результате вычислений получим искомые распределения

в массивах:

$\mathcal{DN}1$ - нейтроны, $5 \text{ МэВ} < T_n < 20 \text{ МэВ}$

$\mathcal{DN}2$ - нейтроны, $50 \text{ МэВ} < T_n < 3 \text{ ГэВ}$

\mathcal{DP} - протоны, $50 \text{ МэВ} < T_p < 3 \text{ ГэВ}$

\mathcal{DPI} - π - мезоны, $50 \text{ МэВ} < T_\pi < 3 \text{ ГэВ}$

Шаг по глубине поглотителя, выбран равным 5 см.

Приложение 2: подпрограммы SUBROUTINE INFORM
для C^{12} , Al^{27} , Fe^{56} , Ni^{59} , Cu^{64}
и Pb^{207} .

```

SUBROUTINE INFORM
COMMON ANUCL,ZNUCL,EPS,VPI,N,
*RSM(4),RRIG(4),RHOP(4),RHON(4),AF(4),TFP(4),TFN(4)
*/BBG1/CM,T,T1,T2,MEQ,MOQ,MSL,LC
COMMON /BLK100/ ENP(30)
*/BLK11/SGNI(3)/BLK12/SGPI(31)/BLK13/SGNI(30)/BLK14/SGPI(30)
COMMON /BLGR1/EGR(26) /BLGR2/SGLN(25,6)
*/BLGR3/SUV(9,11) /BLGR4/SPEU(5,11) /BLGR5/VNU(5)
CONSTANT INFORMATION

```

```

DATA(EGR=
*1 .5,6,5,4.,2.5,3.4,3.4,3.4,2,1,0.465,0.215,0.01,
*.465,0.215,0.01,0.0465,0.0215,0.0001,0.0000465,0.0000215,
*.00000465,0.00000215,0.00000001,0.0000000465,0.0000000215)

```

```

DATA(SPEU=
*.16,0.17,0.18,0.20,0.21,0.88,0.092,0.095,0.098,0.11,
*.184,0.186,0.188,0.190,0.192,0.270,0.273,0.269,0.268,0.267,
*.22,0.225,0.228,0.298,0.296,0.294,0.141,0.139,0.137,0.135,0.133,
*.05,0.06,0.059,0.058,0.057,0.024,0.023,0.023,0.022,0.022,
*.1,0.09,0.09,0.09,0.09,5(0.03),5(0.01))

```

```

DATA(VNU=2.4,2.6,2.8,3.,3.2)
INFORMATION FOR CARRON C(12,6)

```

```

DATA(SGLN=25(0.),25(0.),
*.0,2.22(0.),2(0.001),
*.35,0.38,23(0.),
*.85,0.37,2.18,1.80,2.55,3.1,4.00,4.30,4.50,4.60,15(4.70),
*.35,0.38,0.38,0.11,0.13,0.12,0.18,0.17,17(0.6))

```

```

DATA(SUV=
*.0,0.07,0.2,0.05,0.2,0.0,3(0.),
*.0,0.05,0.2,0.1,4(0.),
*9(0.))

```

```

DATA(ENP=
*1 .5,15.,20.,25.,30.,37.5,45.,55.,70.,85.,100.,120.,135.,150.,
*175.,200.,225.,250.,300.,375.,450.,550.,775.,1000.,2000.,3500.,
*7000.,12000.,20000.,30000.)

```

```

DATA(SGNI=
*150.,140.,147.,140.,126.,111.,100.,85.,660.,571.,480.,
*45.,36.,36.,315.,30.,290.,280.,280.,288.,296.,312.,355.,
*375.,37.,356.,334.,324.,312.,305.)

```

```

DATA(SGPI=
*5(157.),157.,185.,255.,343.,430.,550.,623.,665.,730.,690.,658.,
*56.,495.,445.,307.,310.,325.,340.,315.,280.,260.,252.,246.,240.)

```

```

DATA(SGNI=
*35.,74.,329.,318.,37.,291.,275.,270.,260.,255.,250.,240.,
*233.,228.,218.,21.,24.,20.,196.,200.,206.,216.,248.,260.,
*254.,248.,258.,236.,202.,235.)

```

```

DATA(SGPI=
*5(155.),125.,154.,210.,238.,270.,300.,315.,325.,332.,330.,322.,
*35.,28.,245.,227.,220.,24.,255.,240.,216.,195.,190.,185.,180.)

```

CONSTANT INFORMATION

```

EPS=.07 $ VPI=.025 $ N=3 $ T1=0. $ T2=0. $ MSQ=0 $ LI=0

```

```

PRINT
FORMAT(/5X,6HINFORM/)

```

```

RETURN $ END

```

SUBROUTINE INFORM

COMMON ANUCL,ZNUCL,EPS,VPI,N,
RSH(4),RBIG(4),RHOP(4),RHON(4),AF(4),TF(4),TFN(4)
/REGI/CHL,T,T1,T2,M=0,MQ0,MSL,L1

COMMON /BLK100/ ENF(30)
/BLK11/SGHT(3)/BLK12/SGPT(30)/BLK103/SGNI(30)/BLK104/SGPI(30)

COMMON /BLGR1/EGR(26) /BLGR2/SGLR(25,6)
/BLGR3/SUV(6,1) /BLGR4/SPFU(5,1) /BLGR5/VNU(5)

CONSTANT INFORMATION

DATA(EGR=

1.5,6.5,4.,2.5,1.4,.0,1.4,2.,1.,.0465, .215,.01,
.465,.215,.01,.0465,.01215,.0101,.000465,.000215,
.01,.0465,.0101215,.01001,.0100465,.00000215)

DATA(SPFU=

.16,.17,.18,.20,.21,.88,.92,.095,.098,.111,
.183,.185,.188,.190,.192,.270,.270,.269,.268,.267,
.22,.22,.98,.96,.94,.141,.139,.137,.135,.133,
.61,.59,.59,.58,.57,.024,.023,.023,.022,.022,
.1,.09,.09,.09,.09,5(.03),5(.01))

DATA(VNU=2.4,2.6,2.8,3.,3.2)

INFORMATION FOR ALUMINIUM AL(27,13)

DATA(SGLR=25(.),25(0.)),

.95,.23,.05,.04,.04,.07,.001,.03,.002,.006,.01,.06,
.07,.01,.15,.021,.031,.046,.076,.01,.015,.021,.031,
.46,.67,

.8,.75,.65,5.,13,2 (.),

1.,.43,2.15,0.5,3.,7,4.,3.9,5.2,5.,7.39,1.,2.54,13(1.4),
.64,.57,.47,.36,.29,.2,.1,.06,.14,.03,15(.02))

DATA(SUV=. .,6.,15.,25.,18.,1.,14.,1,0.,0.,

.5,.22,.21,.1,.7,.3,.1,3(.)),
.6,.31,.18,.1,.4,.01,4(.),
.4,.27,.19,7(.),0.,.03,.06,.03,.01,65(0.))

DATA(ENF=

15.0, 20.0, 25.00, 30.00, 37.50,
45.0, 55.0, 70.0, 85.00, 100.00, 120.00,
135.0, 150.0, 175.0, 200.00, 220.00, 260.00,
300.0, 375.0, 450.0, 550.00, 775.00, 1000.00,
1200.0, 1500.0, 2000.0, 2700.00, 3000.00)

DATA(SGHT=

19.0, 1865.0, 1865.0, 1815.0, 185.00, 1742.50,
75.0, 1354.6, 1388.5, 1122.40, 970.00, 824.20,
737.43, 671.0, 618.75, 585.00, 577.80, 568.40,
565.0, 571.98, 574.07, 626.80, 683.69, 715.00,
696.88, 670.07, 623.64, 590.94, 580.94, 582.50)

DATA(SGPT=

341.23, 319.0, 300.0, 287.00, 280.00, 289.75,
295.0, 335.0, 440.0, 592.00, 764.00, 1008.00,
140.0, 1216.0, 1260.0, 1220.00, 1164.00, 1052.00,
964.0, 796.25, 710.0, 680.00, 680.00, 680.00,
66.0, 564.0, 520.0, 518.00, 510.00, 491.00)

DATA(SGNI=

9.0, 64.0, 64.0, 491.00, 554.00, 529.25,
5.0, 78.8, 453.3, 434.32, 420.00, 410.80,
44.95, 400.0, 395.25, 390.00, 384.24, 376.72,
374.0, 378.21, 389.46, 409.20, 443.56, 456.00,
446.63, 436.20, 422.28, 414.16, 411.41, 409.37)

DATA(SGPI=

140.75,	157.50,	175.00,	192.50,	210.00,	236.25,
262.50,	297.50,	350.00,	403.10,	455.14,	514.46,
549.58,	576.00,	599.96,	599.56,	537.00,	543.00,
55.00,	485.75,	470.00,	465.00,	458.75,	474.00,
40.00,	388.63,	363.00,	358.80,	354.00,	348.00)

CONSTANT INFORMATION

EPS= .07 \$ VPI= .025 \$ N=3 \$ T1=0. \$ T2=0. \$ MS0=0 \$ L0=0

PRINT

FORMAT(75 X,6HINFORM/)

RETURN \$ END

SUBROUTINE INFORM

C, HNON, ANUCL, ZNUCL, EPS, VPI, N,

*RSM(4), RHIC(4), RHOP(4), RHON(4), AF(4), TFP(4), TFN(4)

*/REG11/CM, T, T1, T2, ME0, MQ0, MSU, L1

C, MP01 /BLK103/ ENP(30)

*/BLK11/SGPI(30)/BLK12/SGPI(30)/BLK103/SGNI(30)/BLK14/SGPI(30)

C, MP01 /BLGR1/EGR(26) /BLGR2/SGLN(25,6)

*/BLGR3/SUV(5,11) /BLGR4/SPFU(5,11) /BLGR5/VNU(5)

CONSTANT INFORMATION

DATA(EGR=

*1 .5, .6, .5, .4, .2, .5, .4, .8, .4, .2, .1, .0465, .0215, .11,
*.0465, .0215, .0001, .0000465, .0000215,
*.0465, .0215, .0001, .0000465, .0000215)

DATA(SPEII=

*.16, .17, .18, .20, .21, .88, .092, .095, .098, .101,
*.184, .186, .188, .190, .192, .270, .270, .269, .268, .267,
*.211, .211, .98, .196, .194, .141, .139, .137, .135, .133,
*.61, .61, .59, .58, .57, .024, .023, .020, .022, .022,
*.1, .9, .9, .9, .09, 5(.03), 5(.001))

DATA(VNU=2.4, 2.6, 2.8, 3., 3.2)

INFORMATION FOR FERRUM FE(56, 26)

DATA(SGLN=25(.), 25(0.)),

*.038, .05, .09, 0.03, 0.04, 0.025, 0.016, 0.006, 0.007, 0.017,
*.05, .04, .11, 0.16, 0.015, 0.028, 0.037, 0.053, 0.072, 0.105, 0.154,
*.22, .33, .49, 0.720,
*1.37, .35, .13, 1.90, 0.37, 1.01, 19(.),
*1.99, 2.45, 2.37, 2.40, 2.53, 3.78, 2.99, 5.49, 5.29, 14.5, 3.99, 8.40,
*5.89, 7.39, .01, .09(11, 4),
*.83, .72, .48, 1.32, 0.24, .17, 0.18, 0.15, 0.033, 1.02, 15(0.11))

DATA(SUV=

*.19, 0.40, 0.34, .22, 0.18, 0.14, 0.01, 0.,
*.12, .22, .31, 0.33, 0.23, .15, 0.13, 0.1, 2(0.),
*.18, .27, .14, 0.13, 0.05, .03, 4(.),
*.15, .46, .25, 0.13, 0.01, 5(0.),
*.21, .15, .15, 0.5, 0.01, 5(0.),
*.01, 59(.))

DATA(ENP=

*.5, .15.0, .20.0, .25.0, .30.00, .37.50,
*.45, .59.0, .70.0, .85.0, 1.0.00, 120.00,
*.155, .5.0, 175.0, 200.00, 220.00, 260.00,
*.3, .75.0, 400.0, 550.00, 775.00, 1000.00,
*.2, .35.0, 70.00, 120.00, 200.00, 30000.00)

DATA(SGNT=

*34.0, .25.0, .23.0, 2255.00, 2260.00, 2404.38,
*259.0, 2479.0, 2218.25, 1968.20, 1745.00, 1501.40,
*1353.35, 1035.0, 1125.00, 1155.00, 1045.20, 1033.20,
*1145.0, 1044.86, 1020.00, 1216.12, 1255.00,
*1238.75, 1088.92, 1096.71, 1135.31, 1022.81, 1021.25)

DATA(SGPT=

*766.05, .721.0, .680.0, .649.00, .628.00, .615.25,
*.625, .673.0, .820.0, 1132.00, 1320.00, 1740.00,
*.197, .210.0, 2150.0, 2000.00, 2015.00, 1775.00,
*.578, .359.0, 120.0, 1144.00, 1181.25, 1200.00,
*1148, .164.0, 965.0, 939.60, 922.00, 900.00)

DATA(SGNI=

*4.0, .14.0, 1120.0, 990.00, 920.00, 843.38,

* 87.00,	291.10,	772.30,	754.80,	740.00,	725.76,
* 78.34,	713.00,	710.25,	688.00,	669.44,	646.38,
* 64.00,	643.33,	664.00,	688.80,	732.22,	750.10,
* 740.88,	732.44,	714.77,	661.59,	692.34,	690.62)

DATA(SGFI=

* 213.37,	243.75,	277.50,	311.25,	345.00,	395.62,
* 446.25,	553.75,	615.00,	719.22,	813.43,	891.77,
* 942.44,	978.00,	1010.99,	991.78,	968.89,	916.56,
* 875.00,	818.88,	753.00,	720.00,	744.92,	780.00,
* 737.00,	686.25,	620.00,	636.00,	620.00,	600.00)

CONSTANT INFORMATION

EPS= , , \$ VPI= .025 \$ N=3 \$ T1=0. \$ T2=0. \$ NS=0 \$ LD=0

PRINT _

FORMAT(/X,CHINFORM/)

RETURN + END

SUBROUTINE INFORM

COMMON ANUCL,ZNUCL,EPS,VPI,N,

*RSH(4),RHIG(4),RHOP(4),RHON(4),AF(4),TFP(4),TFN(4)

*/BEG1/CON ,1 ,T1,T2,ME0,MQL,MSE,L1

COMMON /BLK100/ ENP(30)

*/BLK11/SGNI(3)/BLK12/SGPI(30) /BLK103/SGNI(30)/BLK114/SGPI(30)

COMMON /BLGR1/EGR(26) /BLGR2/SGLN(25,6)

*/BLGR3/SUV(5 ,11) /BLGR4/SPFU(5,11) /BLGR5/VNU(5)

CONSTANT INFORMATION

DATA(EGR=

*1 .0,6.5,4.,2.5,1.4,.3,.4,.2,.1,.0465,. 215,.01,
*. 465,. 425,. 1,.0 0465,. 215,.0001,.000465,.0000215,
*. . 465,.0 0 0215,. 0 001,.000 00465,.000000215)

DATA(SPFU=

*. 16,. 17,. 18,. 20,. 21,. 88,. 92,. 95,. 98,. 111,
*. 184,. 186,. 188,. 190,. 192,. 270,. 271,. 269,. 268,. 267,
*. 2 2,. 2 98,. 96,. 194,. 141,. 139,. 137,. 135,. 133,
*. 6 . 6 . 52,. 58,. 57,. 24,. 023,. 023,. 022,. 022,
*. 1 . 9,. 9,. 9,. 09,5(.0 3),5(.011))

DATA(VNU=2.4,2.6,2.3,3.,3.2)

INFORMATION FOR NICKEL NI(59,28)

DATA(SGLN=25(.),25(0.))

*. 23,. 19,. 135,. 072,0.03,. 11,0.009,. 01,. 016,0.016,0.033,
*. . 8,. 48,. 19,0.028,0.041,. 061,0.089,0.131,0.193,. 283,
*. 4 4,. 6 6,. 89,. 1.314,
*1.27,1.3 , . 5,21(0.),
*2.0,1.7,2.16,0.53,3.12,3.94,5.49,4.99,7.48,11.9,28.7,14.,20.,
*13.4,11.5,1 (17.),
*. 8,. 73,. 45,. . ,1.24,0.14,. 09,0.04,. 03,16(0.01))

DATA(SUV=. 1,. 5,. 18,0.37,. 32,0.22,. 08,0.03,0.01,0.,

*. 3,. 28,. 31,0.33,0.22,. 19,0.03,0.01,2(0.),
*. 16,. 36,. 31,0.17,0.09,. 3,0.01,3(0.),
*. 1,. 4,. 2,. 1,. 05,. 2,74(.))

DATA(ENP=

*. 5 , 15.0 , 20.0 , 25.0 , 30.00 , 37.50,
*. 45. , 55.0 , 70.0 , 85.00 , 1 0.00 , 120.00,
*. 135. , 5 .0 , 175.0 , 225.00 , 220.00 , 260.00,
*. 3 . , 475.0 , 450.0 , 550.00 , 775.00 , 1100.00)
*. 2 . , 35 .00 , 70 .0 0 , 127.50.00,250.00.00,38000.00)

DATA(SGNI=

* 35 . , 18 .0 , 2400.0 , 2725.0 , 2330.00 , 2543.13,
* 267 . , 2552. , 2292.25 , 2 54.60 , 1840.00 , 1573.60,
* 14 3.85 , 185.0 , 1172.5 , 1700.00 , 1088.20 , 1071.40,
* 1 65. , 1 76.87 , 11 7.86 , 1153.20 , 1236.66 , 1290.00,
* 1265. , 1227.29 , 1134.25 , 1 70.31 , 1057.61 , 1056.25)

DATA(SGPI=

* 779.0 , 1335.5 , 696.0 , 666.50 , 647.00 , 636.50,
* 646.5 , 199.5 , 851.0 , 1775.00 , 1370.00 , 1815.00,
* 2 44. , 2 8 .0 , 2232.0 , 2180.00 , 2091.00 , 1842.00,
* 1632. , 1411.5 , 1245.0 , 1188.00 , 1226.63 , 1245.00,
* 109 . , 1 5.00 , 10-1.0 , 974.60 , 957.00 , 935.00)

DATA(SGNI=

* 15 . , 16 .0 , 1220.0 , 1000.00 , 994.00 , 892.75,
* 85 . , 823.33 , 797.15 , 777.84 , 762.00 , 747.76,
* 738.34 , 73 .0 , 722.13 , 710.00 , 692.08 , 669.68,
* 662. , 668.11 , 682.97 , 707.68 , 752.77 , 775.00,

```
* 767.38, 156.10, 737.22, 723.94, 715.44, 713.25)
DATA(SGPI=
* 219.5 , 251.8 , 286.0 , 321.10, 356.00, 408.50,
* 46 . . , 531.0 , 636.0 , 744.12, 851.29, 922.31,
* 973.95, 1011.1 , 1082.99, 1123.67, 1011.56, 948.11,
* 919. . , 837.18, 719.0 , 645.10, 710.46, 826.00,
* 762. . , 719.60, 673.0 , 657.80, 641.00, 620.00)
```

CONSTANT INFORMATION

```
EPS= . . 7 $ VPI=.025 $ N=3 $ T1=0. $ T2=0. $ MS0=0 $ LD=0
PRINT
FORMAT(/F1X,6HINFORM/)
RETURN & END
```


SUBROUTINE INFORM

COMMON ANUCI,ZNUCL,EPS,VPI,N,

*RSM(4),RBIG(4),RHOP(4),RHON(4),AF(4),TFP(4),TFN(4)

*/BEGIN/CHL,T,T1,T2,ME0,MO,MS,LC

COMMON /BLK103/ EFP(30)

*/BLK11/SGNT(30)/BLK12/SGPI(30)/BLK103/SGNT(30)/BLK104/SGPI(30)

COMMON /BLGR1/EGR(26) /BLGR2/SGLN(25,6)

*/BLGR3/SUV(1,11) /BLGR4/SPEU(5,11) /BLGR5/VNU(5)

CONSTANT INFORMATION

DATA(EGR=

*1.5,6.5,4.,2.5,1.4,.8,.4,.2,.1,.0465,.0215,.01,
*.465,.25,.01,.0465,.0215,.0001,.0000465,.0000215,
*.465,.0001,0.0215,.0001,.0000465,.00000215)

DATA(SPEU=

*.16,.17,.18,.20,.21,.088,.092,.095,.098,.101,
*.184,.186,.188,.190,.192,.270,.273,.269,.268,.267,
*.202,.204,.198,.196,.194,.141,.139,.137,.135,.133,
*.6,.6,.59,.58,.57,.024,.023,.023,.022,.022,
*.1,.09,.09,.09,.09,5(.03),5(.011))

DATA(VNU=2.4,2.6,2.8,3.,3.2)

INFORMATION FOR COPRLM CU(64,29)

DATA(SGLN=25(.),25(0.),

*.14,.14,.15,0.06,0.010,0.014,0.020,0.028,0.040,0.090,
*.14,.24,.24,.36,1.7,.28,0.20,0.047,0.080,0.15,0.23,0.34,
*.5,.74,1.8,
*1.56,.59,1.49,0.80,0.21,20(.),
*2.1,2.3,1.94,2.39,3.29,4.19,4.98,5.17,5.96,7.91,9.36,9.76,
*9.66,24.5,9.4,6.80,7.11,7.38,7.48,7.50,7.80,7.70,3(7.81),
*.8,.73,50,0.29,0.16,0.11,0.07,0.04,0.02,10(0.01))

DATA(SUV=

*.15,.16,22,0.46,0.41,0.26,0.15,0.03,0.01,0.,
*.25,.21,46,0.42,0.31,0.11,0.03,0.01,2(0.),
*.15,.45,39,0.28,0.13,0.04,0.01,0(.),
*.15,.43,2,0.02,6(0.),
*.9,.8,.02,0.01,65(0.))

DATA(ENP=

*1.5,5.,2.,25.,30.,37.5,45.,55.,70.,85.,100.,120.,135.,150.,
*175.,200.,220.,260.,300.,375.,450.,550.,775.,1000.,2000.,3500.,
*7.,12.,20.,30.,30.0)

DATA(SGNT=

*33.,29.,2580.,243.,2480.,2510.,262.,2600.,2500.,2230.,
*1975.,675.,1525.,140.,1250.,1175.,1160.,1140.,1130.,1150.,
*119.,133.,1360.,140.,1380.,1340.,1200.,1150.,1130.,1120.)

DATA(SGPI=

*6(0.),60.,675.,875.,1150.,1460.,1900.,2100.,2250.,2350.,
*23.,2190.,1925.,171.,147.,1280.,1240.,1330.,1370.,1350.,
*118.,1090.,1140.,102.,1000.)

DATA(SGNT=

*157.,141.,1250.,114.,150.,97.,900.,860.,825.,810.,800.,
*78.,77.,76.,74.,725.,720.,700.,690.,710.,735.,740.,790.,
*5.,79.,78.,76.,750.,750.,750.)

DATA(SGPI=

*6(45.),45.,540.,660.,775.,875.,960.,1020.,1060.,1100.,1100.,
*18.,130.,97.,900.,840.,82.,840.,860.,850.,750.,710.,700.,
*59.,68.)

CONSTANT INFORMATION

22 07 73

```
EPS# . 7 $ VP1= .025 $ N=3 $ T1= . 9 T2=0. $ MS0=0 $ I0=0  
PRINT #  
FWRPAT(/5(X,6HINFORM/)  
RETURN $ END
```

SUBROUTINE INFORM
 C MMGM, ANUCL, ZNUCL, EPS, VPI, N,
 RSM(4), RBIG(4), RHOP(4), RHON(4), AF(4), TF-(4), TFN(4)
 /BEGIN/CMO, T, T1, T2, MEU, MQG, MSU, LQ
 C MMGM /BLK110/ FN-(30)
 /BLK 1/SGNT(30)/BLK1 2/SGPI(30) /BLK103/SGNI(30)/BLK1 4/SGPI(30)
 COMMON /BLGR1/EGR(26) /BLGR2/SGLN(25,6)
 /BLGR3/SUV(5,21) /BLGR4/SPFU(5,11) /BLGR5/VNU(5)
 CONSTANT INFORMATION

DATA(EGR=
 * 1 .5, 6.5, 4., 2.5, .4, .8, .4, .2, .1, .0465, .215, . 1,
 . 465, . 2 5, . 1, .0 0465, .0 215, .0 001, .00 465, .0000215,
 . 465, .000 0215, . 0 001, .000 00465, .000000215)

DATA(SPFU=
 * . 16, . 17, . 18, . 20, . 21, . 88, . 92, . 095, . 98, . 1 1,
 . 184, . 187, . 88, . 90, . 192, . 270, . 270, . 269, . 268, . 267,
 . 2 7, . 2 9, . 98, . 196, . 194, . 141, . 139, . 137, . 135, . 133,
 . 6 1, . 6 2, . 59, . 58, . 57, . 24, . 23, . 23, . 22, . 22,
 . 1, . 9, . 9, . 9, . 09, 5(.0 3), 5(.0 11))

DATA(VNU=2.4, 2.6, 2.8, 3., 3.2)
 INFORMATION FOR PLUMBING PB(207,82)

DATA(SGLN=25(.), 25(0.)),
 * . 1, . 2, . 3, . 4, . 5, . 6, . 7, . 8, . 9, . 10, . 11, . 12, . 13, . 14, . 15, . 16, . 17, . 18, . 19, . 20, . 21, . 22, . 23, . 24, . 25,
 * 4(. 1), . 2, . 3, . 4, . 5, . 6, . 7, . 8, . 9, . 10, . 11, . 12, . 13, . 14, . 15, . 16, . 17, . 18, . 19, . 20, . 21, . 22, . 23, . 24, . 25,
 * . 33, . 40,
 * 2.5, 2.1, 2.23, . 55, 0.29, . 1, 1.15(0.),
 * 3., 3., 6.27, 5.35, 5.41, 5.69, 7.39, 9.79, 10.7, 10.2, 10.7, 3(11.), 11.1,
 * 11.2, 9(11.3),
 * . 84, . 77, . 52, . 31, 0.2, 0.16, . 14, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01, 14(0.)
 DATA(SUV= . 1, . 19, 0.35, 0.83, . 78, 0.55, . 2, 0.07, 0.02, 0.,
 * . 6, . 26, . 61, 0.55, 0.4, 0.15, . 05, 0.02, 2(0.),
 * . 21, . 38, . 27, 0.24, 0.11, . 14, . 1(1, 3(.)),
 * . 15, . 26, . 1, . 14, 6(.),
 * . 3, . 1, . 84, 0.02, 5(.),
 * 3(.), . 1, 56(.))

DATA(EMP=
 * . 5, . 15.0, . 30.0, . 25.00, . 30.00, . 37.50,
 * 45.0, . 55.0, . 70.0, . 85.00, . 100.00, . 120.00,
 * 135.0, . 150.0, . 175.0, . 200.00, . 220.00, . 260.00,
 * 300.0, . 375.0, . 450.0, . 550.00, . 775.00, . 1000.00,
 * 1200.0, . 1500.0, . 1750.0, . 2200.00, . 2750.00, . 3000.00)

DATA(SGNT=
 * 4973.5, . 5500.0, . 5800.0, . 5000.00, . 5100.00, . 4606.25,
 * 4400.0, . 4375.0, . 4600.0, . 4250.00, . 4540.00, . 4100.00,
 * 3775.63, . 3810.0, . 3175.0, . 234.83, . 2857.83, . 2851.63,
 * 2849.39, . 2860.96, . 2883.5, . 2925.00, . 3091.51, . 3152.22,
 * 3150.0, . 323.66, . 2881.3, . 2791.86, . 2744.61, . 2851.78)

DATA(SGPI=
 * 1400.0, . 1406.25, . 1415.0, . 1456.25, . 1500.00, . 1589.06,
 * 1706.25, . 1906.25, . 2300.0, . 2822.66, . 3368.75, . 4099.63,
 * 4550.25, . 4850.0, . 5123.44, . 4975.00, . 4725.00, . 4250.00,
 * 3850.0, . 3420.0, . 3062.5, . 2902.50, . 3200.63, . 3350.00,
 * 3210.0, . 2980.0, . 2746.88, . 2641.33, . 2600.00, . 2566.67)

DATA(SGNI=
 * 2590.0, . 2500.0, . 2400.0, . 2400.00, . 2200.00, . 2050.00,
 * 1900.0, . 1975.0, . 1760.0, . 1446.25, . 1720.00, . 1710.00,

* 17 3.44, 169 .01, 1664.5 , 1646.53, 1631.71, 1603.57,
 * 1583.48, 1587.19, 1617.89, 1640.00, 1744.02, 1776.06,
 * 175 .00, 1737.86, 1730.00 , 1730.00, 1730.00, 1730.00)

DATA(SGF)=

* 756.25, 812.50, 875.00 , 937.50, 1010.00, 1093.75,
 * 1187.50, 1312.50, 1500.00 , 1692.19, 1850.00, 2061.25,
 * 2179.38, 226 .00, 2371.88, 2370.00, 2348.75, 2276.67,
 * 215 .00, 1957.92, 1852.50 , 1802.50, 1829.69, 1920.00,
 * 18 .00, 1693.13, 1633.59, 1618.00, 1610.00, 1560.00)

CONSTANT INFORMATION

EPS= .007 \$ VPI= .025 \$ N=3 \$ T1=1. \$ T2=0. \$ MS0=0 \$ LC=0

PRINT 1

3 FORMAT(75X,6HINFORM/)

RETURN & END

Приложение 3: библиотека подпрограмм для расчета нуклон-
мезонного каскада в веществе.

PROGRAM SHIELD

-----COMMONS-MEMORY-----

COMMON /BLOK77/ SPT(9,60) /BLOK88/ SECPRT(9,150)

-----COMMONS OF SIGAR-----

COMMON/TABLES/SIGMA(3,19),ARGUS(30,3) /TYPECS/ICST(28),NSICST(21)

-----COMMONS OF CARC-----

COMMON/COEFA/ANKJ(4,4,29) /COEFBC/BRKJ(4,4,8),CKJ(3,6)

-----COMMONS OF DATEVP-----

COMMON /BL1016/CC(6) /BL1017/VK(6)
/BL1005/AJ(6) /BL1006/ZJ(6)
/BL1005/DLM(6) /BL1014/GAM(6)
/BL1001/T1Y(3) /BL1002/T2XY(200)

-----COMMONS OF INFORM-----

COMMON ANUCL,ZNUCL,EPS,VPI,N,
RSM(4),RRIG(4),RHOP(4),RHON(4),AF(4),TEP(4),TEN(4)
/BEGIT/CHP,T,T1,T2,ME0,NQ0,MS0,LC

COMMON /BLK100/ ENP(30)

/BLK101/SGNT(3) /BLK102/SGPI(30) /BLK103/SGNI(30) /BLK104/SGPI(30)

-----COMMONS OF SUGRNG-----

COMMON /BLGR1/EGR(26) /BLGR2/SGLN(25,6)
/BLGR3/SUV(,11) /BLGR4/SPEU(5,11) /BLGR5/VNU(5)

-----COMMONS OF SURREG-----

COMMON /BLOK7/IR(85) /BLOK8/RN(85) /BLOK9/RP(85)

-----COMMONS OF HELP INCLUDED IN COMMONS OF INFORM-----

-----COMMONS OF LITING-----

COMMON /BLOK1/GH(5)
/BLOK2/ATG,ZTG
/BLOK3/RO,DI,R2
/BL106 /AM,AMF
/BL0999/RADNCL
/BLOK18/TOBRN,TOBRP
/BLINEL/TCASC,BOUNDH,BOUNDP
/BLGR6/DLN
/CASVSP/VMCOL(3)

-----COMMONS OF INSPAN-----

COMMON /WRPR11/X1,X2,X3,CT,SE,CF,T,Q,RM

-----END OF COMMONS-----

CALL LOAD GO (1,1, .9, .2, .01,1.07,10.,9.545,6HHEADIN)

CALL LOAD GO (1 .5,5 , -1.,6HMATTER)

STOP

END

```

SUBROUTINE HEADIN(PAR,PRA,A1,A2,A3,R0N,RMAX,RN)
-----COMMONS-MEMORY-----
COMMON /BLOK77/ SPT(9,60) /BLOK83/ SECPRT(9,150)
-----COMMONS OF SIGAR-----
COMMON/TABLOS/SIGMA(3,19),ARGUS(30,3) /TYPECS/ICST(28),NSICST(21)
-----COMMONS OF CABC-----
COMMON/COEFA/ANKJ(4,4,29) /COEFC/BNKJ(4,4,8),CKJ(3,8)
-----COMMONS OF DATEVP-----
COMMON /BL1016/CC(6) /BL1017/VK(6)
/BL1005/AJ(6) /BL1005/ZJ(6)
/BL1008/DLM(6) /BL1014/GAM(6)
/BL1001/I1Y(130) /BL1012/T2XY(200)
-----COMMONS OF INFORM-----
COMMON ANUCL,ZNUCL,EPS,VPI,N,
RSM(4),RBIG(4),RHOP(4),RHON(4),AF(4),TFP(4),TFN(4)
/BEGIN/CHL,T,T1,T2,ME0,M00,MSU,LC
COMMON /BLK100/ ENP(30)
/BLK101/SGNT(3) /BLK102/SGPI(30) /BLK103/SGNI(30) /BLK104/SGPI(30)
COMMON /BLGR1/EGK(26) /BLGR2/SGLN(25,6)
/BLGR3/SUV(7,11) /BLGR4/SPEU(5,11) /BLGR5/VNU(5)
-----COMMONS OF SUBRNG-----
COMMON /BLOK7/TR(25) /BLOK8/RN(85) /BLOK9/RP(35)
-----COMMONS OF HELP INCLUDED IN COMMONS OF INFORM-----
-----COMMONS OF LITINI-----
COMMON /BLOK1/GH(5)
/BLOK2/ATG,ZTG
/BLOK3/RO,DI,R2
/BL100 /AM,AMF
/BL0999/RADNCL
/BLOK13/TOBRN,TOBRP
/BLINEL/TCASC,BOUNDN,BOUNDP
/BLGR6/OLN
/CASVSP/VMCOL(3)
-----COMMONS OF INSPAR-----
COMMON /WRPR11/X1,X2,X3,CT,SF,CF,T,9,RM
-----END OF COMMONS-----
DO 1 J=1,6 $ DO 1 K=1,9
SPT(K,J)=J.
DO 2 J=1,150 $ DO 2 K=1,9
SECPRT(K,J)=.
CALL SIGAR
CALL CABC
CALL DATEVP
CALL INFORM
REAL I1,ATG,ZTG,RO,DI,R2
REAL I2,AM,AMF,RADNCL
REAL I3,TCASC,BOUNDN,BOUNDP
REAL I4,TOBRN,TOBRP,OLN
REAL I5,GH
FORMAT(F5.1,F4.1,F5.2,F6.1,F7.5,53X)
FORMAT(3F5.3,65X)
FORMAT(F6.1,2F5.2,64X)
FORMAT(2F6.1,F10.7,58X)
FORMAT(5F8.2,4 X)
CALL SUBRNG(PAR)
CALL HELP(PRA,A1,A2,A3,R0N,RMAX,RN)

```

```

VMCOL(1)=AF(N) $ VMCOL(2)=AF(N)+EPS $ VMCOL(3)=AF(N)
AF(1)=1. $ AF(2)=1. $ AF(3)=5. $ AF(4)=1.
REAL C1,X1,X2,X3,CT,SF,CF
REAL C2,I
REAL C3,O,RM
FORMAT(3F7.2,3F6.3,4I1X)
FORMAT(F10.3,7 X)
FORMAT(F4.1,F6.1,70X)
PRINT 1
FORMAT(/54H *****
56H*****//)
PRINT 2
FORMAT(42X,34HCHARACTERISTICS OF TARGET MATERIAL/)
PRINT 2 2,ATG,ZTG
FORMAT(42X,2 HMASS AND ATOM NUMBER,10X,F5.1,5X,F5.1)
PRINT 2 3,R0
FORMAT(42X,16HDENSITY OF MATTER(G/CM**3),4X,F6.3)
PRINT 2 4,BI
FORMAT(42X,24HIONISATION POTENTIAL(EV),5X,F7.2)
PRINT 2 5,R2
FORMAT(42X,26HRANGE FOR T=2.MEV(G/CM**2),4X,F9.5/)
PRINT 2 6
FORMAT(42X,33HPARAMETRS FOR NUCLEAR EVAPORATION/)
PRINT 2 7,AM,AMF,RADNCL
FORMAT(42X,3HAM=,F5.3,5X,4HARF=,F5.3/42X,7HRADNCL=,F5.3/)
PRINT 2 8
FORMAT(42X,38HTCASC AND BOUND ENERGY FOR EVAPORATION/)
PRINT 2 9,TCASC,BOUNDN,BOUNDP
FORMAT(42X,4HTCASC=,F5.2/42X,7HBOUNDN=,F6.2,5X,7HBOUNDP=,F6.2/)
PRINT 2 10
FORMAT(42X,43HCUT-OFF ENERGIES FOR P,PI+ AND LOW ENERGY N/)
PRINT 2 11,10BRN,10BRP,OLN
FORMAT(42X,6HTOBN=,F6.2,5X,6HTOBRP=,F6.2/42X,4HOLN=,F12.9/)
PRINT 2 12
FORMAT(42X,4 HGEOMETRICAL DIMENSION OF BLOCK OF MATTER/)
PRINT 2 13,GH
FORMAT(42X,5(F10.4,5X))
PRINT 1
PRINT 1
FORMAT(42X,36HCHARACTERISTICS OF INCIDENT PARTICLE/)
PRINT 1 2,X1,X2,X3
FORMAT(42X,15HENTRY-POINT(CM),10X,3(F8.2,2X)/)
PRINT 1 3,CT,SF,CF
FORMAT(42X,16HDIRECTION OF FLY,9X,3(F6.3,2X)/)
PRINT 1 4,I
FORMAT(42X, 9HKINETIC ENERGY(MEV),6X,F10.3/)
PRINT 1 5,G
FORMAT(42X,6HCHARGE,19X,F4.1/)
PRINT 1 6,RM
FORMAT(42X,9HMASS(MEV),16X,F6.1)
PRINT
RETURN
END

```



```

SUBROUTINE MATTER(TOBRNN,NCYCLE,CONT)
-----COMMONS-MEMORY-----
COMMON /BLOK77/ SPT(9,60) /BLOK88/ SECPRT(9,150)
-----COMMONS OF SIGAR-----
COMMON/TABLES/SIGMA(3,19),ARGUS(30,3) /TYPECS/ICST(28),NSICST(21)
-----COMMONS OF CARC-----
COMMON/COEFA/ANKJ(4,4,29) /COEFBC/BRKJ(4,4,8),CKJ(3,8)
-----COMMONS OF DATEVF-----
COMMON /BL1016/CC(6) /BL1017/VK(6)
/BL1005/AJ(6) /BL1006/ZJ(6)
/BL1008/DLM(6) /BL1014/GAM(6)
/BL1001/T1Y(30) /BL1012/T2XY(200)
-----COMMONS OF INFORM-----
COMMON ANUCL,ZNUCL,EPS,VPT,N,
RSM(4),RBIG(4),RHOP(4),RHON(4),AF(4),TFP(4),TFN(4)
/BEGIN/CMO,T,T1,T2,MEQ,MQO,MSO,LC
COMMON /BLK100/ ENP(30)
/BLK101/SGNT(30)/BLK102/SGPI(30) /BLK103/SGNI(30)/BLK104/SGPI(30)
COMMON /BLGR1/EGR(26) /BLGR2/SGLI(25,6)
/BLGR3/SUV(5,11) /BLGR4/SPEU(5,11) /BLGR5/VNU(5)
-----COMMONS OF SUBRNG-----
COMMON /BLOK7/TR(85) /BLOK8/RN(85) /BLOK9/RP(85)
-----COMMONS OF HELP INCLUDED IN COMMONS OF INFORM-----
-----COMMONS OF LITINE-----
COMMON /BLOK1/GH(5)
/BLOK2/ATG,ZIG
/BLOK3/RO,DI,R2
/BL100 /AM,ADF
/BL0999/RADNCL
/BLOK13/TOBRN,TOBRP
/BLINEL/TCASO,BOUNDN,BOUNDP
/BLGR6/OLN
/CASVSP/VMCOL(3)
-----COMMONS OF INSPAR-----
COMMON /WRPR1/X1,X2,X3,CT,SF,CF,T,G,RM
-----END OF COMMONS-----
COMMON /WRPR/ WP(9)
/GOOUT/GOT /BLOK11/POGL /BLOK10/PI20 /PRZVNL/VINEL
/BLOKRT/CTR,SFR,CFR,STR
/BLFUS/FUSION /BL1003/U,A,Z
CALL PRNHST(NBROS)
IF (CONT)11,11,1,102
CALL PRFS11(NBROS)
CONTINUE
DO 777 I=1,NCYCLE
CALL INSPAR
NBROS=NBROS+1
CONTINUE
IF (WP(9)-10)12,12,25
IF (WP(9)-5)13,13,14
IF (WP(7)-TOBRP)25,25,18
IF (WP(8))15,15,16
IF (WP(7)-TOBRNN)17,17,18
IF (WP(7)-TOBRN)25,25,18
CALL LOENT
GO TO 25

```

```
CALL SUB44
IF(GOT)19,19,21
IF(FOGL)20,2,21
IF(FICG)22,22,21
VINEI = .
CALL FISOUT
GO TO 25
BETA=SUBIN(WP(9),WP(7))/SUBTOT(WP(9),WF(7))
IF(RNEM(-1)-BETA)23,23,24
VINEI=1.
CALL FISOUT
CALL INELIN
CALL SUB8
GO TO 25
VINEI=-1.
CALL FISOUT
CALL ELABGL(ATG,WP(7),WP(9),CTE,SFE,CFE)
CALL SUBROT(WP(4),WP(5),WP(6),CTE,SFE,CFE)
WP(4)=CTE $ WP(5)=SFE $ WP(6)=CFE
GO TO 11
CONTINUE
CALL IFCVFL
IF(SECPRT(7.1))777,777,26
CALL SUB9
GO TO 11
CONTINUE
IPRIZ1=IFPULT(8) $ IPRIZ2=IFPULT(9)
IF(IPRIZ1)1,1,2
IF(IPRIZ2)3,3,4
IF(IPRIZ2)7,7,6
GO TO 5
CALL PRFS22(NBROS) $ GO TO 5
CALL PRFS33(NBROS) $ GO TO 5
CALL PRFS22(NBROS) $ RETURN
END
```

```
FUNCTION SUBTOT(I,T)
  CONTROL /BLK100/ ENP(3)
  * /BLK101/SGNT(3) /BLK102/SGPT(30) /BLK103/SGNI(30) /BLK104/SGPI(30)
  IF(I-5 .)10,11,1
  IF(I-3 .)2,3,4
  SUBTOT=SGNT(3) $ RETURN
  SUBTOT=SUB(I,ENP,SGNT,3) $ RETURN
  IF(I-45.)12,12,13
  SUBTOT=SGPT(7) $ RETURN
  IF(I-3 .)14,15,15
  SUBTOT=SGPI(3) $ RETURN
  SUBTOT=SUB(I,ENP,SGPT,3) $ RETURN
  END
```

```
FUNCTION SUBIN(D,T)
  COMPOI /BLK100/ ENP(30)
  * /BLK1.1/SGNT(3) /BLK1.2/SGPI(30) /BLK103/SGNT(3) /BLK1.4/SGPI(30)
  IF(D-5. .)101,111,101
1 1 IF(I-3. .)1 2,103,113
1 3 SUBIN=SGNI(3) $ RETURN
1 2 SUBIN=SUB(T,ENP,SGNI,30) $ RETURN
1 1 IF(I-45.)112,112,113
1 2 SUBIN=SGPI(7) $ RETURN
1 3 IF(I-3. .)114,115,115
1 5 SUBIN=SGPI(3) $ RETURN
1 4 SUBIN=SUB(T,ENP,SGPI,30) $ RETURN
  END
```

```
FUNCTION SUB(U,E,F,N)
DIMENSION E(N),F(N)
IF(U-E(1))1,1,2
1 X1=E(1) $ X2=E(2) $ X3=F(3) $ Y1=F(1) $ Y2=F(2) $ Y3=F(3)
GO TO 7
2 IF(U-E(N-1))3,4,4
3 X1=E(N-2) $ X2=E(N-1) $ X3=E(N) $ Y1=F(N-2) $ Y2=F(N-1) $ Y3=F(N)
GO TO 7
4 DO 5 J=2,N
IF(U-E(J))6,5,5
6 X1=F(J-1) $ X2=E(J) $ X3=E(J+1) $ Y1=F(J-1) $ Y2=F(J) $ Y3=F(J+1)
GO TO 7
5 CONTINUE
7 SUB=Y1*((U-X2)*(U-X3))/((X1-X2)*(X1-X3))+
* Y2*((U-X1)*(U-X3))/((X2-X1)*(X2-X3))+
* Y3*((U-X1)*(U-X2))/((X3-X1)*(X3-X2))
RETURN $ END
```

22 07 71

```
SUBROUTINE SUB8  
C/MYOL /BLOCK77/SPT(9,00) /BLOCK88/ SECPRRT(9,150)  
IF(SPT(7,1))3,3,4  
RETURN  
DO 1 J=2,6  
IF(SPT(7,J))2,2,1  
INT=5 -(J- ) $ MNT=J-1  
GO TO 5  
CONTINUE  
INT=9 $ MNT=6  
INT=INT+1  
DO 6 J=1,INTP  
IF(SECPRRT(7,J))7,7,6  
DO 8 K=1,MNT  
L=J+K  
DO 9 I=1,9  
SECPRRT(I,L)=SPT(I,K)  
CONTINUE  
GO TO 1  
CONTINUE  
PRINT *  
FORMAT(48X,24H GENERAL MASSIV EXCEEDED)  
DO 10 I=1,6  
DO 12 K=1,9  
SPT(K,I)=1.  
RETURN  
END
```

22 07 77

```
SUBROUTINE SUB9
C MNOI /WRPR/ WP(9) /RI DK88/ SECPRT(9,15)
D 10 J=8,15
IF (SECPRT(7,J)) 2,2,1
D 10 K=1,9
WP(K)=SECPRT(K,J-1)
SECPRT(K,J- )= .
G 10 5
CONTINUE
D 10 L=1,9
WP(L)=SECPRT(L,15)
SECPRT(L,15 )= .
RETURN
END
```

SUBROUTINE TSANGI

COMMON /BLANGL/ ANGL(4)

ANGL(1)=1.-2.*RNDM(-1) \$ ANGL(4)=SQRT(1.-ANGL(1)**2)

F=2.*3.1415926536*RNDM(-1) \$ ANGL(2)=SIN(F) \$ ANGL(3)=COS(F)

RETURN \$ END


```
SUBROUTINE SUBROT(CT,SE,CF,CTP,SFP,CFP)
C=NMOP /BLCRT/ CTR,SFP,CFR,STR
SI=SQR(1.-CT**2) $ SIP=SQR(1.-CTP**2)
CTR=CTP*CT-STP*CFP*ST
TEMP=1.-CTR**2
IF(TEMP) ,1.2
SFR= . 4 CFP= . 3 TEMP1=ABS(CTR) $ CTR=CTR/TEMP1 $ STR=1.
GO TO 3
STR=SQRT(TEMP)
SFR=(STP*CFP*CT*SE+STP*SFP*CF+CTP*SI*SF)/STR
CFR=(STP*CFP*CT*CF-STP*SFP*SE+CTP*SI*CF)/STR
CONTINUE
RETURN $ END
```

```

SUBROUTINE SUBRNG(PAR)
COMMON /BLOK2/ ATG,ZTG /BLOK8/ R0,R1,F2
*/BLOK7/ TR(85) /BLOK8/ RN(85) /BLOK9/ RP(85)
DIMENSION G (85),G2(85),G3(85),FAL(85)
DATA((TR(J),J=1,85)=
*3.,4.,5.,6.,7.,8.,9.,10.,12.,14.,16.,18.,20.,22.5,25.,27.5,30.,
*35.,40.,45.,50.,55.,60.,65.,70.,75.,80.,90.,100.,110.,120.,130.,
*140.,150.,160.,180.,200.,225.,250.,275.,300.,325.,350.,375.,400.,
*450.,500.,550.,600.,700.,800.,900.,1000.,1250.,1500.,1750.,2000.,
*2250.,2500.,2750.,3000.,3500.,4000.,4500.,5000.,6000.,7000.,8000.,
*9000.,10000.,12500.,15000.,17500.,20000.,22500.,25000.,27500.,
*30000.,40000.,50000.,60000.,70000.,80000.,90000.,100000.)
DATA((G1(J),J=1,85)=
*.634,.695,.757,.819,.881,.943,.1005,.1067,.1129,.1191,.1253,.1315,
*.449,.492,.536,.580,.624,.668,.712,.756,.800,.844,.888,.932,
*.368,.368,.368,.368,.345,.341,.338,.334,.331,.326,.321,.316,.311,
*.307,.303,.299,.297,.295,.293,.288,.285,.282,.279,.273,.268,
*.264,.259,.255,.243,.236,.231,.226,.222,.218,.215,.209,.205,
*.201,.197,.193,.185,.181,.177,.174,.168,.163,.158,.153,
*.152,.149,.147,.145,.139,.134,.131,.128,.126,.124,.122)
DATA((G2(J),J=1,85)=
*.451,.379,.336,.307,.285,.269,.257,.247,.229,.218,.211,.204,.198,
*.193,.188,.183,.180,.173,.166,.161,.157,.152,.148,.144,.141,.138,
*.136,.131,.127,.123,.119,.117,.114,.112,.110,.106,.102,.098,.095,
*.092,.089,.088,.086,.085,.083,.081,.080,.079,.078,.077,.075,
*.074,.073,.071,.068,.066,.064,.063,.062,.061,.060,.058,.057,
*.056,.055,.055,.054,.054,.053,.053,.054,.054,.054,.055,
*.056,.056,.057,.057,.056,.062,.064,.065,.066,.067,.069)
DATA((G3(J),J=1,85)=
*.495,.468,.436,.404,.378,.353,.331,.319,.278,.250,.225,.205,.189,
*.172,.158,.146,.136,.126,.119,.116,.093,.088,.084,.081,.078,.076,
*.074,.071,.068,.066,.065,.064,.063,.061,.060,.058,.057,.057,.057,
*.057,.057,.056,.055,.055,.054,.053,.051,.049,.047,.045,.044,
*.042,.041,.040,.039,.038,.037,.035,.033,.032,.029,.024,.020,
*.017,.016,.015,.012,-.002,-.007,-.011,-.019,-.026,-.032,-.037,
*-.042,-.046,-.050,-.054,-.065,-.074,-.082,-.088,-.093,-.097,-.101)
DATA((FAL(J),J=1,85)=
*.1136,.233,.36871,.50681,.64734,.7902,.1254,.1528,.2142,.2841,
*.3622,.4484,.5424,.6478,.7618,.8925,1.1253,1.4839,1.8655,2.328,
*2.861,3.333,3.894,4.491,5.124,5.793,6.496,7.233,7.639,11.400,
*13.36,15.276,17.381,19.593,21.91,24.83,32.13,39.24,46.85,54.92,
*63.41,72.3,81.5,91.26,101.39,121.00,143.54,166.19,189.65,238.6,
*289.8,342.8,397.2,537.6,682.2,829.4,977.9,1127.1,1276.6,1426.1,
*1575.5,1875.1,2169.,2463.,2754.,3331.,3900.,4463.,5019.,5569.,
*6924.,8255.,9564.,11807.,14335.,13450.,14655.,15900.,20797.,
*25594.,31324.,34978.,39589.,44158.,48691.)
HI=.4343*ALOG(DI/166.)
DO 1 J=1,85
RN(J)=R2+(ATG/(2.*ZTG))*(FAL(J)*(1.*G1(J)*HI+G2(J)*HI**2+G3(J)*
*HI**3))
RN(J)=RN(J)/R0
CONTINUE
DO 2 J=1,85
T=6.7*TR(J)
RP(J)=.149*SUB(T,TR,RN,85)
CONTINUE

```

```
PRINT 1
FORMAT(75X,6HSUHRNG/)
IF (PAR) 11, 21, 32
RETURN
CONTINUE
PRINT 3
FORMAT(45X,22HDEPENDENS RANGE-ENERGY/)
PRINT 4, ATG, ZTG, KO, DI, R2
FORMAT(25X, 1HA=, F6.2, 3X, 2HZ=, F5.2, 3X, 3HR0=, F5.2, 3X, 2H1=, F7.2,
*3X, 6HR2MEV=, F7.5/)
PRINT 5
FORMAT(2 X, 2HENERGY (MEV), 17X, 2HRANGE OF PROTON (CM), 14X,
*2HRANGE OF PI-MESON (CM)/)
D. 6 J=1, 85
PRINT 7, TR(J), RN(J), RP(J)
FORMAT(3(2 X, F13.5))
RETURN & END
```

```

SUBROUTINE SUB44
C MMOL /WRFF/ WP(9) /BLOK7/TR(85) /BLOK8/RI(85) /BLOK9/RP(85)
*/GOUT/GOT /BLOK1 /PI2G /BLOK11/POGL /BLOK13/TOBRP,TOBRP
*/BLOK14/XG,YG,ZG /WRPRIN/WPIN(9)
PI2G=-1. $ POGL=-1. $ DELTA=1. $ PRBG=1.
D=6. $ J=1,9
*WPIN(J)=WP(J)
IF(WP(8))1,2,1
IF(WP(9)-5. .)3,3,4
B=RADM(-)
BL=-ALOG(B)
PROBEG=BL*PASSNC(94. ,WP(7))
CALL SUB41(PROBEG,1)
CALL SUB6(WP(1),WP(2),WP(3))
RETURN
B=RADM(-)
BL=-ALOG(B)
PRBG=BL*PASSNC(14. ,WP(7))
B=RADM(-)
BL=-ALOG(B)
PRRASP=(BL* .54*(SORT(WP(7))*(WP(7)+.28))/.14))
IF(PRBG-PRRASP)5,6,6
CALL SUB41(PRBG,-1)
CALL SUB6(XG,YG,ZG)
IF(GOT)1,1,1(2)
CALL SUB41(PRRASP,1)
PI2G= .
RETURN
WP(1)=XG $ WP(2)=YG $ WP(3)=ZG
RETURN
PI2G= .
CALL SUB41(PRRASP,1)
CALL SUB6(WP(1),WP(2),WP(3))
RETURN
IF(WP(9)-5. .)7,7,8
B=RADM(-)
BL=-ALOG(B)
R=SUB(WP(7),TR,PN,85)
TWORK=WP(7)
FL=PASSNC(94. ,TWORK)
IF(TWORK-27.5)70,71,2,7 2
XJ=. 2 $ GO TO 13
IF(TWORK-47.5)70,71,4,7 4
XJ=. 2 $ GO TO 13
IF(TWORK-15. .)70,71,6,716
XJ=. 5 $ GO TO 13
IF(TWORK-3. .)70,71,8,718
XJ=. 3 $ GO TO 13
IF(TWORK-1. .)70,71,1,71
XJ=. 2 $ GO TO 13
IF(TWORK-1. .)71,71,1,7 2
XJ=. 5 $ GO TO 13
XJ= .
DELTA=DELTA+XJ/FL
PRBG=PRBG+XJ
IF(DELTA-BL)14,15,16

```

```

CALL SUB41(FRBG,-1)
ROL=R -FRBG
TWORK=SUB(ROL,RN,TR,85)
CALL SUB6(XG,YG,ZG)
IF(GOT) 7, 7, 78
WP(7)=TWORK $ WP(1)=XG $ WP(2)=YG $ WP(3)=ZG
RETURN
IF(TWORK-TGRN)11,19,177
PGLE=.
GO TO 8
PROBEG=FRBG
GO TO 1
PROBEG=FRBG-FL*(DELTA-BI)
CALL SUB41(PROBEG,1)
ROL=R -PROBEG
WP(7)=SUB(ROL,RN,TR,85)
CALL SUB6(WP(1),WP(2),WP(3))
IF(GOT) 3, 3,14
RETURN
IF(WP(7)-TORRN)15,105,104
PGLE=.
RETURN
B=RI DM(-)
BL=-ALOG(B)
R =SUB(WP(7),TR,RP,85)
TWORK=WP(7)
FL=FASSNC(14.,TWORK)
IF(TWORK-175.)801,812,812
XJ=.34 GO TO 43
IF(TWORK-500.)813,814,814
XJ=2.9 GO TO 43
IF(TWORK-1000.)815,806,806
XJ=6.9 GO TO 43
IF(TWORK-5000.)817,807,808
XJ=10.4 GO TO 43
XJ=.
DELTA=DELTA+XJ/FL
PRBG=FRBG+XJ
IF(DELTA-BI)44,41,46
CALL SUB41(PRBG,-1)
ROL=R -PRBG
TWORK=SUB(ROL,RP,TR,85)
CALL SUB6(XG,YG,ZG)
IF(GOT)47,47,48
WP(7)=TWORK $ WP(1)=XG $ WP(2)=YG $ WP(3)=ZG
RETURN
IF(TWORK-TORRP)49,49,207
PGLE=.
GO TO 48
PROBEG=FRBG
GO TO 5
PROBEG=FRBG-FL*(DELTA-BI)
CALL SUB41(PROBEG,1)
ROL=R -PROBEG
WP(7)=SUB(ROL,RP,TR,85)
CALL SUB6(WP(1),WP(2),WP(3))

```

22 01 71

```
IF (GOT) 33, 33, 134  
RETURN  
IF (WP(7) - ICHRP) 105, 135, 134  
PUGL = .  
RETURN  
END
```

```
FUNCTION PASSNC(P,Q)
  C.MFOP /BLK2/ ATG,ZTG /BLK3/ R0,R1,R2
  PASSNC=C./C.- 6.25*((R0*SUBTOT(P,Q))/ATG)
  RETURN & END
```

```
SUBROUTINE SUB41(PR,I)
  DIMENSION /WRPR/ WP(9) /BLOR,4/ XG,YG,ZG
  SN=SQRT(1.-WF(4)**2)
  IF(I)GOTO,2
  XG=WP(1)+PR*SN*WF(6)
  YG=WP(2)+PR*SN*WF(5)
  ZG=WP(3)+PR*WP(4)
  RETURN
  WF(1)=WP(1)+PR*SN*WP(6)
  WF(2)=WP(2)+PR*SN*WP(5)
  WF(3)=WP(3)+PR*WP(4)
  RETURN
  END
```



```
SUBROUTINE SUB6(X,Y,Z)
  CONNECT /GOODT/ GOT /BLOCK /GH(5)
  IF(Z) 1, 2
  GOT=1. $ RETURN
  IF(GH(2)-Z) 3, 3, 4
  GOT=3. $ RETURN
  IF(GH(1)-SQRT(X**2+Y**2)) 5, 5, 6
  GOT=5. $ RETURN
  GOT=-1. $ RETURN $ END
```