

СЗ44.1е

A-23

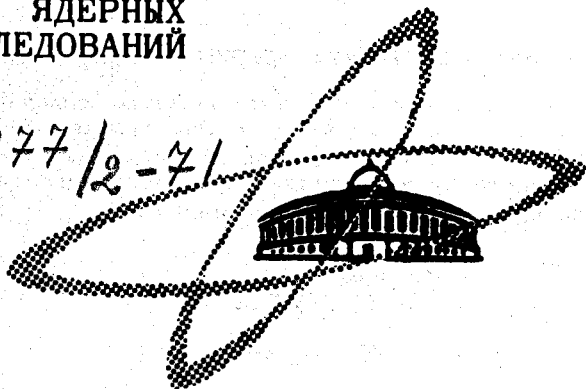
23/VI-71

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2877/2-71

10 - 5891



Н.М.Агабабян , Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов,  
Г.Р.Гулкян , В.М.Сидоров, В.А.Ярба

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА  
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

1971

10 - 5891

Н.М. Агабабян\*, Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов,  
Г.Р. Гулканян\*\*, В.М. Сидоров, В.А. Ямба\*\*\*

ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА  
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

- \* Физический институт, Ереван.  
\*\* Ереванский государственный университет.  
\*\*\* ИФЭ, Серпухов.

## Введение

Описывается программа обработки ядерных взаимодействий в фотоэмульсионных камерах на основе результатов измерений пробегов и углов заряженных частиц. В программе производится геометрическая реконструкция событий и их кинематический анализ с целью идентификации каналов ядерных реакций.

Основой данной программы послужила программа "HIPNUS" (ЦЕРН)<sup>1/</sup>, предназначенная для исследования реакций с образованием и распадом гиперфрагментов. В этой программе отсутствовала возможность геометрической реконструкции события, а кинематический анализ производился без использования метода наименьших квадратов. Поэтому эта программа была существенно изменена нами и добавлен ряд подпрограмм.

Все это придало описываемой программе более универсальный характер, и она может быть использована при изучении широкого класса ядерных реакций в фотоэмульсии. Программа написана на языке "ФОРТРАН" и использовалась на машине БЭСМ-6.

## Описание программы

Блок-схема программы приведена на рис. 1.

"ASTRA" управляющая программа, обеспечивающая вызов основных подпрограмм.

В подпрограмме "CONTAB" производится чтение и запоминание таблиц, содержащих соотношения "пробег-энергия" для основных стабильных изотопов с электрическим зарядом от 1 до 8, таблицы частиц и изотопов, таблицы толщин слоев эмульсии до проявления и некоторых экспериментальных параметров, характерных для данной фотоэмульсии: ошибка в коэффициенте усадки, ошибка в соотношении "пробег-энергия" и т.д.

В подпрограмме "RANGEN" производится чтение начальной перфокарты события, которая дает сведения о типе первичной частицы ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $\mu^-$  и т.д.) и номере события.

В случае, если имеет место не захват, а взаимодействие налету, эта перфокарта содержит и кинематические данные налетающей частицы (угол погружения и энергию). Далее вызывается подпрограмма "GEOM", где производится чтение результатов измерения каждого следа, необходимых для восстановления геометрической картины события. Данные измерения вводятся следующим образом: для каждого луча читается номер эмульсионного слоя, где произошло событие, плоский угол между проекцией следа и произвольным направлением в плоскости эмульсии (за направление выбиралось направление первичной частицы или направление любого из следов), а также величина погружения на одной шкале измерения, необходимая для определения угла углубления.

В случае коротких следов (проходящих 1 или 2 слоя) вводятся величины погружения и проекции следа в первых двух слоях, а в случае длинных следов (проходящих три и более слоев) - начальные и конечные координаты следа в плоскости эмульсии и номер слоя, где кончается след.

По этим данным определяются длина следа и угол углубления, а также по предварительно составленным эмпирическим таблицам - ошибки в пробеге, угле углубления и в плоском угле.

В "RANGEN" определяются все возможные изотопы, которые по закону сохранения электрического заряда могут быть приписаны каждому следу. В случае, если след частицы идентифицирован визуально по какому-либо специфическому признаку, информация об этом содержится в перфокарте данного следа.

Далее уже по соответствующему пробегу вычисляются кинетическая энергия, импульс и компоненты импульса тех частиц, которые могут быть отнесены к данному следу, а также ошибки в кинетической энергии и импульсе (при этом учитываются ошибки измерения, страгглинг, ошибка в коэффициенте усадки и т.д.).

Кинетическая энергия определяется путем линейной интерполяции при помощи подпрограммы - функции "ENERGY", которая использует для этого таблицы "пробег-энергия".

В "RANGEN" производится печать основных характеристик события: номер события, тип начальной частицы и взаимодействия, пробег, плоский угол, угол углубления и их ошибки для каждого следа.

После того как найдены исходные данные, для последующего кинематического анализа вызывается "COMBIN". В ней рассматриваются все возможные реакции с участием тех изотопов и частиц, которые подбираем, исходя из возможной идентификации для каждого следа с учётом законов сохранения электрического и барионного зарядов, а также используя ограничение по максимальному пробегу для каждой частицы рассматриваемой гипотезы. Для каждой исследуемой комбинации частиц определяются компоненты и величина суммарного импульса, полная кинетическая энергия и их ошибки.

В качестве ядер-мишеней рассматриваются легкие ядра фотоэмульсии C, N, O. При надобности можно легко использовать в программе другие ядра-мишени.

В случае, если надо изучить реакции с более чем одной нейтральной частицей, происходит определение недостающей массы реакции и производится необходимая выдача на печать. Это делается подпрограммой "BALANC". Если же исследуются реакции без нейтральной частицы или с образованием одной нейтральной частицы, то "COMBIN" вызывает подпрограмму "EXDAT";

где происходит предварительная подготовка данных для обращения к библиотечной программе минимизации квадратичного функционала "FUMILI" /2/.

Степень достоверности того, что данное событие принадлежит к определенной гипотезе, находится при помощи критерия  $\chi^2$ . Для этого минимизируется функционал (как это делается в программах, используемых для обработки снимков с пузырьковых камер /3,4/) вида:

$$F = \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - x_i^{\ominus})^2}{\sigma_i^2} + W \sum_{j=1}^n \frac{f_j^2}{(\Delta f_j)^2}, \quad (1)$$

где  $x_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) - параметры, по которым производится минимизация,  $x_i^{\ominus}$  и  $\sigma_i$  - их экспериментальные значения и ошибки, соответственно,  $N=3m$ , где  $m$  - число следов.

В качестве параметров берутся импульсы заряженных частиц  $p_i$ , их плоские углы  $\phi_i$  и углы погружения  $\theta_i$ .

$f_j = 0$  ( $j = 1, \dots, n$ ) - уравнения связи, которым должны удовлетворять искомые значения параметров. Для гипотез без нейтральной частицы:

$$f_1 = \sum_{i=1}^m p_i \cos \phi_i \cos \theta_i + p_0 \cos \phi_0 \cos \theta_0 = 0$$

$$f_2 = \sum_{i=1}^m p_i \sin \phi_i \cos \theta_i + p_0 \sin \phi_0 \cos \theta_0 = 0$$

$$f_3 = \sum_{i=1}^m p_i \sin \theta_i + p_0 \sin \theta_0 = 0$$

$$f_4 = -\sum_{i=1}^m \sqrt{p_i^2 + m_i^2} + \sqrt{p_0^2 + m_0^2} + m_a = 0.$$

Здесь индекс "0" относится к первичной частице, а индекс "i" ( $i = 1, \dots, m$ ) - к каждому следу.

Для гипотезы с нейтральной частицей имеется одно уравнения связи:

$$f_1 = -\sum_{i=1}^m \sqrt{p_i^2 + m_i^2} + \sqrt{p_0^2 + m_0^2} + m_a - \sqrt{p_H^2 + m_H^2} = 0.$$

Величина  $\Delta f_j$  — есть средняя квадратичная ошибка функции  $f_j$  при измеренных значениях параметров:

$$(\Delta f_j)^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 \left( \frac{\partial f_j}{\partial x_i} \right)_{x_i = x_i^{\ominus}}^2 \quad (j = 1, \dots, n).$$

Величина  $W$  в выражении (1) подбиралась экспериментально так, чтобы при значениях параметров, обращающих функционал (1) в минимум, уравнения связи удовлетворялись достаточно хорошо (с точностью до нескольких кэв). Для исключения заведомо плохих гипотез в подпрограмме "EXDAT" вычисляется дебаланс в уравнениях связи при экспериментальных значениях параметров:

$$f_j^{\ominus} (x_1^{\ominus}, \dots, x_N^{\ominus}), \quad (j = 1, \dots, n).$$

Если при этом  $f_j^{\ominus}$  отличается от нуля более чем на величину  $A$  ( $A$  подбиралось экспериментально с некоторым запасом), то не производится минимизации функционала (1), и программа возвращается к обчёту следующей возможной гипотезы или следующего события.

Если же  $|f_j^{\ominus}| < A$  ( $j = 1, \dots, N$ ), то вычисляется величина:

$$B_N = \sum_{j=1}^N \frac{(f_j^{\ominus})^2}{(\Delta f_j)^2}.$$

Если  $B_N$  превышает некоторую экспериментально подбираемую величину  $B_N^{max}$ , то гипотеза отвергается.

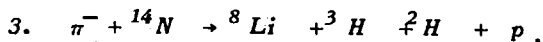
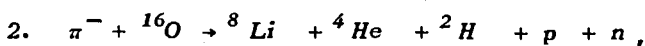
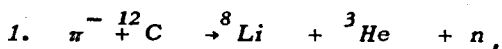
Для гипотез, прошедших предварительный отбор, производится минимизация и печатаются подобранные значения параметров (плоский угол, угол углубления, импульс), их ошибки для каждой частицы, а также кинетические энергии частиц.

В случае гипотез с нейтральной частицей печатаются также импульс, компоненты импульса, кинетическая энергия нейтральной частицы и углы между нейтральной и заряженными частицами.

Для контроля печатается дебаланс в уравнениях связи при подобранных значениях параметров, а в случае гипотез с нейтральной частицей - также недостающая масса и ее ошибка.

В программе имеется возможность выводимую на печать информацию записывать на магнитную ленту.

Для проверки работы программы были построены распределения по  $\chi^2$  для 100 событий, генерированных по Монте-Карло для следующих реакций соответственно:



Полученные средние значения  $\chi^2$  близки к ожидаемым (см. табл. 1).

Данная программа была использована при анализе реакций захвата мюонов и пионов, а также при изучении процессов двойной перезарядки пионов легкими ядрами фотоэмульсии.

Таблица 1

№№ пп	Реакция	Число урав. связи	$\bar{\chi}^2$	
			Ожидае- мое	Сосчитанное по программе
1.	$\pi^- + \text{C}^{12} \rightarrow \text{Li}^8 + \text{He}^3 + n$	1	1	0,88
2.	$\pi^- + \text{O}^{16} \rightarrow \text{Li}^8 + \text{He}^4 + \text{H}^2 + p + n$	1	1	0,95
3.	$\pi^- + \text{N}^{14} \rightarrow \text{Li}^8 + \text{H}^3 + \text{H}^2 + p$	4	4	4,3



Литература

1. A.G. Frodesen, K.S. Kölbig and M.M. Nikolic. CERN 65-6, Geneve, 1965.
2. С.Н. Соколов, И.Н. Силян. Препринт ОИЯИ Д-810, Дубна, 1961.
3. А.Д. Махаренкова, А.М. Моисеев. Препринт ОИЯИ, 2269, Дубна, 1965.
4. З.М. Иванченко, А.Ф. Лукьянцев и др. Препринт ОИЯИ, Р-2399, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел

25 июня 1971 года.

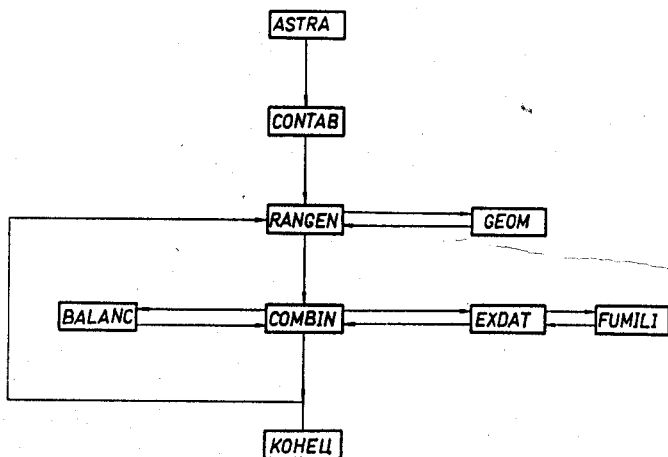


Рис. 1. Блок-схема программы.