

Л-844

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

10 - 6411

А.Ф.Лукьянцев

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

Специальность 01 008 -

вычислительная математика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1972

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники
и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор Н.Н. ГОВОРУН.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Ю.А. БУДАГОВ,

кандидат физико-математических наук Б.М. БУДАК.

Ведущее предприятие:

Институт физики высоких энергий, г. Серпухов.

Автореферат разослан " " 1972 года.

Защита диссертации состоится " " 1972 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории вычислительной техники
и автоматизации.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь совета Е.А. ЛОГИНОВА.

" " 1972 г.

10 - 6411

А.Ф. Лукьянцев

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

Специальность 01 008 -

вычислительная математика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Пузырьковые камеры в настоящее время являются одним из основных приборов для исследования процессов, происходящих при взаимодействии частиц высоких энергий с веществом. С помощью этих установок ежегодно получают миллионы стереоснимков. Для анализа такого потока экспериментальных данных созданы специальные системы обработки, включающие в себя сложную просмотрово-измерительную аппаратуру, разнообразные ЭВМ и соответствующее программное обеспечение.

Работы по созданию систем программ обработки filmовой информации в ОИЯИ разделяются на два этапа.

На первом этапе (1962-1968 г.г.) программы обработки создавались в машинном коде на ЭВМ среднего класса М-20 (БЭСМ-4), что вынуждало выбирать простые, но достаточно точные алгоритмы, требующие на ЭВМ мало времени для счета. Были разработаны и внедрены в эксплуатацию две системы программ обработки /I/, включающие реконструкцию событий /2-4/, идентификацию событий /5-10/ и статистический анализ результатов эксперимента /II/.

На втором этапе (с 1968 г.) создавались системы обработки filmовой информации на более мощные ЭВМ СДС-1604А и БЭСМ-6, имеющие в составе математического обеспечения трансляторы с алгоритмического языка ФОРТРАН.

В диссертации рассматриваются программы кинематической идентификации событий и статистического анализа результатов эксперимента в системах программ обработки снимков с пузырьковых камер ОИЯИ на ЭВМ М-20 (БЭСМ-4), БЭСМ-6, СДС-1604А и некоторые вопросы создания систем программ обработки экспериментальных данных на алгоритмическом языке ФОРТРАН.

Основные работы, которые вошли в диссертацию, были выполнены в течение 1962–1971 годов.

Диссертация состоит из введения и четырех глав.

Во введении кратко рассматриваются основные этапы процесса обработки стереоснимков с пузырьковых камер, системы программ обработки, используемые в ОИЯИ и некоторых крупных зарубежных лабораториях, а также направления, по которым развивается автоматизация процесса обработки.

Глава I. Методы решения задачи идентификации.

В данной главе излагаются метод исключений /15/, применяемый в программе идентификации V^0 -частиц 2-2 /5/, и метод неопределенных множителей Лагранжа /15-16/, применяемый в большинстве программ идентификации /6-9, 21/. Кроме того, подробно излагается метод "штрафов" /17-19/, используемый в программах идентификации V^0 -частиц 2-3 /6/ и каналов реакций 10-10 /8/ и 10-30 /9/, созданных в ОИЯИ для ЭВМ М-20 (БЭСМ-4).

Задача идентификации событий формулируется следующим образом. Требуется найти минимальное значение функции

$$\chi^2 = \sum_{i,j=1}^N (x_i - x_j^2) g_{ij} (x_j - x_j^2) \quad (1)$$

при условии, что параметры частиц удовлетворяют законам сохранения энергии-импульса:

$$f_k(x_1, \dots, x_N) = 0, \quad k=1, \dots, M; \quad M < N, \quad (2)$$

где x_i^2 – экспериментальные значения параметров частиц, вычисленные в программах геометрической реконструкции; $N=3n$, n – число частиц во взаимодействии; $G = (g_{ij})$ – матрица весов.

С математической точки зрения идентификация взаимодействий в отдельных вершинах сводится, таким образом, к нахождению минимума функции χ^2 при наличии условий связи, являющихся в данном случае законами сохранения энергии-импульса в рассматриваемых точках взаимодействий. В методах, применяемых в программах идентификации, отыскание условного минимума функции χ^2 заменяется отысканием абсолютного минимума некоторой вспомогательной функции.

Основное внимание этой главы уделяется методу "штрафов" /17-19/, сущность которого состоит в замене задачи на условный экстремум для функции χ^2 задачей на абсолютный экстремум для новой функции $A^2(T)$, отличной от χ^2 .

$$A^2(T) = \sum_{i,j=1}^N (x_i - x_i^2) g_{ij} (x_j - x_j^2) + T \sum_{j=1}^N \frac{f_j^2}{(\Delta f_j)^2} \quad (3)$$

$$(\Delta f_j)^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f_j}{\partial x_i} \right)^2 (\Delta x_i^2)^2.$$

$T > 0$ подбирается экспериментально. Обычно выбирают T так, чтобы $\Delta x_i \gg \Delta f_j / \sqrt{T}$.

Доказана теорема: Для произвольного $\varepsilon > 0$ найдется такое $T_0 > 0$, что при всех $T > T_0$ $\rho(x_0, x) < \varepsilon$ для всех $x \in C_T$, где x_0 – решение задачи (1), (2), $\rho(x_0, x)$ – расстояние между точками x_0 и x , C_T – множество, на котором $A^2(T)$ достигает своего минимального значения при любом фиксированном T .

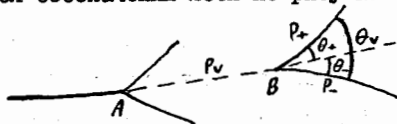
Глава II. Кинематическая и статистическая обработка событий
на ЭЕМ М-20 (БЭСМ-4).

Задача идентификации событий была сведена к последовательному рассмотрению вершин взаимодействий или распада. После рассмотрения вторичных взаимодействий полученные результаты используются программами идентификации каналов реакций /8, 9/.

Программами идентификации V^0 -событий являются 2-2 /5/ и ее усовершенствованный вариант 2-3 /6/. Минимизируемый функционал в 2-2 имеет вид:

$$\chi^2 = \left(\frac{p_+^2 - p_+}{\Delta p_+} \right)^2 + \left(\frac{p_-^2 - p_-}{\Delta p_-} \right)^2 + \left(\frac{\cos \theta_+^2 - \cos \theta_+}{\Delta \cos \theta_+} \right)^2 + \left(\frac{\cos \theta_-^2 - \cos \theta_-}{\Delta \cos \theta_-} \right)^2 + \left(\frac{\cos \theta_v^2 - \cos \theta_v}{\Delta \cos \theta_v} \right)^2 \quad (4)$$

$\cos \theta_+$, $\cos \theta_-$, $\cos \theta_v$ определяются из законов сохранения энергии-импульса. Индекс "2" определяет экспериментальные значения параметров. Ошибки $\Delta \theta_+$, $\Delta \theta_-$, $\Delta \theta_v$ выражаются через ошибки азимутального и глубинного углов заряженных следов, образующих V^0 -событие. Смысл оставшихся обозначений ясен из рисунка



Недостатком программы 2-2 является то, что в функционал (4) входят сильно скоррелированные угловые члены, но эта корреляция не учитывается.

В программе 2-3 для оценки χ^2 используется

функционал

$$A^2(T) = \left\{ \left(\frac{K_+^2 - K_+}{\Delta K_+} \right)^2 \right\} + \left(\frac{q_+^2 - q_+}{\Delta q_+} \right)^2 + \left(\frac{\varphi_+^2 - \varphi_+}{\Delta \varphi_+} \right)^2 + \left\{ \left(\frac{K_-^2 - K_-}{\Delta K_-} \right)^2 \right\} + \left(\frac{q_-^2 - q_-}{\Delta q_-} \right)^2 + \left(\frac{\varphi_-^2 - \varphi_-}{\Delta \varphi_-} \right)^2 + \left\{ \left(\frac{K_v^2 - K_v}{\Delta K_v} \right)^2 \right\} + \left(\frac{q_v^2 - q_v}{\Delta q_v} \right)^2 + \left(\frac{\varphi_v^2 - \varphi_v}{\Delta \varphi_v} \right)^2 + T \sum_{j=1}^3 \frac{f_j^2}{(\Delta f_j)^2} \quad (5)$$

где K - кривизна, P - импульс,

$q = tq \lambda$, φ - углы.

$f_1 = 0$, $f_2 = 0$, $f_3 = 0$ - законы сохранения.

Использование этого вида функционала позволило:

- 1) определять направление полета V^0 -частицы из функционала, в отличие от ранее принятого определения по направлению \overline{AB} .
- 2) включить условие компланарности в общий функционал, что позволяет более единообразно проводить отделение искомым V^0 -событий от фоновых.

Функционал (5) уже не содержит сильно скоррелированных членов с θ_+ , θ_- , θ_v .

Для получения истинного значения χ^2 последняя итерация делается по методу Лагранжа.

Результаты идентификации вторичных взаимодействий (на перфокартах или магнитной ленте) используются в программах идентификации каналов реакций IO-IO или IO-30, которые проверяют по критерию χ^2 различные гипотезы о типе реакции для главного взаимодействия. Программа IO-30 имеет ту же схему, что и IO-IO, однако в нее включены дополнительные возможности:

- 1). Используется матрица ошибок исходных параметров, что дает более полную информацию о следе.

2). Имеется возможность поиска минимума по некоторым из параметров. Две последние итерации делаются всегда по всем параметрам.

3). Для событий с γ -квантами рассматривается дополнительное уравнение связи.

4). Обрабатываемые события обсчитывались по геометрической программе /4/, учитывающей зависимость параметров частиц от их масс.

После выборки гипотезы по методу Лагранжа (без учета матрицы ошибок) оценивается целесообразность следующих шагов. Затем по СП-123 /20/ находится (также без учета матрицы ошибок) минимум выражения (3), а последняя итерация делается по методу Лагранжа с учетом матрицы ошибок.

При помощи "отборочных" перфокарт, выдаваемых программами IO-IO или IO-30, программа /24/ накапливает на магнитной ленте информацию о "хороших" гипотезах и, кроме того, записывает на нее ряд дополнительных величин (эффективные массы комбинаций частиц, параметры частиц в системе центра и т.д.). Такая магнитная лента называется Лентой суммарных результатов (ЛСР) и является входной для программы статистического анализа результатов эксперимента - СТАР /11/.

Программа СТАР содержит следующие блоки:

- 1) блок формирования тест-вектора и вектор-события;
- 2) блок построения гистограмм;
- 3) блок операций над гистограммами;
- 4) блок вычисления средних значений и дисперсий заданных величин;
- 5) блок выборки событий;
- 6) блок выдачи гистограмм на АЦПУ.

Глава III. Система программ обработки фильмовой информации на ЭВМ СДС-1604А.

В 1968 г. в ОИЯИ для ЭВМ СДС-1604А и Минск-22 была создана на основе программ ЦЕРНа /14/ система программ обработки фильмовой информации с водородных камер - PRIT-THRESH-GRIND-SLICE-SUMX /13/.

Эта система используется в настоящее время для обработки снимков с однометровой водородной камеры ОИЯИ. Результаты измерений событий на полуавтоматах записываются на бумажные или магнитные ленты. Перекодировка результатов измерений в формат, допустимый программой THRESH, осуществляется программой PRIT /27/.

Восстановление пространственной картины событий в этой системе осуществляется программой THRESH. Для кинематического анализа событий использовалась программа GRIND, которая была разделена на три сегмента, хранящиеся на магнитной ленте. Для устранения сбоев, возникавших при считывании сегментов программы с ленты, а также для сокращения времени обработки одного события, на основе GRIND был создан, отлажен и проверен на экспериментальном материале новый вариант кинематической программы GRIND2 /22/, который целиком помещается в оперативной памяти ЭВМ. Это было достигнуто за счет ликвидации тех возможностей кинематической программы, которые не использовались экспериментаторами.

В результате полностью прекратились сбои при работе программы, и время обработки одного события сократилось примерно на 30%.

Подготовка Ленты суммарных результатов (ЛСР), используемой для статистического анализа результатов эксперимента, осуществляется программой SLICE /28/. При разработке формата ЛСР была сделана попытка найти оптимальный вариант при наличии двух противоречивых требований:

1) записать на ЛСР возможно больше полезной информации, несмотря на возможность вычисления недостающих величин в программе статистического анализа результатов;

2) занимать при этом возможно меньшее количество магнитной ленты. Большое число лент ЛСР влечет за собой, помимо материальных затрат, увеличение времени работы программы статистического анализа результатов эксперимента - SUMX .

Глава IV. Система программ обработки фильмовой информации на ЭВМ БЭСМ-6.

Система программ обработки экспериментальных данных с жидководородных камер TINPUT-MDTHRESH-GRIND-SLICE-SUMX /12/, созданная в ЛВТА ОИЯИ для ЭВМ БЭСМ-6 на алгоритмическом языке ФОРТРАН, или входящие в нее отдельные программы при незначительных модификациях последних могут также использоваться и для обработки данных с других трековых камер при условии, что исходные данные будут записаны на магнитные ленты в соответствующих форматах. В основу системы /12/ также была положена система программ ЦЕРНа /14/.

В связи с особенностями ЭВМ БЭСМ-6 (относительно малая память, малый диапазон представления чисел в ЭВМ и т.д.), и вследствие того, что в ОИЯИ принята несколько другая система измерения, невозможно было запустить эту систему без существенной переделки. В частности, из-за нехватки оперативной памяти нужна была другая организация структуры программ и их сегментация.

Рассматриваемая система программ предназначена для обмера результатов обмера камерных снимков, проводимых как на полуавтоматических /25/, так и на автоматических измерительных устройствах ЛВТА /26/.

При работе системы решаются следующие задачи:

1) Расшифровываются данные о событии, и его элементы (реперы, точки, следы) снабжаются соответствующими метками (программа TINPUT).

2) Вычисляются пространственные координаты точек и определяются параметры следов каждого события (программа MDTHRESH). При вычислении параметров частиц учитываются топография магнитного поля, потери энергии в жидком водороде, производится поиск изображений одних и тех же следов на различных стереоснимках события.

3) Находятся наиболее вероятные гипотезы о событии и уточненные значения параметров следов для этих гипотез (программа GRIND /23/). При кинематическом анализе событий можно учитывать параметры зарегистрированных в камере γ -квантов.

4) Проводится статистический анализ результатов эксперимента (программа SUMX /29/).

По программам системы было обчислено более 2000 событий с водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ. Время, затрачиваемое на обработку одного двухлучевого события по программам геометрической реконструкции и кинематического анализа в отдельности занимает несколько секунд при использовании двух кубов памяти ЭВМ БЭСМ-6.

Развитие рассмотренной системы программ проводится в следующих направлениях:

1). Ускорение работы программ системы за счет расширения оперативной памяти БЭСМ-6, отводимой под программы пользователя.

2). Совершенствование методов, используемых в программах.

3). Увеличение числа программ системы за счет включения в нее

различных служебных и вспомогательных программ.

4). Создание и запуск на ЭВМ БЭСМ-6 секционного варианта программ обработки.

Заключение.

Основные результаты диссертации можно сформулировать следующим образом:

1. Математически обоснован "метод штрафов", используемый в программах кинематической идентификации событий на ЭВМ типа М-20 (БЭСМ-4).

2. Созданы два варианта программы идентификации каналов реакций $IO-IO$ и $IO-30$, а также программа идентификации V^0 -частиц для ЭВМ типа М-20 (БЭСМ-4). Данные программы позволяют идентифицировать многовершинные события путем последовательной обработки отдельных вершин.

3. Создана для ЭВМ БЭСМ-4 программа статистического анализа результатов эксперимента - СТАР, позволяющая одновременно строить большое количество гистограмм, находить средние значения определенных величин, записывать на м.л. группы величин с ЛСР для последующего анализа и т.д.

Перечисленные выше программы, совместно с программами ввода исходных данных и геометрической реконструкции, образуют систему программ обработки экспериментальных данных с пузырьковых камер на ЭВМ типа М-20 (БЭСМ-4). Эта система программ использовалась и используется в настоящее время для обработки данных с пузырьковых камер ОИЯИ, а также в Институте физики высоких энергий Казахской академии наук (г. Алма-Ата) для обработки фотографий с 80 см водородной камеры ЦЕРНа. С помощью этой системы было выполнено большое

количество физических работ в ЛВЭ ОИЯИ и других лабораториях.

4. Запущена система программ обработки данных с жидководородных камер PRIT-THRESH-GRIND-SLICE-SUMX на ЭВМ СДС-1604А, которая применяется для обработки снимков с однометровой водородной камеры ОИЯИ.

5. Для ЭВМ СДС-1604А создана кинематическая программа GRIND2. Внедрение этого варианта программы привело к

- а) практически полному устранению сбоев при счете;
- б) ускорению обработки событий.

В настоящее время GRIND2 используется для обработки событий с однометровой водородной пузырьковой камеры ОИЯИ на ЭВМ СДС-1604А в ОИЯИ и в ИФВЭ г. Цойтен в Германской Демократической Республике.

6. Впервые в Советском Союзе на ЭВМ БЭСМ-6 была запущена система программ TINPUT-MDTHRESH-MDGRIND-SLICE-SUMX на ФОРТРАНе. Система предназначена для обработки снимков с водородных пузырьковых камер, но имеется возможность использовать ее и для обработки фотографий с других трековых камер. В частности, кинематическая программа MDGRIND из-за добавления в нее блоков, позволяющих идентифицировать γ -кванты, может применяться для обработки снимков с пропановых пузырьковых камер. Программа MDTHRESH может использоваться для обработки данных от различных измерительных устройств благодаря наличию в системе программы TINPUT, которая преобразует измеренные на различных устройствах данные в формат, допускаемый на входе в программу геометрической реконструкции.

Создание универсальной системы программ для БЭСМ-6 на ФОРТРАНе для обработки снимков с пузырьковых камер практически решило проблему математического обеспечения для систем обработки फिल्मовой информации в ОИЯИ и других физических центрах Советского Союза, имеющих БЭСМ-6.

Работы, положенные в основу диссертации, выполнены автором в 1962-1972 годах совместно с сотрудниками ЛВТА и ЛВЭ ОИЯИ и опубликованы /2,3,5-9,11-13,17,22,23,27-29/.

Часть результатов докладывалась на международных совещаниях по математическим методам решения задач ядерной физики в Дубне в 1964, 1967, 1969 и 1971 г.г.

Л и т е р а т у р а

1. Н.Н.Говорун, В.И.Мороз, Г.Н.Тентюкова, В.Н.Шигаев. Препринт ОИЯИ IO-3627, Дубна, 1967.
2. В.Ф.Вишневский, Ду Юань-цай, А.Ф.Лукьянцев, В.И.Мороз, А.В.Никитин, Г.Н.Тентюкова и др. Препринт ОИЯИ P-1468, Дубна, 1963.
3. О.В.Благодарова, З.М.Иванченко, А.Ф.Лукьянцев, В.И.Мороз, Н.С.Новикова, Г.Н.Тентюкова, Шень Чун-хуа. Препринт ОИЯИ 2005, Дубна, 1965.
4. Н.Ф.Маркова, В.И.Мороз, В.И.Никитина, А.П.Стельмах, Г.Н.Тентюкова. Препринт ОИЯИ P10-3768, Дубна, 1968.
5. О.Благодарова, Л.Лепилова, А.Лукьянцев, Г.Тентюкова, В.Мороз и др. Препринт ОИЯИ 1959, Дубна, 1965.
6. А.Ф.Лукьянцев, В.И.Мороз, В.И.Никитина, Б.А.Шахбазян. Препринт ОИЯИ P-1982, Дубна, 1965.
7. З.М.Иванченко, А.Ф.Лукьянцев, В.И.Мороз, В.И.Никитина, Ян Фу-цин, Л.С.Нефедьева. Препринт ОИЯИ 2005, Дубна, 1965.
8. З.М.Иванченко, А.Ф.Лукьянцев, В.И.Мороз, А.Д.Макаренко, Г.Н.Тентюкова. Препринт ОИЯИ P-2399, Дубна, 1965.
9. З.М.Иванченко, А.Ф.Лукьянцев, В.И.Мороз, А.Д.Макаренко, Г.Н.Тентюкова. Препринт ОИЯИ P11-3983, Дубна, 1968. ПТЭ № 3, 1969.

10. В.Г.Гришин, Э.П.Кистенев, Л.И.Лепилова, В.И.Мороз и др. Препринт ОИЯИ P-2277, Дубна, 1965.
11. Н.А.Буздавина, Н.Н.Говорун, Л.И.Лепилова, А.Ф.Лукьянцев, А.М.Моисеев. Сообщение ОИЯИ, IO-5643, Дубна, 1971.
12. Н.А.Буздавина, Н.Н.Говорун, Л.Дорж, А.Г.Зайкина, В.Г.Иванов, Л.И.Лепилова, А.Ф.Лукьянцев и др. Сообщение ОИЯИ P10-5785, Дубна, 1971.
13. Н.А.Буздавина, П.Бухгольц, Н.Н.Говорун, В.Г.Иванов, И.М.Иванченко, Д.Карл, Х.Кауфман, А.Ф.Лукьянцев и др. Препринт ОИЯИ P11-4762, Дубна, 1969. ПТЭ № 3, 1970.
14. T.C. Program Library, v.1-3, Geneva, 1967.
15. Ю.В.Линник. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. ФМ, 1962, гл. II, § 2, гл. III, IX.
16. Г.М.Фихтенгольц. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. I, ФМ, 1962.
17. Е.П.Жидков, А.Ф.Лукьянцев. Препринт ОИЯИ P-1988, Дубна, 1965.
18. Е.С.Левитин, Б.Т.Поляк. ЖВМ МФ, т. 6, № 5, стр. 816-820, 1966.
19. В.И.Мороз. Препринт ОИЯИ P-1958, Дубна, 1965.
20. И.Н.Силин. Препринт ОИЯИ II-3362, Дубна, 1967.
21. Р.К.Вёск. Препринт ЦЕРНа 61-29, Женева, 1961.
22. А.Ф.Лукьянцев, И.С.Сайтов. Сообщение ОИЯИ IO-5840, Дубна, 1971.
23. А.Г.Зайкина, А.Ф.Лукьянцев. Сообщение ОИЯИ II-5965, Дубна, 1971.
24. А.Д.Макаренко, В.И.Мороз, Э.Рупш. Препринт ОИЯИ 2917, Дубна, 1966.
25. В.Я.Алмазов и др. Препринт ОИЯИ I352, Дубна, 1964.
26. В.Я.Алмазов и др. ПТЭ № I, 1970, стр. 246.
27. Н.А.Буздавина, П.Бухгольц, В.Г.Иванов, А.Ф.Лукьянцев, Д.Хаммер, Э.Юнкер. Сообщение ОИЯИ II-5079, Дубна, 1970.
28. А.Ф.Лукьянцев, И.С.Сайтов. Сообщение ОИЯИ P10-5210, Дубна, 1970.
29. Л.И.Лепилова, А.Ф.Лукьянцев. Сообщение ОИЯИ IO-5963, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 апреля 1972 г.