

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P10-86-412

Я.Балгансурэн, В.В.Глаголев, Н.Н.Говорун,  
В.Г.Иванов, А.К.Качарава<sup>1</sup>, В.В.Первушов,  
Г.Д.Пестова, А.А.Хачатрян<sup>2</sup>

**АЛГОРИТМ**

**ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫБОРА**

**ФИЗИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ**

**НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОСМОТРА**

---

<sup>1</sup> Институт физики высоких энергий  
Тбилисского государственного университета

<sup>2</sup> Ереванский физический институт

**1986**

Существенное повышение уровня автоматизации процесса обработки filmовой информации может быть достигнуто за счет ликвидации или сокращения затрат ручного труда на наиболее трудоемких операциях<sup>/1/</sup>. Решение этой задачи требует разработки специальных алгоритмов, базирующихся на последовательностях правил, которыми люди руководствуются в ходе выполнения тех или иных операций<sup>/2/</sup>.

Данное сообщение посвящено рассмотрению алгоритма, предназначенного для автоматического выбора физических гипотез на основе критериев отбора и визуальных оценок плотности почернения ("ионизации") изображений следов заряженных частиц, которые производятся в ходе предварительного просмотра<sup>/3,4/</sup>.

## § I. Постановка задачи

В ходе восстановления пространственной картины регистрируемых в трековых камерах событий параметры заряженных частиц вычисляются, как правило, для нескольких массовых гипотез, т.е. различных предположений о природе частицы, образовавшей данный трек. Затем на основе анализа выполнения закона сохранения энергии-импульса для каждой из всех возможных гипотез о событии, выделяются наиболее вероятные<sup>/5/</sup>. В качестве критериев отбора здесь используются значения  $\chi^2$ , "недостающих масс", импульсов вторичных частиц и т.п., а также данные о ионизации треков событий. В нашем случае оценка плотности почернения треков событий производится визуально в ходе предварительного просмотра, и в случае необходимости уточнялась.

Таким образом, исходными данными для автоматического выбора физических гипотез являются:

- результаты реконструкции и кинематической идентификации событий;
- результаты просмотра фотопленок с визуальными оценками ионизации изображений треков событий;
- критерии отбора физических гипотез.

Для автоматического выбора физических гипотез необходимо:

I. Подобрать критерии для выбора физических гипотез, включая границы визуальных оценок ионизации изображений треков событий.

2. "Научить" ЭВМ отождествлять результаты измерений, под которыми здесь понимаются результаты реконструкции и кинематической идентификации событий, с данными просмотра.

3. Находить соответствие между пространственными треками и их проекциями на один из стереоснимков события.

4. Автоматически выбирать из оставшегося после кинематической идентификации события набора гипотез заданного числа наиболее вероятные, для которых вычисляемые значения ионизации не противоречат визуальным оценкам ионизации, а вероятности, недостающие массы и импульсы вторичных частиц удовлетворяют заданным критериям отбора.

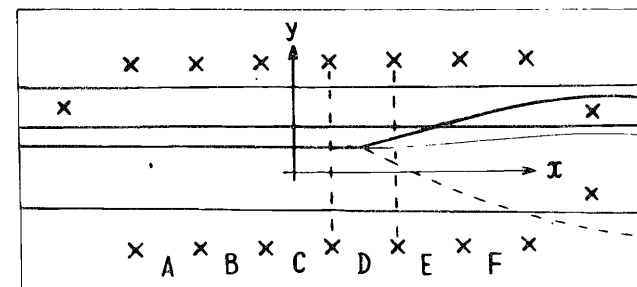


Рис. I.

Предположим, что показанное на рис. I событие было зарегистрировано на фотопленке N12, стереокадре N145. Вершина события - в зоне D. Тогда в результате просмотра заносится следующая информация:

S, 12, 145, 1, 3, 4, D3, 1, VK, 210.

Здесь: S - признак карты просмотра;  
 I - номер события на кадре;  
 3 - топология (число вторичных треков);  
 4 - число пучковых треков;  
 I - номер просмотра (в данном случае первый);  
 vk - шифр просмотрщика;  
 210 - факторы ионизации.

Для того, чтобы свести к минимуму субъективные факторы при визуальной оценке ионизации вторичных треков, потребовалось:

1. Определить граничные значения вычисляемых значений ионизации, для которых визуальные оценки различных просмотрщиков дают одинаковые результаты.

2. Определить около каждой границы области неопределенности, в пределах которых визуальные оценки независимых просмотрщиков могут отличаться. Тогда на первой стадии просмотра производится поиск событий, ионизация треков которых находится в зонах неопределенности, с тем, чтобы можно было уточнить и в случае необходимости внести исправления в результаты просмотра.

Для решения этих задач группы событий от нескольких сот до 2-3 тысяч просматривались независимо двумя разными лицами. Сопоставление двух независимых результатов просмотра позволяло определить искомые величины. После этого программа по заданным критериям отбора находит не определенные по ионизационным критериям события и выдает их на печать для дополнительного просмотра и корректировки

## § 2. Критерии для отбора физических гипотез

Процедура определения критериев отбора физических гипотез, вычисляемых при реконструкции и кинематической идентификации событий, хорошо известна и не вызывает затруднений<sup>/5/</sup>. Наряду с ними нам приходится привлекать данные о визуальных оценках ионизации, которые, вообще говоря, не свободны и от субъективного фактора. Поэтому достоверность визуальных оценок ионизации треков следует проверять.

Обычно при визуальной оценке ионизации плотности почернения изображений оцениваемых треков сравнивают с ионизацией частиц с известными массами и импульсами, например, пучковыми. Так, например, при облучении однометровой водородной камеры пучком ядер  $^3\text{He}$  с импульсом около 13 ГэВ/с ионизация пучковых частиц больше минимальной в четыре раза. Это позволило достаточно надежно оценивать ионизацию вторичных частиц по 3-балльной шкале следующим образом:

- всем релятивистским трекам присваивался фактор ионизации, равный 0;
- трекам, плотность почернения которых была больше релятивистской, но меньше или равна пучковой, фактор ионизации полагался равным 1;
- для треков с плотностью почернения больше, чем у пучковых частиц, этот фактор полагался равным 2.

Визуальная оценка производилась по проекциям события на первом стереоснимке, начиная с вторичного трека, образующего с пучковым минимальный угол, и далее по ходу часовой стрелки (рис. I). Эти данные заносились в результаты просмотра после служебной информации и других данных о событии следующим образом:

результатов. После этого производится автоматический выбор физических гипотез с учетом всех критериев отбора, включая ионизационные.

### § 3. Отождествление результатов просмотра и измерений

Как указано в предыдущем параграфе, каждое найденное при просмотре событие идентифицируется по следующим данным (рис.1):

- номеру фотопленки;
- номеру стереокадра на фотопленке;
- топологии события;
- зоне в камере, в которой находится главная вершина события, и номеру образовавшего его пучкового трека.

Каждое же измеренное событие, помимо номеров фотопленки, стереокадра и топологии, идентифицируется также и по пространственным координатам его главной вершины, т.к. номера событий на стереокадрах и метки главных вершин не всегда соответствуют действительности.

Таким образом, задача отождествления результатов просмотра и измерений сводится к определению по пространственным координатам главной вершины зоны, в которой она находится, и при наличии в зоне нескольких событий - номера образовавшего его пучкового трека.

В тех случаях, когда на стереокадре или в зоне имеется только одно событие заданной топологии, процедура отождествления не представляет затруднений, т.к. вершину нужно спроектировать на плоскость, в которой заданы границы зон, и убедиться, что  $x$ -координата проекции попадает в пределы указанной в данных просмотра зоны. Однако в нашем случае на стереокадрах довольно часто имеется по несколько событий одной топологии, причем в одну зону могут попадать вершины двух, а то и большего числа событий (рис.2). События такого типа в дальнейшем будем называть совпадающими.

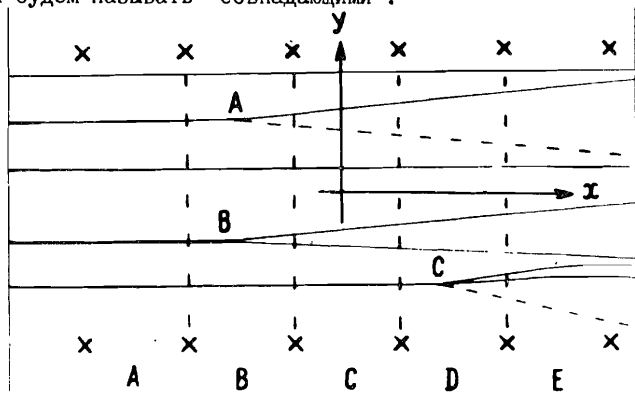


Рис.2.

Рассмотрим процедуру отождествления результатов просмотра и измерений для примера, показанного на рис.2. Здесь в зоне "B" находятся два события, зарегистрированные в результатах просмотра как  $v_2$  и  $v_4$ , и одно ( $D_5$ ) в зоне D. По условию пучковые треки нумеруются сверху вниз, а это означает, что большим номерам пучковых треков соответствуют меньшие значения  $y$ -й координаты вершины. Тогда, упорядочив найденные при просмотре и измеренные события по зонам, а внутри зон по номерам пучковых треков и значениям  $y$  координат вершин соответственно, получим возможность выбирать физические гипотезы стандартным путем. Однако для реализации этой возможности необходимо переписать все совпадающие события на специальный файл и упорядочить их, т.к. результаты измерений событий одного стереокадра могут находиться на различных файлах.

К совпадающим событиям одной зоны также следует отнести и такие события, когда вершины расположены в смежных зонах и одна из них находится вблизи границы (рис.3). В этом случае вершины A и B находятся в смежных зонах и, кроме того, вершина B расположена вблизи границ зон C и D. Поэтому при просмотре ее могут отнести к зоне C вместо D. И это обстоятельство нужно учитывать. При отождествлении измерения события "B" следует также учитывать возможность того, что его можно будет вместо зоны D отнести к зоне C. Таким образом, к совпадающим событиям следует относить не только события одной зоны, но и смежных, если вершина хотя бы одного из них расположена вблизи границы зон.

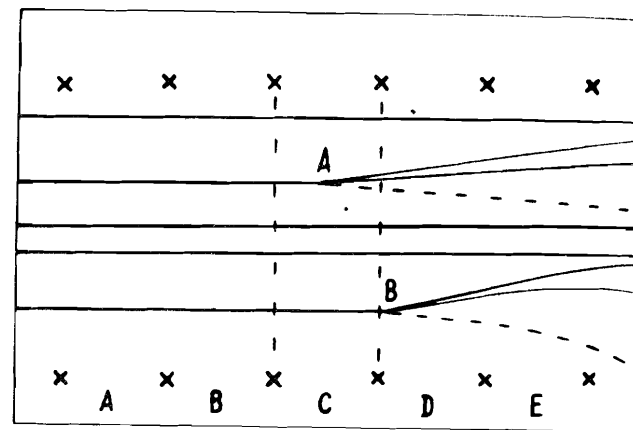


Рис.3.

#### § 4. Отождествление пространственных треков событий и их проекции на одном из стереоснимков

Визуальная оценка ионизации вторичных треков событий в нашем случае производится на одном из стереоснимков, причем изображения треков нумеруются в порядке возрастания углов, образуемых ими с проекцией пучкового трека (рис. I).

В результатах реконструкции вторичные треки каждого события могут располагаться в произвольном порядке, и поэтому они сначала упорядочиваются по значениям пространственных углов ( $\varphi$ ), образуемых вторичными треками с пучковым. Но вследствие геометрических факторов порядок следования пространственных треков может отличаться от последовательностей их расположения на стереоснимках. Для того, чтобы избежать процедуры проектирования пространственных треков на плоскость заданного стереоснимка, которая существенно увеличит время работы программы, необходимо привлекать дополнительные данные. Ими, в частности, могут быть порядковые номера проекций треков, присваиваемые им в процессе измерений. Тогда, задав порядок измерений и заноса номера проекций в соответствующие трековые банки, будем на этапе отбора знать номера проекций, по которым восстановлен каждый пространственный трек. Однако и этим данным нельзя доверять полностью, так как в процессе измерений или реконструкции могут быть "потеряны" не только проекции треков, но и целые проекции. С учетом всех этих обстоятельств была разработана следующая процедура отождествления пространственных треков и их проекций на заданный стереоснимок.

Пространственные треки события располагаются в порядке возрастания значений угла  $\varphi$  и проверяется, совпадают ли номера треков, упорядоченные таким образом, с номерами составляющих их проекций на заданном стереоснимке. Если да, то треки и их проекции считаются отождествленными. Если нет, то на печать выдаются результаты, позволяющие физикам указать программе, какие гипотезы надо выбрать.

Что касается последующего выбора гипотез, то эта процедура производится следующим образом:

1. Поскольку порядок следования трековых банков в файле результатов реконструкции одинаков для всех гипотез данного события, то факторы ионизации проекций треков располагаются в порядке, определяемом значениями угла  $\varphi$ .

2. Проверяется соответствие вычисленных значений ионизаций частиц события соответствующим факторам ионизации. Все гипотезы, для которых нет такого соответствия, исключаются из дальнейшего рассмотрения.

3. Из рассмотрения исключаются те гипотезы, для которых значения вероятностей недостающих масс и импульсов частиц не укладываются в заданные пределы.

4. Если число оставшихся после этого гипотез больше двух, то выбираются две наиболее вероятные.

5. Если оставшихся гипотез одна или две, то они и выбираются.

6. Если после проверки по всем критериям, включая ионизационные, все гипотезы были забракованы, то делается попытка "спасения" события, основанная на том обстоятельстве, что треки, образующие с горизонтальной плоскостью угол больше  $0,3$  рад, на стереоснимках выглядят более плотными. Им присваивается больший фактор ионизации:  $I$  вместо нуля или  $2$  вместо  $1$ . Поэтому программа проверяет, есть ли в событии треки с большими глубинными углами. Если есть, то фактор ионизации для них уменьшается на  $I$ , скажем,  $0$  вместо  $1$ , или  $1$  вместо  $2$ , и проверяется наличие соответствующих гипотез.

#### § 5. Отождествление совпадающих событий

При автоматическом выборе физических гипотез информация о совпадающих событиях переписывается на специальный файл. Это делается для того, чтобы в дальнейшем рассматривать все события одного стереоснимка целиком.

Поскольку среди совпадающих событий могут оказаться и забракованные при измерениях или в ходе реконструкции, то информацию о них также следует записывать в этот файл. Но это можно сделать только тогда, когда главная вершина забракованного события восстановлена правильно. Чтобы не усложнять стандартную процедуру отбора, эту операцию лучше выполнять независимо. Так, например, на II тыс событий  $\approx p$  - эксперимента оказалось 785 совпадающих событий, а для их хранения потребовалось около 450 тыс слов. Такие объемы информации можно хранить на частном дисковом пакете, емкость которого не менее 30 Мбайт, т.е. пакете, используемом для организации хранения промежуточных данных и результатов счета в процессе обработки пленочной информации. Тогда информацию о забракованных совпадающих событиях можно заносить в файл из каталога обрабатываемых событий.

Для того, чтобы исключить ошибки в отождествлении совпадающих событий из-за потерь последних в процессе измерений или по каким-либо другим причинам, когда в каталоге обрабатываемых событий нет даже данных о координатах их главных вершин, информация о всех обнаруженных при отборе событий такого типа выдается на печать. Это позволяет экспериментаторам проверить соответствие результатов просмотра и измерений и при необходимости внести коррективы в результаты просмотра.

После выполнения указанных операций производится упорядочение как измерений, так и просмотровых данных, что позволяет организовать выбор физических гипотез для этой группы событий стандартным образом.

### § 6. Организация выбора физических гипотез

Принципиальная схема процесса выбора физических гипотез показана на рис.4.

После считывания с магнитной ленты или магнитного диска результатов измерений очередного события, программа обращается к файлу результатов просмотра и "ищет" на нем информацию о событиях, найденных на заданном стереокадре данной фотопленки. При этом могут наблюдаться следующие ситуации:

1. На заданном стереокадре (или в соответствующей зоне) события указанной топологии нет. Обнаружив отсутствие соответствия между результатами просмотра и измерений, программа готовит сообщение для печати и записывает его головной рекорд на файл результатов.

2. Если на стереокадре было найдено несколько событий, то программа проверяет, не является ли измеренное событие совпадающим. Если да, то формируется соответствующее сообщение для печати, а информация о нем переписывается на файл совпадающих событий.

3. Если на стереокадре (или в зоне) было найдено одно событие, а результаты просмотра и измерений соответствуют друг другу, то производится упорядочивание треков и факторов ионизации, т.е. готовится информация для программного выбора физических гипотез.

После реализации процедуры выбора возможны следующие ситуации:

1. Число выбранных гипотез равно нулю, т.е. программа забраковала все имевшиеся в списке гипотезы для измеренного события. В этом случае проверяется наличие в событии треков с большими глубинными углами и, если таковые имеются, то делается попытка "спасения" в соответствии с описанной в § 4 процедурой. Если и после "спасения" число физических гипотез равно нулю, программа формирует сообщение для печати.

2. Если непосредственно после выбора или "спасения" осталась одна или две физических гипотезы, то информация о них переписывается на файл результатов.

3. Если число выбранных или "спасенных" гипотез больше двух, то из них выбираются две наиболее вероятные.

Такова принципиальная схема программного выбора физических гипотез с учетом визуальных оценок ионизации треков, полученных при предварительном просмотре и скорректированных с учетом обнаруженных ошибок.

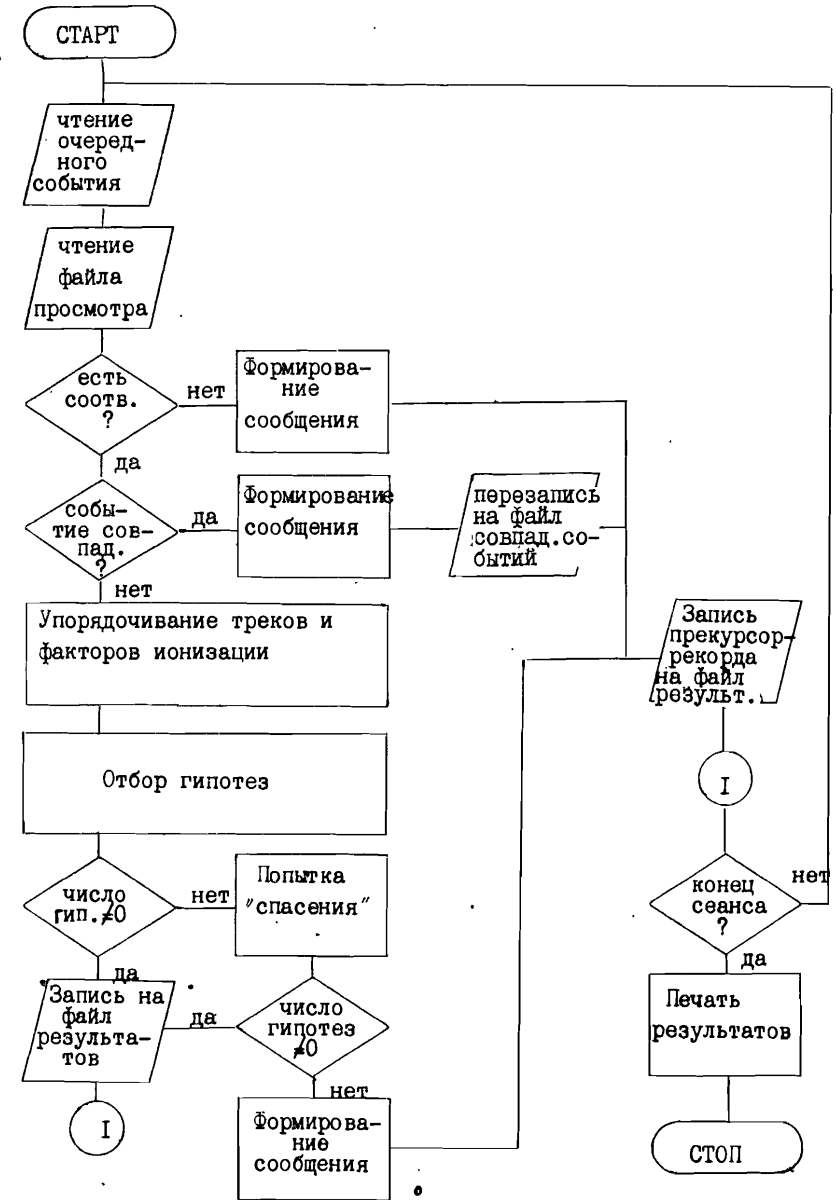


Рис.4

Для того, чтобы устранить ошибки, которые могут возникать при просмотре и записи его результатов на машинные носители информации, программа выбора работает в двух режимах: информационном и отборе.

При работе в информационном режиме на печать выдаются данные, необходимые для идентификации событий при дополнительном просмотре, в следующих ситуациях:

1. Программа забраковала все гипотезы для данного события.
  2. Измеренного события нет в результатах просмотра.
  3. Вычисленные значения ионизации частиц попадают в неопределенные области, т.е. находятся вблизи границ соответствующих факторов ионизации.
  4. Событие относится к группе совпадающих.
- На основании этих данных имеется возможность проверить результаты просмотра и внести в них соответствующие коррекции.

#### Заключение

Испытания алгоритма были проведены в ходе обработки данных, полученных в трех экспериментах с общим числом событий ~ 40 тыс. На отбор гипотез для одной тысячи событий тратится от 10 до 15 минут времени работы центрального процессора ЭВМ CDC-6500 /6/. Эффективность программного отбора составляет 92-98% от всех анализируемых событий. Правильность работы алгоритма подтверждена контрольными методическими просмотрами части материала в каждом из трех экспериментов.

#### Литература

1. Балгансурэн Я. и др. ОИЯИ, P10-85-516, Дубна, 1985.
2. Говорун Н.Н., Иванов В.Г. В кн.: Обработка физической информации. ЦНИИатоминформ, Ереван, 1985, с.3.
3. Глаголев В.В. и др. ОИЯИ, P10-82-369, Дубна, 1982.
4. Балгансурэн Я. и др. ОИЯИ, IO-85-510, Дубна, 1985.
5. Villemeoes P. CERN, 71-6, p.105, Geneva, 1971.
6. Аниховский В.Е. и др. В кн.: Программирование и математические методы решения физических задач. ОИЯИ, Д10, П-84-818, Дубна, 1985, с.23.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 июня 1986 года.

#### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

|               |  |             |
|---------------|--|-------------|
| D2-82-568     | Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.   | 1 р. 75 к.  |
| D9-82-664     | Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.  | 3 р. 30 к.  |
| D3,4-82-704   | Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.  | 5 р. 00 к.  |
| D11-83-511    | Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.                                   | 2 р. 50 к.  |
| D7-83-644     | Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.  | 6 р. 55 к.  |
| D2,13-83-689  | Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.   | 2 р. 00 к.  |
| D13-84-63     | Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.   | 4 р. 50 к.  |
| D2-84-366     | Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.   | 4 р. 30 к.  |
| D1,2-84-599   | Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.  | 5 р. 50 к.  |
| D17-84-850    | Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/  | 7 р. 75 к.  |
| D10,11-84-818 | Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983 | 3 р. 50 к.  |
|               | Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/  | 13 р. 50 к. |
| D4-85-851     | Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.   | 3 р. 75 к.  |
| D11-85-791    | Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.                                      | 4 р.        |
| D13-85-793    | Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.  | 4 р. 80 к.  |

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

| Индекс | Тематика   |
|--------|--|
| 1.     | Экспериментальная физика высоких энергий   |
| 2.     | Теоретическая физика высоких энергий   |
| 3.     | Экспериментальная нейтронная физика  |
| 4.     | Теоретическая физика низких энергий  |
| 5.     | Математика   |
| 6.     | Ядерная спектроскопия и радиохимия   |
| 7.     | Физика тяжелых ионов   |
| 8.     | Криогеника   |
| 9.     | Ускорители   |
| 10.    | Автоматизация обработки экспериментальных данных   |
| 11.    | Вычислительная математика и техника  |
| 12.    | Химия  |
| 13.    | Техника физического эксперимента   |
| 14.    | Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами   |
| 15.    | Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях   |
| 16.    | Дозиметрия и физика защиты   |
| 17.    | Теория конденсированного состояния   |
| 18.    | Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники |
| 19.    | Биофизика  |

Балгансурэн Я. и др. P10-86-412  
**Алгоритм для автоматического выбора физических гипотез на основе результатов предварительного просмотра**

Описывается алгоритм, предназначенный для автоматического выбора физических гипотез из результатов кинематической идентификации событий по заданным критериям отбора с учетом визуальных оценок плотности почернения изображений следов частиц, которые производятся при предварительном просмотре. Испытания алгоритма были проведены на данных трех экспериментов с общим объемом событий ~ 40 тыс. Внедрение алгоритма в практику процесса обработки позволило в несколько раз сократить сроки анализа экспериментальных данных и существенно упростить этот процесс.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С. Виноградовой

Balgansuren J. et al. P10-86-412  
**Algorithm for Physical Hypothesis Automatic Selection on the Basis of the Preliminary Scanning Results**

An algorithm intended for automatic selection of physical hypotheses from the results of event kinematical identification by the assigned selection criteria is described. Visual estimates of particle track image density which are produced by preliminary scanning are taken into account. This algorithm was tested on the data array of about 40 thousand events obtained in three experiments. Introduction of the algorithm into data processing allowed one to reduce by several times the period of experimental data analysis and to essentially simplify this process.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986