

АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ АДРОННЫХ СТРУЙ В ПРОСТРАНСТВЕ ЧЕТЫРЕХМЕРНЫХ СКОРОСТЕЙ

А.С.Водопьянов, А.Б.Садовский

Новый алгоритм реконструкции струй реализован в рамках релятивистски-инвариантного подхода. Алгоритм определяет количество струй в событии и реконструирует событие соответственно осям струй. Проведено сравнение, на моделированных событиях e^-e^+ -взаимодействия, относительного числа реконструированных струй для алгоритма типа JADE и предлагаемого здесь алгоритма.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Hadron Jets Finding Algorithm in the Four-Dimensional Velocity Space

A.S.Vodopianov, A.B.Sadovsky

New jet finding algorithm is developed in the relativistically invariant approach. The jet finding algorithm determines the number of jets in an event and reconstructs the corresponding jet axis. The jet rates for the JADE jet finding algorithm are compared to the jet rates for the presented method using Monte-Carlo data of e^-e^+ -collision.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

1. Введение

Использование методики коллективных переменных для анализа e^-e^+ -взаимодействий позволило выделить 2- и 3-струйные события, получить фундаментальные физические результаты, явившиеся первым экспериментальным подтверждением правильности основных положений КХД. Однако к началу 80-х годов эта техника обработки экспериментальных данных в значительной мере себя исчерпала.

Для дальнейшей проверки предсказаний КХД требовались данные по аннигиляционным событиям с четырьмя и более струями, а для проверки моделей фрагментации партонов было необходимо детально исследовать структуру одиночных струй. Встал вопрос об выделении отдельных струй с помощью специальных алгоритмов.

Одним из первых был предложен «угловой» струйный алгоритм [1], в котором для выделения струи использовался факт коллимации продуктов фрагментации партона относительно направления его импульса. Методика выделения струй, основанная на ограничениях «относительных разностей» кинематических переменных входящих в струю частиц, активно развивалась и далее. Одним из примеров такого подхода может служить алгоритм LUCCLUS [2], в котором в струю объединяются частицы с относительным поперечным импульсом, не превышающим заданную величину.

Однако наибольшее практическое применение в исследованиях e^-e^+ -взаимодействий получил тип алгоритма, впервые предложенный коллаборацией JADE [3]. Оригинальный алгоритм JADE организован следующим образом: сначала рассчитываются инвариантные массы всех пар «частиц» в событии. Под частицей в данном случае может пониматься реальная частица или «псевдочастица», определенная ниже. Инвариантная масса рассчитывается в предположении, что частицы i и j имеют нулевые массы

$$m_{ij}^2 = 2E_i E_j (1 - \cos \theta_{ij}), \quad (1)$$

а энергия и 3-импульс пары получаются обычным сложением этих величин для отдельных частиц.

Затем определяется безразмерная величина

$$y_{ij} = \frac{m_{ij}^2}{W^2}, \quad (2)$$

где W — полная энергия в системе ц.м.

Пара частиц с наименьшей величиной y_{ij} называется псевдочастицей, и эти две частицы в дальнейшем заменяются на такую псевдочастицу. Процедура повторяется до тех пор, пока все величины y_{ij} не начнут превышать некоторое предельное значение y_{cut} . Струями считаются все кластеры с максимальным числом частиц, еще обеспечивающим условие $y_{ij} < y_{cut}$.

Однако такого рода алгоритмам присуща неоднозначность, которую обычно называют «неопределенностью рекомбинационной схемы», так как экспериментальные результаты зависят от подробностей предписаний, каким образом «неполные» кластеры следует объединить в струю.

В настоящее время исследовано несколько рекомбинационных схем [4]. Основным недостатком процедуры определения величины y_{ij} на ос-

нове подхода, развитого группой JADE, является возможность объединения в одну псевдострую частиц от тормозного излучения глюонов, которые на самом деле следует включать в струи от разных партонов, испустивших эти глюоны.

В релятивистской ядерной физике вопрос о кластеризации вторичных частиц, образующихся в неупругих столкновениях ядер при релятивистских энергиях, является принципиальным для понимания множественного рождения адронов в образовании при этом кумулятивных частиц. Поэтому очень важно найти экспериментальные возможности обнаружения факта образования кластеров и их анализа. Одним из перспективных оказался подход, предложенный А.М.Балдиным, основанный на изучении особенностей ядерных столкновений в пространстве относительных 4-скоростей [4—7]. В этом инвариантном методе анализа множественного рождения частиц процессы рассматриваются в пространстве, точками которого являются четырехмерные скорости $U_i = P_i / m_i$, или 4-импульсы чвастниц P_i , деленные на их массы m_i .

Основными величинами, от которых зависят распределения вероятностей (сечения), считаются безразмерные положительные релятивистски-инвариантные величины

$$b_{ik} = -(P_i / m_i - P_k / m_k)^2 = 2[(P_i P_k) / (m_i m_k) - 1] = 2(U_i U_k - 1); \quad (3)$$

индексы i и k принимают значения $i, k = 1, 2, 3, \dots$. Величины b_{ik} имеют смысл относительных расстояний в пространстве 4-мерных скоростей.

В связи с этим представляет интерес исследовать возможность построения алгоритма реконструкции события с использованием этих переменных для $e^+ e^-$ -взаимодействия.

2. Инвариантное определение адронных струй

В этом подходе струя рассматривается как кластер адронов с малыми относительными скоростями b_k .

Осью струи предлагается назвать единичный четырехмерный вектор $V(V_0, \vec{V})$:

$$V = \sum_i U_i / \sqrt{(\sum_i U_i)^2}. \quad (4)$$

По определению,

$$V_0^2 - \vec{V}^2 = 1. \quad (5)$$

Суммирование в формуле (4) ведется по всем частицам, относящимся к выделенной группе частиц (кластеру). 4-мерная скорость частицы относительно оси струи записывается как

$$b_k = -(V - U_k)^2. \quad (6)$$

Определение оси струи (4) получается из условия минимального значения суммы для частиц струи и условия (5).

В этом определении адронных струй не используется выделенная система координат, продольные быстрые, поперечные импульсы и т.п. Струи и их характеристики определяются полностью инвариантным способом без привлечения таких понятий, как «сферисити» или «траст».

Расстояние между двумя кластерами в пространстве 4-скоростей определяется:

$$b_{\alpha\beta} = -(V_\alpha - V_\beta)^2, \quad (7)$$

где, V_α и V_β — оси кластеров.

В работах [7—8] для разделения струй предлагается минимизировать величину:

$$A_2 = \min \left[- \sum_k (V_\alpha - V_k^\alpha)^2 - \sum_i (V_\beta - U_i^\beta)^2 \right] \quad (8)$$

для 2-струйных событий,

$$A_3 = \min \left[- \sum_k (V_\alpha - V_k^\alpha)^2 - \sum_i (V_\beta - U_i^\beta)^2 - \sum_j (V_\gamma - U_j^\gamma)^2 \right] \quad (9)$$

для 3-струйных событий и т.д.

Для минимизации A_2 , A_3 и т.д. в каждом событии с множественностью вторичных заряженных частиц N рассматривались все возможные разбиения на две (три и более) группы, из всего набора значений A_2 , A_3 и т.д., соответствующих каждому разбиению, отбиралась такая комбинация, которая давала минимальное значение этой величины.

Таким образом, выделение струй в пространстве относительных скоростей производится путем отыскания осей струй V_α , V_β , V_γ и т.д. при минимизации суммы квадратов 4-скоростей вторичных частиц.

Однако на практике использование этого метода представляется достаточно трудоемким, а при большой множественности частиц практически нереализуемым из-за необходимости рассмотрения большого числа комбинаций разбиения частиц по группам и по количеству групп.

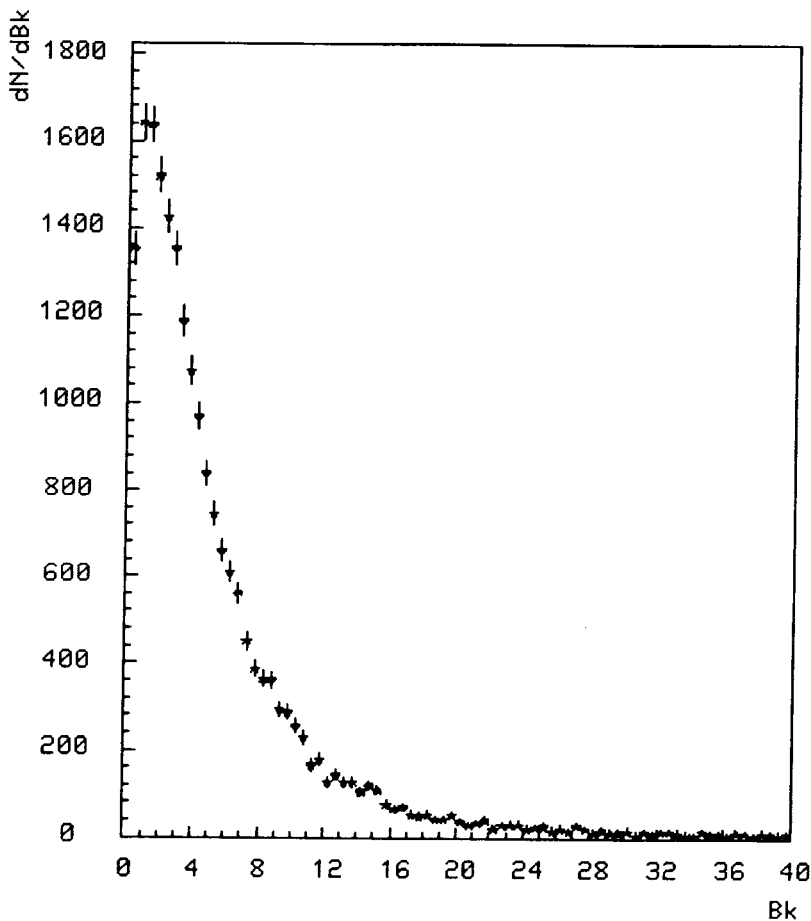


Рис. 1. Распределение частиц в струе по величине b_k для e^+e^- -взаимодействия при энергии 91 ГэВ (только заряженные частицы). Струи реконструированы с помощью алгоритма, используемого программой JETSET 7.3 для значения $y_{\text{cut}} = 0,02$

Предлагаемый нами алгоритм основывается на том, что значение b_k для частицы, принадлежащей рассматриваемой струе, должно быть небольшим. На рис.1 представлено распределение частиц в струе по величине b_k для моделированных с помощью программы JETSET 7.3 событий e^+e^- -взаимодействия при энергии 91 ГэВ. Струи реконструированы алгоритмом коллаборации JADE, используемым программой JETSET 7.3 [9] для значения $y_{\text{cut}} = 0,02$. В реконструкции события рассматривались только заряженные частицы. При этом критерии на зна-

чение полной энергии для реконструированных струй не использовались. Из рисунка видно, что распределение имеет максимум и достаточно круто спадает с ростом значения b_k .

3. Описание алгоритма

Как и другие алгоритмы нахождения струй [1—3], B_k -алгоритм определяет количество струй в событии и реконструирует событие соответственно осям струй.

Алгоритм B_k организован следующим образом:

— Сначала рассчитываются значения b_k для всех частиц в событии. Выбирается самая жесткая частица и ищется ей пара с требованием $\min b_{ik}$ в пространстве 4-мерных скоростей.

— Для такой пары определяется ось прекластера, и частицы проверяются на условие

$$b_{\alpha\beta} = -(V_\alpha - V_\beta)^2 < B_k, \quad (10)$$

где V_α и V_β — соответственно, ось прекластера и ось для одной частицы в предположении, что она одна составляет прекластер, B_k — выбранное значение для алгоритма. Если условие (10) выполняется, то частицы добавляются к прекластеру, вновь вычисляется ось прекластера и проверяется условие

$$b_k = -(V - U_k)^2 < B_k. \quad (11)$$

— Процедура повторяется до тех пор, пока все частицы не будут объединены в прекластеры.

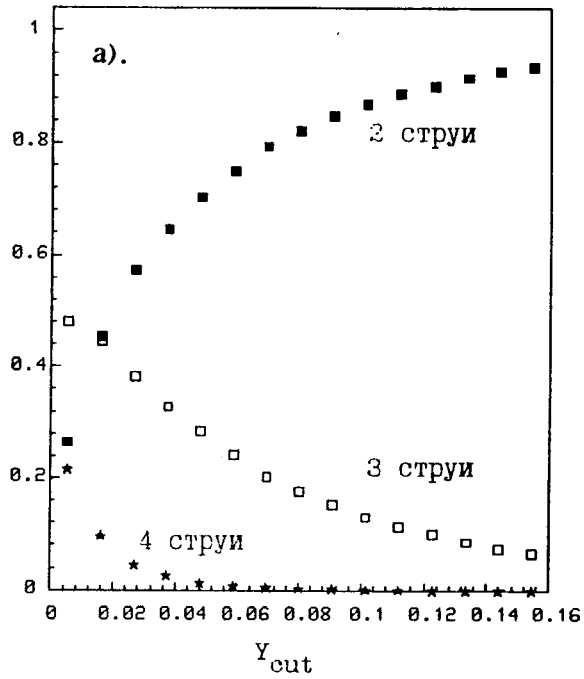
— Все прекластеры с $b_{\alpha\beta} < B_k$ между осями объединяются в кластеры, вычисляются оси, и частицы рассматриваются относительно новых осей.

4. Анализ относительного числа реконструированных струй в событии

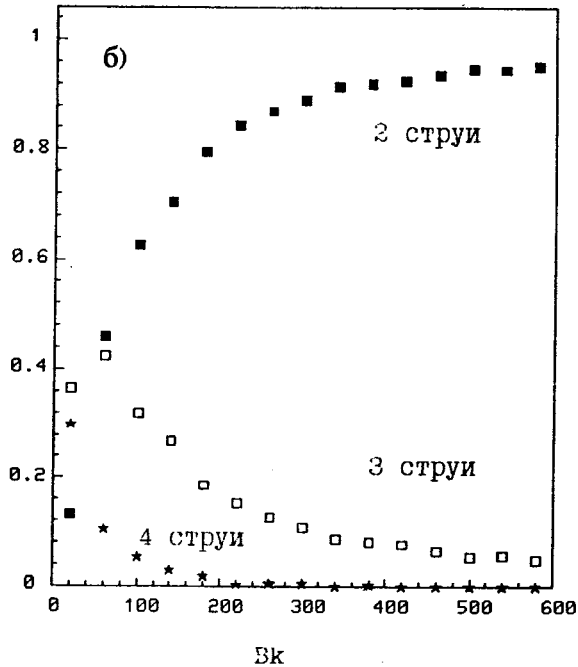
На рис.2 представлено распределение относительного числа реконструированных струй в моделированных с помощью программы JETSET 7.3 событий e^+e^- -взаимодействия при энергии 91 ГэВ (только заряженные частицы) для различных значений y_{cut} (рис.2а) и B_k (рис.2б), используемых алгоритмами JADE и B_k . Вид зависимости для

Рис.2. Распределение относительного числа реконструированных струй в событии для e^+e^- -взаимодействия при энергии 91 ГэВ (только заряженные частицы), полученное а) для различных значений y_{cut} с использованием JETSET 7.3 и б) для различных значений B_k с использованием B_k алгоритма

Отн. число реконструированных струй



Отн. число реконструированных струй



алгоритма сходен с результатами широко используемого JADE-алгоритма. Близкие значения относительного числа реконструированных струй для 2- и 3-струйных событий получаются при значении $y_{\text{cut}} = 0,02$ для JADE-алгоритма, такая же ситуация наблюдается при значении $B_k = 40$ для B_k -алгоритма.

Авторы благодарят А.М.Балдина за постановку задачи, Б.В.Батюню, Л.А.Диденко, А.А.Кузнецова, Т.Б.Прогулову и Н.В.Славина за полезные обсуждения.

Литература

1. Daum H.J. — Z. Phys., 1981, v.C8, p.167.
2. Bengtsson M., Sjostrand T. — Nucl. Phys., 1987, v.B289, p.810.
3. Bethke S. et al. — Phys. Lett., 1988, v.213B, p.235.
4. Балдин А.М. и др. — ЯФ, 1986, т.44, с.1209.
5. Baldin A.M. et al. — В сб. «Краткие сообщения ОИЯИ» № 1 [21]-87, 1987, Дубна, с.17.
6. Балдин А.М. и др. — ЯФ, 1988, т.48, с.995.
7. Балдин А.М., Диденко Л.А. — В сб. «Краткие сообщения ОИЯИ» № 3-84, Дубна, 1984, с.5.
8. Гришин В.Г. и др. — ОИЯИ, P1-89-693, Дубна, 1989.
9. Sjostrand T. — CERN-TH.6488/92, Geneva, 1992.

Рукопись поступила 18 октября 1994 года.