

P10-2009-77

А. Ю. Верхеев, Н. Б. Скачков

ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
АДРОННЫХ СТРУЙ

Направлено в журнал «Вычислительные методы и программирование»

Верхеев А. Ю., Скачков Н. Б.

P10-2009-77

Программный пакет для визуализации результатов моделирования структуры адронных струй

Данная статья представляет собой продолжение работ [1,2] по созданию программного пакета для визуализации результатов моделирования процессов столкновения частиц при высоких энергиях на основе пакета PYTHIA, осуществляющего генерацию методом Монте-Карло физических событий. Описаны возможности для визуального изучения процесса образования адронных струй с момента столкновения ускоренных частиц до адронизации вторичных частиц и их распадов.

Также произведено обобщение метода на случай применения алгоритма PYCLUS (взятого из пакета PYTHIA) для поиска адронных струй.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Дзелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2009

Verkheev A. Yu., Skachkov N. B.

P10-2009-77

Program Package for the Visualization of the Results of Modeling of the Structure of Hadronic Jets

This article extends the previous works [1,2] on the development of the program package for the visualization of the results of modeling of physical events with hadronic jets production at high energies. We used the sample of events generated with PYTHIA Monte-Carlo event generator package. The options for visualization of the process of hadronic jets production starting from the stage of the accelerated particles collision up to the hadronization of the secondary particles and the decay are described.

Analogous method of visualization application is worked out for the case of the use of PYCLUS algorithm (also taken from PYTHIA event generator package) for search of hadronic jets.

The investigation has been performed at the Dzhelapov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа является продолжением нашей предыдущей работы [1] по созданию программного пакета для визуализации результатов моделирования физических событий при высоких энергиях методом Монте-Карло на основе пакета PYTHIA.

В работе [2] были реализованы следующие элементы этой программы, которые позволяют осуществлять:

- моделирование ячеистой структуры калориметра детектора эксперимента D0 (Тэватрон, ФНАЛ), позволяющее создать пространственную картину распределения (по полярному и азимутальному углам) сработавших ячеек калориметра в каждом из сгенерированных на основе PYTHIA физических событий;
- вывод подробной информации по каждой ячейке о соответствующих ей частицах (количество частиц, их наименование, значения импульсов и энергии этих частиц);
- поиск адронных струй на основе алгоритма поиска PYCELL, взятого из пакета PYTHIA [3].

В настоящей работе рассмотрим другие элементы программы, которые представляют возможности для визуализации процесса изучения образования адронных струй с момента столкновения ускоренных частиц, а также для поиска адронных струй на основе алгоритма PYCLUS, взятого из пакета PYTHIA [3].

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Для анализа структуры адронных струй нами была создана подпрограмма, которая позволяет отследить процесс образования струи с момента столкновения первичных ускоренных частиц до адронизации вторичных частиц. Существует возможность практически для каждой частицы определить, в результате распада какой частицы она образовалась, т. е. «родителя», и на какие частицы она в дальнейшем распалась, т. е. «детей». Результаты отображаются как графически («частица-родитель» соединяется с «частицей-ребенком» по средствам линии), так и численно в виде таблиц (рис. 1).

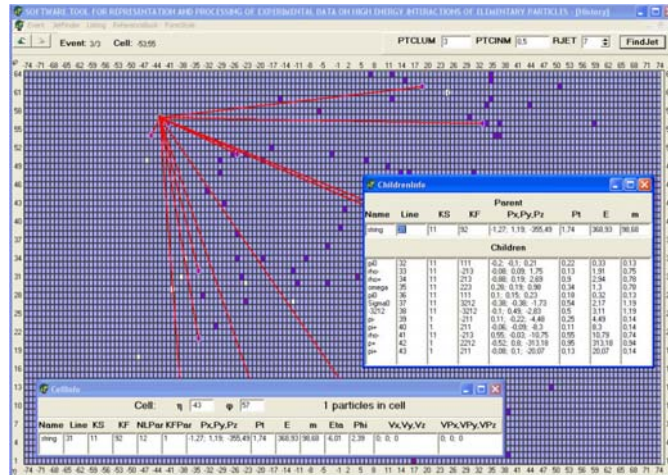


Рис. 1. Распад частицы «string»

KF	Name
16	nu_tau
17	tau'
18	nu'_tau
21	g
22	gamma
23	Z0
24	W+
25	h0
32	Z'0
33	Z''0
34	W'+
35	H0
36	A0

Рис. 2. Окно Particle Code вызывается из подменю ReferenceBook панели главного меню нажатием на пункт KF

В работе [1] были описаны модель калориметра детектора и его геометрия.

Одной из важных характеристик, применяемых на коллайдерах детекторов, является значение предельной псевдобыстроты $\eta_{lim} = -\frac{1}{2} \ln \left(tg \frac{\theta_{lim}}{2} \right)$, где θ_{lim} — максимальный угол, под которым виден из точки центра калориметра его край (рис. 1 работы [2]). В работе [1] рассматривались значения $|\eta_{lim}| = 5,0$. Однако для анализа моделируемых событий желательно «видеть» все образующиеся частицы, включая и те, которые не попадают в регистрирующую зону детектора, т. е. частицы, у которых $|\eta_{lim}| > 5,0$. Здесь мы «расширим» область отображения частиц, увеличив количество ячеек по η с 74 до 148, причем размер дополнительных ячеек по η равен 0,2 в описанных ранее в работе [2] единицах измерения углов. Таким образом, появляется возможность отслеживать частицы с $\eta: -12,4 \leq \eta \leq 12,4$.

Для того чтобы можно было проверять работу разработанного программного пакета, а также сравнивать полученные результаты с исходными данными, содержащимися в **Listing** программы РУТНІА, была предусмотрена возможность просматривать некоторые данные с помощью вызова следующих элементов главного меню:

- Окно **Particle Code**, вызывается из пункта **KF** подменю **ReferenceBook**

IEV	I	KS	KF	NLPар	KFPар	Eta	Phi	Px	Py	Pz	E	AM	Pt
1	7	21	-1	0	0	-2.91	2.17	-3.94	5.77	-64.04	64.42	0.33	6.99
1	8	21	-1	0	0	0.73	-0.97	3.94	-5.77	5.55	8.93	0.33	6.99
1	9	11	2214	1	2212	-7.31	1.56	0.01	0.62	-464.6	464.6	1.32	0.62
1	10	1	2112	2	2212	8.91	-0.1	0.1	-0.01	377.2	377.2	0.94	0.1
1	11	12	-1	7	-1	-2.91	2.17	-3.94	5.77	-64.04	64.42	0.33	6.99
1	12	11	2	2	2212	9.36	3.04	-0.1	0.01	590.11	590.11	0.33	0.1

Рис. 3. Окно EventListing вызывается из подменю **Listing** панели главного меню нажатием на пункт **EventListing**

-12,4 <= Eta <= -5 and 5 <= Eta <= 12,4														
IEV	I	KS	KF	NLPар	KFPар	Eta	Phi	Px	Py	Pz	E	AM	Pt	Vx
10	1	2112	2	2212	8.91	-0.1	0.1	-0.01	377.2	377.2	0.94	0.1	0	0
17	1	2112	9	2214	-7.06	1.17	0.26	0.62	-392.82	392.82	0.94	0.68	0	0
18	1	211	9	2214	-6.34	-3.12	-0.25	0	-71.77	71.78	0.14	0.25	0	0
31	1	211	19	92	5.75	-0.28	0.55	-0.16	89.37	89.37	0.14	0.57	0	0
91	1	211	34	213	6.15	0.78	0.1	0.1	34.42	34.42	0.14	0.15	0	0
93	1	-211	35	-213	6.13	-2.33	-0.26	-0.28	88.18	88.18	0.14	0.39	0	0
95	1	211	36	213	6.32	0.4	0.27	0.12	81.52	81.52	0.14	0.29	0	0

-12,4 > Eta and Eta > 12,4														
IEV	I	KS	KF	NLPар	KFPар	Eta	Phi	Px	Py	Pz	E	AM	Pt	Vx
1	47	11	92	15	21	26.25	3.14	0	0	12.59	37.92	35.77	0	0

Рис. 4. Окно Particles with abs(eta) > EtaMax вызывается из подменю **Listing** панели главного меню нажатием на пункт **Particles(|eta| > 5)**

главного меню программы (рис. 2); позволяет получить информацию о коде частицы (**KF**), принятом в физическом пакете PYTHIA [3] и ее название (**Name**).

- Окно **EventListing**, вызывается из пункта **EventListing** подменю **Listing** главного меню программы (рис. 3); отображает структуру входного файла с исходными данными (номер события (**IEV**), номер частицы в файле (**I**), код стабильности частицы (**KS**), код аромата частицы (**KF**), аромата частицы-родителя (**NLPar**), код аромата частицы-родителя (**KFPar**), значения координат η и φ частиц (**Eta**, **Phi**), компоненты импульса частицы (**Px**, **Py**, **Pz**), энергия частицы (**E**), масса частицы (**AM**), поперечный импульс частицы (**Pt**) и другие); не является прямой выдачей PYTHIA, содержит дополнительные переменные.
- Окно **Particles with abs(eta) > EtaLim**, вызывается из пункта **Particles(|Eta| >5)** подменю **Listing** главного меню программы. Содержит список частиц (рис. 4), которые «вылетают» как за «рабочую» область детектора калориметра (верхняя таблица), так и «расширенную» (нижняя таблица).

2. РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ АДРОННЫХ СТРУЙ

2.1. Симуляция детектора: все частицы. Описываемый программный продукт позволяет проанализировать механизм возникновения адронных струй, а также увидеть, как возникают частицы, из каких частиц они рождаются и на какие распадаются.

Для этого необходимо после открытия файла с данными выбрать из подменю **Event** пункт **History**, после чего на экране отобразится сетка с частицами (рис. 5). Это то же самое событие «**NEvent 1/3**», показанное на рис. 6, *a* в [2], но с расширенным интервалом по η .

Здесь заметно больше частиц, чем отображалось в окне ранее. Это обусловлено тем, что в данной сетке отображаются все частицы, которые возникли в результате соударения ускоренных частиц (как стабильные, так и «промежуточные»).

Также отметим то, что частицы, указанные в списке первых 20 линий в **EventListing**, выделены белым цветом. Кварки выделены буквой «**Q**».

Окно **History** позволяет управлять механизмом поиска струй (панель параметров, рис. 6, *б* в работе [2]). Алгоритм поиска адронных струй **PYCELL** подробно рассматривается в [2].

2.2. Механизм поиска «родителя» и «детей» частицы. Допустим, на координатной сетке окна **History** выбрана ячейка, содержащая частицу

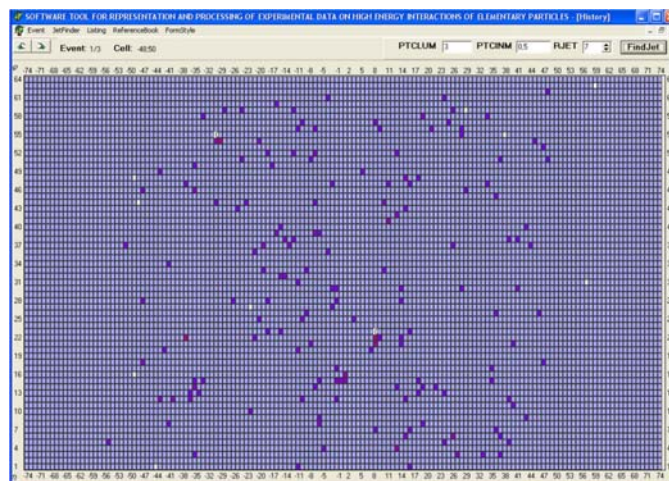


Рис. 5. Отображение всех частиц; окно **History** становится доступным после загрузки файла данных в окно **Cells** и выбора пункта **History** из подменю **Event** панели главного меню

π^0 -мезон. Для того чтобы узнать, из какой частицы произошел π^0 -мезон, необходимо в окне **CellInfo** (которое появится в окне **History** при нажатии на выбранную ячейку) в первой колонке **Name** нажать правую кнопку мыши на названии частицы (**pi0**), в результате выводится контекстное меню со списком операций, оно содержит следующие пункты:

- **Show Children** — отображение «детей»;
- **Show Parent** — отображение «родителя»;

выберите **Show Parent** (рис. 6).

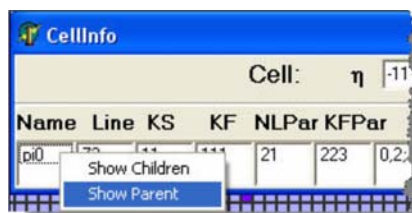


Рис. 6. Контекстное меню окна **CellInfo**, вызываемое при нажатии правой клавишей мыши на название частицы в первой колонке (**Name**)

Результат приведен на рис.7. Линия соединяет «частицу-ребенка» и «частицу-родителя» (на экране монитора линия отобразится красным цветом). Здесь же появилось окно **ParentInfo** (рис. 8), которое отображает краткую информацию как о «частице-ребенке», так и о «частице-родителе».

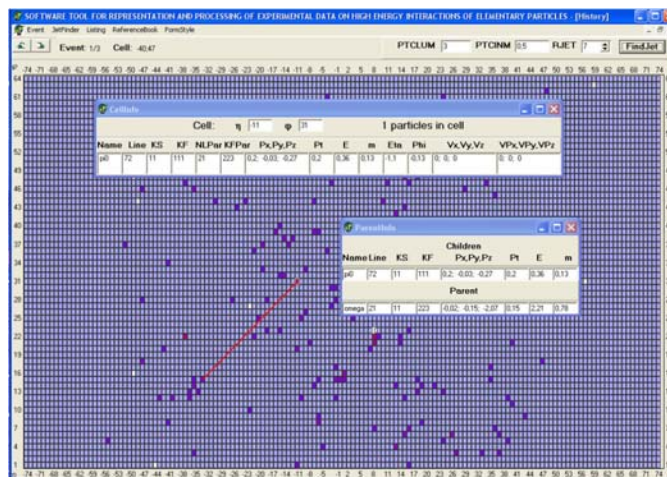


Рис. 7. Отображение «родительской» частицы: на экране появляется линия, соединяющая «частицу-ребенка» и «частицу-родителя»

Children							
Name	Line	KS	KF	Px,Py,Pz	Pt	E	m
π^0	72	11	111	0,2; -0,03; -0,27	0,2	0,36	0,13
Parent							
ω	21	11	223	-0,02; -0,15; -2,07	0,15	2,21	0,78

Рис. 8. Окно **ParentInfo**, появляется на экране после выбора пункта **Show Parent** из контекстного меню окна **CellInfo** (для выбранной частицы)

В данном примере «частица-ребенок» π^0 -мезон родилась в результате распада «частицы-родителя» Ω -мезона. Аналогично можно посмотреть, например, на какие частицы распадается «частица-родитель» Ω -мезон. Для этого необходимо выделить частицу Ω -мезон в окне **History** (на нее будет указывать один из концов линии), появится окно **CellInfo**, в котором нужно нажать правой кнопкой мыши на название в столбце **Name** и выбрать пункт **Show Children**. В результате получим информацию о том, что частица Ω -мезон распалась на π^- -мезон, π^+ -мезон и π^0 -мезон. Всю основную информацию об этих частицах можно получить из окна **ChildrenInfo**, а также можно в окне **History** увидеть три линии — «частицы-дети», которые выходят из одной точки — «частицы-родителя» (рис. 9, 10).

Окна **ParentInfo** и **ChildrenInfo** состоят из следующих полей:

- **Name** — название частицы;

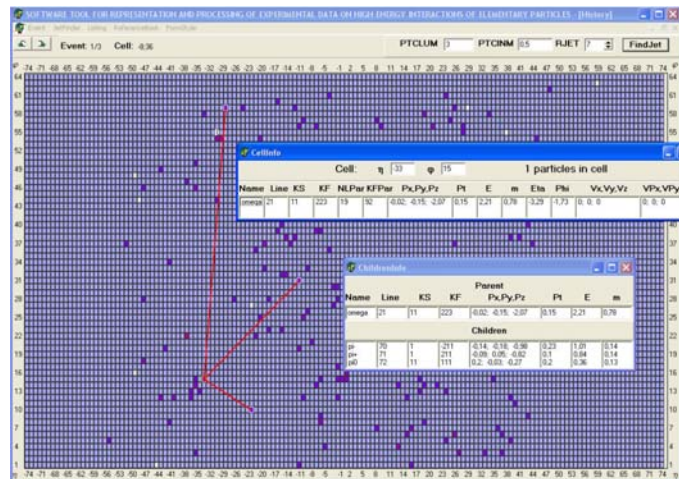


Рис. 9. Отображение распада «частицы-родителя» на три «частицы-ребенка»; окно отображается после выбора пункта **Show Children** из контекстного меню окна **CellInfo** (для выбранной частицы)

Parent							
Name	Line	KS	KF	Px,Py,Pz	Pt	E	m
omega	21	11	223	-0.02; -0.15; -2.07	0.15	2.21	0.78
Children							
pi-	70	1	-211	-0.14; -0.18; -0.98	0.23	1.01	0.14
pi+	71	1	211	-0.09; 0.05; -0.82	0.1	0.84	0.14
pi0	72	11	111	0.2; -0.03; -0.27	0.2	0.36	0.13

Рис. 10. Окно **ChildrenInfo**, появляется на экране после выбора пункта **Show Children** из контекстного меню окна **CellInfo** (для выбранной частицы)

- **Line** — номер линии частицы в списке **EventListing** (в **EventListing** из PYTHIA ей соответствует **I**);
- **KS**—PYTHIA — код стабильности частицы;
- **KF**—PYTHIA — код аромата частицы;
- **Px, Py, Pz** — координатные компоненты вектора импульса частицы;
- **Pt** — поперечный импульс частицы;
- **E** — энергия частицы;
- **m** — масса частицы.

Полученные результаты можно проверить по входным данным оригинального списка частиц, входящих в данное событие, сгенерированное PYTHIA. Ниже представлен фрагмент листинга.

I	Part	KS	KF	Orig	Px	Py	Pz	E	M
21	(omega)	11	223	19	-0.025	-0.153	-2.066	2.214	0.77
69	(pi0)	11	111	20	-3.283	5.023	-53.348	53.685	0.13
70	pi-	1	-211	21	-0.137	-0.179	-0.979	1.014	0.14
71	pi+	1	211	21	-0.089	0.052	-0.817	0.835	0.14
72	(pi0)	11	111	21	0.202	-0.026	-0.271	0.365	0.13
73	pi+	1	211	22	-0.297	0.448	-1.763	1.849	0.14

Определив номер линии I «частицы-родителя», а также значения кода NLPar (номер линии родителя), мы можем заключить, что частица π^0 -мезон (линия I = 72, NLPar 21) произошла от частицы Ω -мезон (линия I = 21), в то же время частица Ω -мезон (линия I = 21) распалась на частицы π^- -мезон (линия I = 70, NLPar 21), π^+ -мезон (линия I = 71, NLPar 21), π^0 -мезон (линия I = 72, NLPar 21).

Отметим, что для некоторых частиц может не быть информации о «детях» или «родителях», например, если частица вылетела за рамки (по η) сетки установленного размера или частица вообще не имеет «детей» или «родителей».

2.3. Пример анализа структуры адронной струи. Рассмотрим на конкретном примере механизм образования струи. Поиск струй будет осуществляться алгоритмом PYCELL, подробную информацию об алгоритме можно

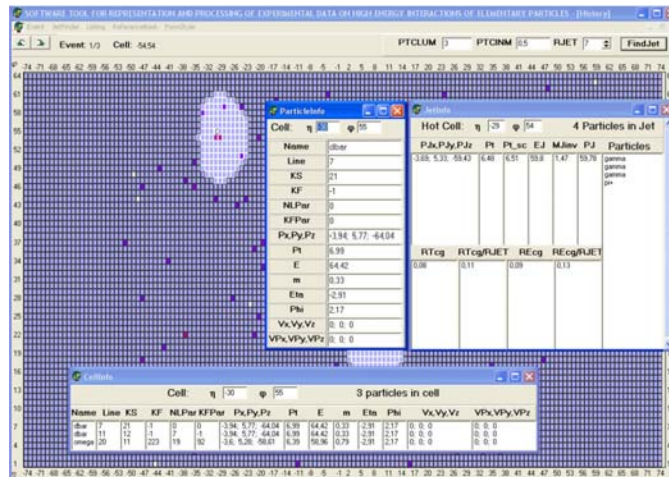


Рис. 11. Информация о ячейке, которая содержит кварк: показанные окна (**JetInfo**, **ParticleInfo**, **CellInfo**) появляются после нажатия на ячейку, содержащую кварк. Белыми окружностями отображены найденные струи после нажатия на кнопку **FindJet** панели управления

найти в [2]. Все полученные результаты будем подтверждать фрагментами из списка родившихся частиц из листинга.

Будем рассматривать то же самое событие ($N_{Event} = 1$), что и в [2] (рис. 6, *a* в [2]). После загрузки события в режиме **History** (п. 2.1) найдем струи. Для этого нажмем на кнопку **FindJet**. В окне **History** (рис. 11) появятся две белые окружности, обозначающие найденные струи. Допустим, что мы хотим узнать, как появилась верхняя струя на рис. 11, т. е. какие частицы в нее входят. Для этой цели проследим от самого начала образование частиц после взаимодействия протона и антипротона.

Нажмем на ячейку с буквой **Q** — кварк в выбранной струе. Появится информация о струе (см. правое верхнее окно **JetInfo** на рис. 11), информация о кварке (см. левое верхнее окно **ParticleInfo** на рис. 11) и информация о частицах, входящих в выделенную ячейку (см. нижнее окно **CellInfo** на рис. 11). В нашем случае кварком оказался **dbar** ($I = 7$), далее он «копируется» в линию $I = 11$.

Фрагмент листинга

I	Part	KS	KF	Orig	Px	Py	Pz	E	M
7	!dbar!	21	-1	0	-3.941	5.775	-64.036	64.417	0.33
8	!dbar!	21	-1	0	3.941	-5.775	5.551	8.933	0.33
9	(Delta+)	11	2214	1	0.009	0.619	-464.597	464.600	1.32
10	n0	1	2112	2	0.101	-0.010	377.201	377.202	0.94
11	(dbar A)	12	-1	7	-3.941	5.775	-64.036	64.417	0.33
12	(u) V	11	2	2	-0.101	0.010	590.111	590.111	0.33
13	(dbar) A	12	-1	8	3.941	-5.775	5.551	8.933	0.33
14	(d) V	11	1	1	-0.009	-0.619	-456.814	456.814	0.33
15	(g) A	12	21	0	-2.391	1.441	25.022	25.177	0.00
16	(g) V	11	21	0	2.391	-1.441	-12.436	12.746	0.00

Из фрагмента видно, что между двумя частицами (линии $I = 11$ и 12) натягивается струна (**string**). Для того чтобы узнать, что она собой представляет, необходимо у частицы **dbar** найти «детей» (рис. 12).

Теперь видно, где образуется струна между **dbar** и **u**.

I	Part	KS	KF	Orig	Px	Py	Pz	E	M
11	(dbar) A	12	-1	7	-3.941	5.775	-64.036	64.417	0.33
12	(u) V	11	2	2	-0.101	0.010	590.111	590.111	0.33
19	(string)	11	92	11	-4.043	5.785	526.075	654.529	89.362

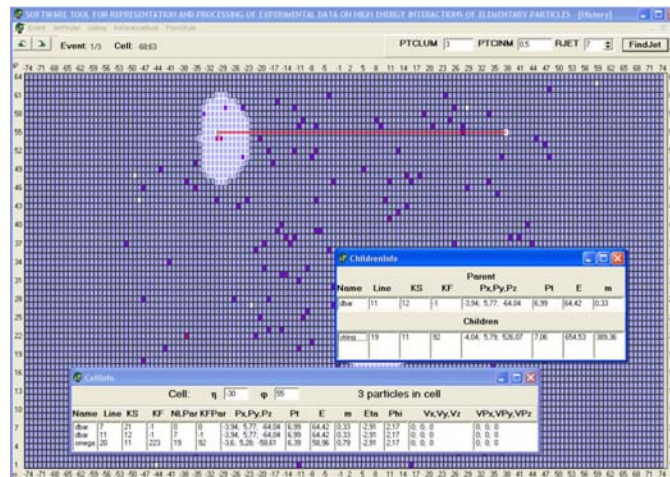


Рис. 12. Натяжение струны, окно отображается после выбора пункта **Show Children** из контекстного меню окна **CellInfo** (для частицы **dbar**)

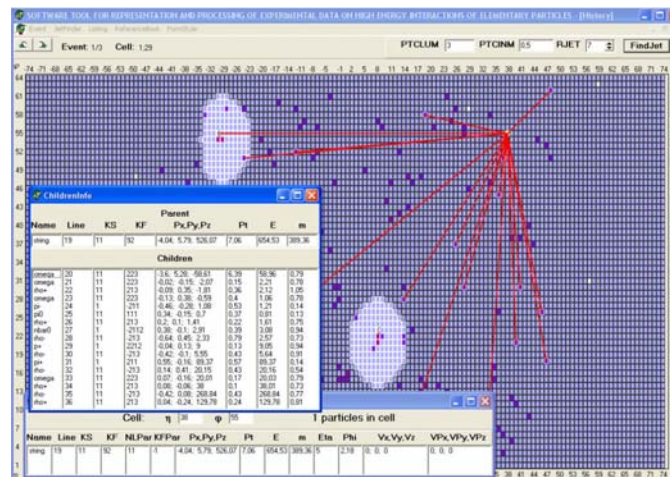


Рис. 13. Отображение распада струны на вторичные частицы: окно отображается после выбора пункта **Show Children** из контекстного меню окна **CellInfo** (для частицы **string**). В окне **ChildrenInfo** (верхнее окно) отображается информация о «частицах-детях»

Также надо отметить, что четыре характеристики (**Px**, **Py**, **Pz**, **E**) у **string** получаются суммированием соответствующих характеристик кварков **dbar** и **u**.

Посмотрим теперь, на что распадается **string**. Для этого надо найти ее «детей» (рис. 13).

Согласно листингу струна распадается на множество частиц.

I	Part	KS	KF	Orig	Px	Py	Pz	E	M
19	(string)	11	92	11	-4.043	5.785	526.075	654.529	89.36
20	(omega)	11	223	19	-3.600	5.276	-58.611	58.963	0.786
21	(omega)	11	223	19	-0.025	-0.153	-2.066	2.214	0.779
22	(rho+)	11	213	19	-0.093	0.346	-1.805	2.117	1.046
23	(omega)	11	223	19	-0.129	0.379	-0.591	1.060	0.784
24	pi-	1	-211	19	-0.456	-0.277	1.080	1.213	0.140
25	(pi0)	11	111	19	0.342	-0.145	0.703	0.807	0.135
26	(rho+)	11	213	19	0.201	0.098	1.410	1.611	0.746
27	nbar0	1	-2112	19	0.376	-0.098	2.909	3.081	0.940
28	(rho-)	11	-213	19	-0.644	0.452	2.333	2.567	0.727
29	p+	1	2212	19	-0.038	0.127	9.003	9.052	0.938
30	(rho-)	11	-213	19	-0.424	-0.097	5.552	5.642	0.907
31	pi+	1	211	19	0.547	-0.158	89.369	89.371	0.140
32	(rho-)	11	-213	19	0.138	0.411	20.153	20.165	0.535
33	(omega)	11	223	19	0.065	-0.157	20.013	20.029	0.788
34	(rho+)	11	213	19	0.081	-0.063	38.004	38.011	0.728
35	(rho-)	11	-213	19	-0.419	0.085	268.842	268.844	0.769
36	(rho+)	11	213	19	0.036	-0.242	129.778	129.780	0.807

Видно, что у всех представленных частиц номер «частицы-родителя» **Orig** совпадает с номером линии **string** (линия I = 19). Отметим также, что если просуммировать импульсы и энергию вторичных частиц, то она с точностью совпадает с соответствующими значениями **string** с учетом округления.

Теперь, анализируя таким образом вторичные частицы от **string**, мы можем выделить следующие:

а) частица Ω -мезон (линия I = 20), которая распадается на фотон — γ (линия I = 68, NLPар 20) и на π^0 -мезон (линия I = 69, NLPар 20). Отметим,

Фрагмент листинга

I	Part	KS	KF	Orig	Px	Py	Pz	E	M
20	(omega)	11	223	19	-3.600	5.276	-58.611	58.963	0.786
67	(K*0)	11	313	47	-0.094	-0.926	-0.091	1.331	0.947
68	gamma	1	22	20	-0.317	0.252	-5.263	5.279	0.000
69	(pi0)	11	111	20	-3.283	5.023	-53.348	53.685	0.135
70	pi-	1	-211	21	-0.137	-0.179	-0.979	1.014	0.140

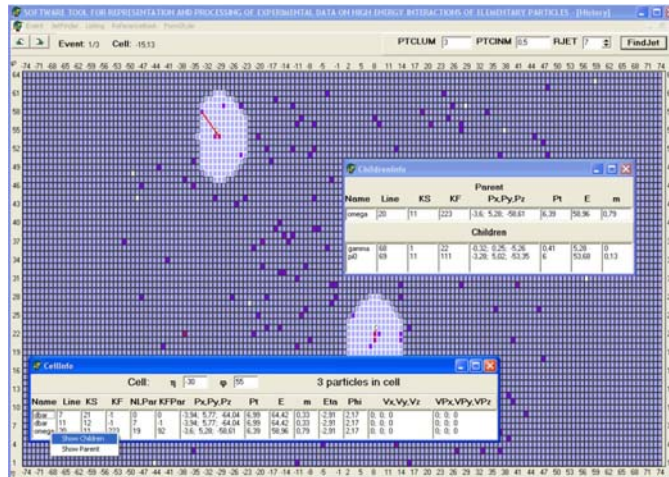


Рис. 14. Распад Ω -мезона, получение фотона. В нижнем окне (**CellInfo**) для частицы Ω -мезон выбирается из контекстного меню пункт **Show Children**. В верхнем окне (**ChildrenInfo**) отображается информация о «частицах-детях» «родительской» частицы Ω -мезона

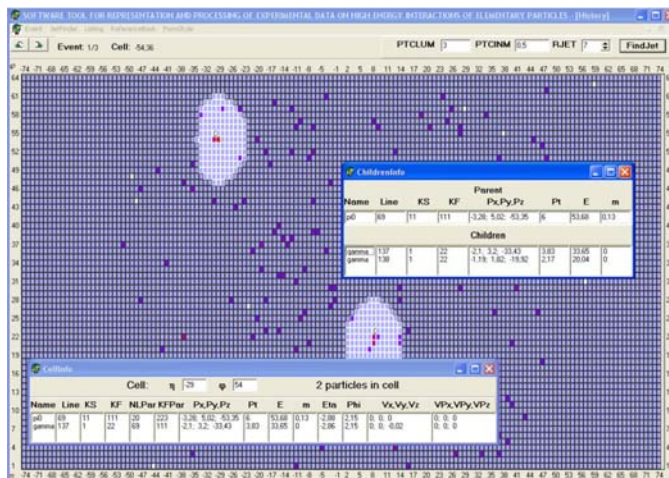


Рис. 15. Распад π^0 -мезона на два фотона. В нижнем окне (**CellInfo**) для частицы π^0 выбирается из контекстного меню пункт **Show Children**. В верхнем окне (**ChildrenInfo**) отображается информация о «частицах-детях» «родительской» частицы π^0 -мезона

что баланс между частицами по **Px, Py, Pz, E** сохраняется. Поскольку фотон является стабильной частицей, то он ни на что не распадается. Это стабильная частица, которая входит в исследуемую верхнюю струю (рис. 14).

В свою очередь нейтральный π^0 -мезон (линия I = 69) распадается на два фотона (линии I = 137 и 138, NLPар 20), которые являются составными частями струи (рис. 15).

Фрагмент листинга

I	Part	KS	KF	Orig	Px	Py	Pz	E	M
69	(pi0)	11	111	20	-3.283	5.023	-53.348	53.685	0.135
137	gamma	1	22	69	-2.096	3.201	-33.431	33.650	0.000
138	gamma	1	22	69	-1.187	1.823	-19.917	20.035	0.000

б) частица Ω -мезон (линия I = 21), также образовавшаяся из **string** (линия I = 19), в свою очередь распадается на три мезона — π^- (линия I = 70, NLPар 21), π^+ (линия I = 71, NLPар 21), π^0 (линия I = 72, NLPар 21) (рис. 16). Для нас представляет интерес стабильный положительный π^+ -мезон (линия I = 71), который входит в струю.

Фрагмент листинга

I	Part	KS	KF	Orig	Px	Py	Pz	E	M
21	(omega)	11	223	19	-0.025	-0.153	-2.066	2.214	0.779
70	pi-	1	-211	21	-0.137	-0.179	-0.979	1.014	0.140
71	pi+	1	211	21	-0.089	0.052	-0.817	0.835	0.140
72	(pi0)	11	111	21	0.202	-0.026	-0.271	0.365	0.135

в) Для нас может представлять интерес еще одна частица, которая образовалась в результате разрушения струи — это положительный ρ^+ -мезон (линия I = 22), однако он распадается на два π -мезона (линии I = 73 и 74, NLPар 22), которые в струю не входят (рис. 17).

Фрагмент листинга

I	Part	KS	KF	Orig	Px	Py	Pz	E	M
22	(rho+)	11	213	19	-0.093	0.346	-1.805	2.117	1.046
73	pi+	1	211	22	-0.297	0.448	-1.763	1.849	0.140
74	(pi0)	11	111	22	0.204	-0.102	-0.042	0.268	0.135

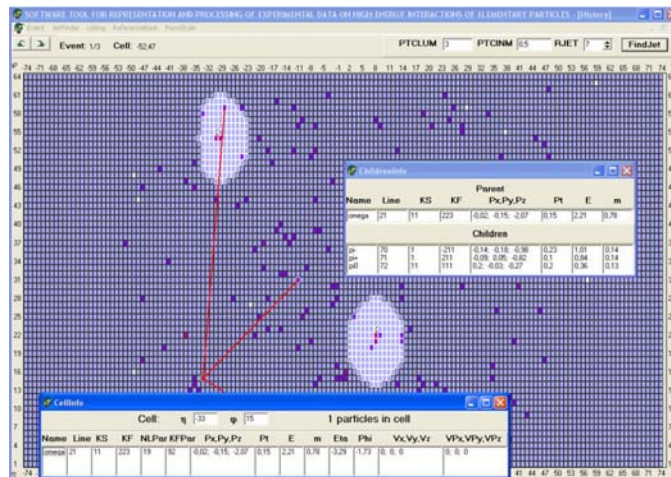


Рис. 16. Распад Ω -мезона. В нижнем окне (CellInfo) для частицы Ω -мезон выбирается из контекстного меню пункт Show Children. В верхнем окне (ChildrenInfo) отображается информация о «частицах-детях» «родительской» частицы Ω -мезона

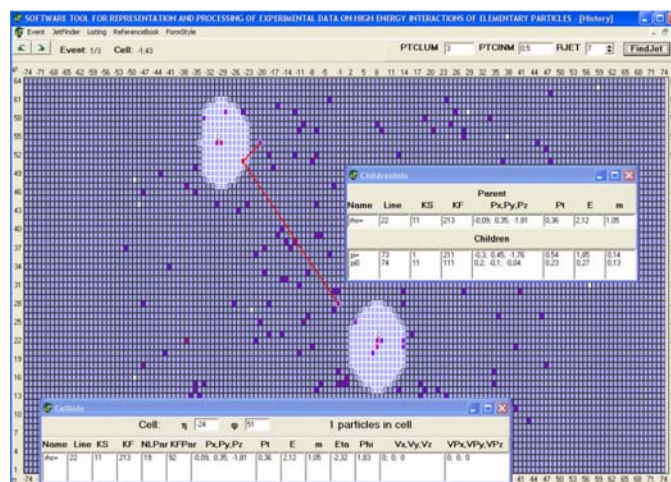


Рис. 17. Распад ρ -мезона. В нижнем окне (CellInfo) для частицы ρ -мезон выбирается из контекстного меню пункт Show Children. В верхнем окне (ChildrenInfo) отображается информация о «частицах-детях» «родительской» частицы ρ -мезона

Таким образом, мы проанализировали механизм образования струи, нашли все частицы, которые в нее входят (положительный π -мезон и три фотона), а также проследили сохранение импульсов и энергии между первичными («родители») и вторичными («дети») частицами. Также следует обратить внимание на то, что струя в η - ϕ -пространстве, согласно рис. 11, образуется вокруг исходного кварка Q .

Аналогично механизму поиска «детей» в программе предусмотрена возможность поиска «родителей», т. е. поиск в «обратную» сторону от «детей» к «родителям».

3. АЛГОРИТМ ПОИСКА АДРОННЫХ СТРУЙ PYCLUS

В первой части работы был описан алгоритм поиска адронных струй **PYCELL**. Здесь представлен механизм работы с еще одним алгоритмом поиска адронных струй **PYCLUS**, описание основных принципов которого можно найти в PYTHIA [3].

Для того чтобы начать работу с алгоритмом, нужно, во-первых, нажать на «кнопку» главного меню управления параметрами подпрограммы **PYCLUS**. Затем в открывшемся окне необходимо заполнить соответствующие поля ввода панели параметров (или оставить их согласно значениям, предусмотренным по умолчанию в PYTHIA) и нажать на кнопку **FindJet**. Полученный результат можно увидеть на рис. 18.

Работа алгоритма управляется выбором так называемых настроечных параметров, используемых в PYTHIA:

- **MSTU46** — параметр, отвечающий за выбор пространственного критерия, используемого для поиска струй;
- **MSTU47** — параметр, определяющий минимальное число найденных струй, содержащихся в событии;
- **PARU43** — параметр, отвечающий за минимальное значение поперечного импульса мини-струи;
- **PARU44** — максимальное пороговое «расстояние» между двумя мини-струями; если расстояние между двумя мини-струями меньше, чем значение этого параметра, то они объединяются в одну струю (параметр используется при $MSTU46 = 1, 2, 3$ и 5);
- **PARU45** — пороговый параметр, определяющий максимальное значение расстояния, который при выполнении необходимых условий позволяет объединять две мини-струи в одну (параметр используется при $MSTU46 = 4$ и 6).

Поле **JetCount** отображает количество найденных струй.

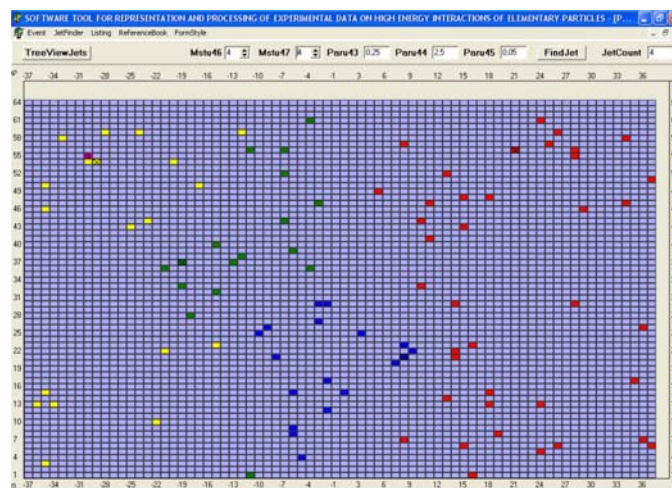


Рис. 18. Отображение адронных струй (алгоритм PYCLUS), окно вызывается из пункта PYCLUS подменю JetFinder главного меню

Разными цветами выделены ячейки, частицы которых принадлежат соответствующим струям. Ячейки, отмеченные крестиком, содержат частицы-инициаторы струи, т. е. частицы с самым большим значением импульса поперечного сечения.

Для того чтобы просмотреть информацию по струям и их частицам, необходимо нажать на кнопку **TreeViewJets**.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Этот пакет необходим для физического анализа результатов моделирования методом Монте-Карло глубоконеупругих нуклон-нуклонных столкновений.

В данной работе представлены результаты по развитию программного пакета, позволяющего осуществлять визуальный анализ физических процессов адрон-адронных соударений при высоких энергиях, сопровождающихся образованием адронных струй в конечном состоянии. В дополнение к тем возможностям, которые были описаны в работе [2], в основном это методика визуализации струй как объектов, регистрируемых адронным калориметром, имеющим ячеистую структуру, в настоящей статье описаны возможности визуального прослеживания процесса адронизации изначальных кварков, родившихся в фундаментальном партон-партонном процессе столкновения.

В работе расширены возможности более детального изучения продуктов, образующих конечное состояние, в частности анализа импульсно-энергетических характеристик тех частиц, которые могут рождаться в процессе, но не могут быть зарегистрированы в детекторе в силу его негерметичности. Так же важно, что созданный пакет позволяет оперативно проводить интерактивное сравнение наблюдаемой визуальным образом пространственной структуры струй и информации об энерговыделении в ячейках калориметра. При этом представляемый здесь программный пакет позволяет получать информацию о сорте попадающих в отдельные ячейки калориметра частиц, аккумулируя в целом набор открываемых окон сводные таблицы, полученные обработкой данных, содержащихся в документальных листингах, выдаваемых в качестве конечного продукта программы генерации физических событий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Черепанов Е. О., Скачков Н. Б.* Программный пакет для представления и обработки экспериментальных данных высокоэнергетических взаимодействий элементарных частиц. ОИЯИ Р10-2002-279. Дубна, 2002.
2. *Верхеев А. Ю., Скачков Н. Б.* Программный пакет для визуализации результатов моделирования физических событий с образованием адронных струй. Сообщ. ОИЯИ Р10-2009-9. Дубна, 2009.
3. Программный пакет PYTHIA <http://www.thep.lu.se/~torbjorn/>

Получено 22 мая 2009 г.

Редактор М. И. Зарубина

Подписано в печать 3.07.2009.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,43. Уч.-изд. л. 1,69. Тираж 290 экз. Заказ № 56653.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/