

P10-2009-9

А. Ю. Верхеев, Н. Б. Скачков, Е. О. Черепанов

ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ  
РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ  
СОБЫТИЙ С ОБРАЗОВАНИЕМ АДРОННЫХ СТРУЙ

Направлено в журнал «Вычислительные методы и программирование»

Верхеев А. Ю., Скачков Н. Б., Черепанов Е. О. P10-2009-9  
Программный пакет для визуализации результатов моделирования  
физических событий с образованием адронных струй

Разработан программный пакет, предназначенный для визуального анализа физических процессов адрон-адронных соударений при высоких энергиях, сопровождающихся образованием адронных струй. Программа осуществляет наглядное представление информации о выбранных событиях, реализует поиск адронных струй, проводит анализ состава струи и энергетического распределения частиц (алгоритм PYCELL, взятый из пакета генерации событий PYTHIA).

Пакет предназначен для использования в операционной системе Windows и разработан с помощью инструментальной среды программирования Borland Delphi 6.0.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2009

Verkheev A. Yu., Skachkov N. B., Cherepanov E. O. P10-2009-9  
Program Package for the Visualization of the Results of Modeling  
of Physical Events with Production of Hadronic Jets

The program package is worked out for a visual analysis of the physical process of hadron-hadron collisions with hadronic jets production at high energy. The program allows presenting the information about the selected events, it realizes the search for hadronic jets (PYCELL algorithm taken from PYTHIA event generator package), performs the analysis of components of jets and the energy distribution of particle produce.

The program is intended for the use in Windows operation system and is developed on the basis of Borland Delphi 6.0.

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

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

## ВВЕДЕНИЕ

Создание программ для визуального представления информации при обработке данных в физике высоких энергий является весьма актуальной задачей. В связи с ростом потока информации, получаемой при проведении эксперимента, остро встает проблема ее наглядного отображения. Рутинный просмотр множества графиков и таблиц с цифрами зачастую не позволяет оперативно сделать вывод о физической структуре событий.

В этой связи важно отметить, что поиск «новой физики», т. е. свидетельств об отклонении от предсказаний Стандартной модели на действующих и планируемых ускорителях предполагает использование для этих целей многоструйных событий. По этой причине важной задачей является быстрый анализ событий с целью обнаружения в них адронных струй и определения их пространственных и импульсных параметров. Естественно, что создание программных пакетов для визуального контроля полученных параметров струй будет важным шагом в решении этой задачи.

Неотъемлемым элементом почти любого детектора, используемого в физике высоких энергий, является адронный калориметр. При отображении данных, полученных с калориметра, весьма полезно иметь возможность оперативно получать качественное и интуитивно понятное представление информации о событии, позволяющее мгновенно определять его структуру. Также важна возможность получить, в случае необходимости, детальную информацию не только о событии в целом, но и о каждом из его фрагментов.

Целью настоящей работы является развитие ранее начатой работы [1] по созданию программного пакета, который визуализировал бы пространственное распределение частиц, образовавшихся в результате столкновения ускоренных частиц. Основной задачей является построение аппарата, позволяющего визуальным путем исследовать в каждом событии распределение ячеек детектора, образующих адронные струи, а также наличие частиц в этих ячейках. Приводятся материалы, связанные с описанием основных элементов созданного программного пакета для визуализации струй, построенных на основе алгоритма **PYCELL**, взятого из пакета **PYTHIA** [2]. Более детальному анализу структуры адронных струй и механизма их образования путем каскадных распадов первичных частиц посвящена работа [3], где также рассмотрен второй алгоритм поиска струй **PYCLUS**, взятый из пакета **PYTHIA** [2].

## 1. ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КАЛОРИМЕТРА

Типичный калориметр (рис. 1), используемый, например, в детекторах экспериментов на встречных протон-антипротонных и протон-протонных пучках, имеет форму кольцевого цилиндра, ось которого направлена вдоль оси  $z$  системы координат. В качестве оси  $z$  обычно выбирается ось сталкивающихся пучков. Центральная «бочковая» часть имеет цилиндрический вырез вдоль оси пучка.

Поскольку центральная цилиндрическая часть калориметра имеет конечный размер, то значение полярного угла  $\theta$ , отсчитываемого от оси  $z$ , ограничено величиной  $\theta_{lim}$ , т. е. углом, под которым из центра детектора виден край внутреннего цилиндра (см. рис. 1, 2). В экспериментах для описания геометрических размеров детектора принято использовать вместо угла  $\theta$  величину псевдобыстроты  $\eta$ , определяемую по формуле  $\eta = -\ln(\text{tg}(\theta/2))$ . Значению угла  $\theta = \pi/2$  соответствует значение  $\eta = 0$ .

В поперечном (к оси пучка) сечении, то есть в плоскости  $xy$  (где ось  $x$  ориентирована из центра установки вертикально вверх, а ось  $y$  направлена в центр кольца ускорителя, рис. 2), местоположение этих ячеек удобно описывать значением угла  $\varphi$  ( $0^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$ ), который отсчитывается от верхней точки «бочки».

Сам калориметр представляет собой набор сегментированных по  $\varphi$  и  $\eta$  ячеек, или проекционных «башен», выполненных в виде трапециевидных секторов, расширяющихся в направлении от центра столкновения пучков. Типичный размер этих «башен» в  $\varphi$ - $\eta$  — пространстве порядка  $\Delta\varphi \times \Delta\eta = 0,1 \times 0,1$  (рис. 2), где угол  $\varphi$  задан в радианах (значение  $\Delta\varphi = 0,1$  соответствует углу  $\Delta\varphi = 5,625^\circ$ ). Наибольшее значение псевдобыстроты  $\eta_{lim}$  определяется величиной  $\theta_{lim}$ . Например, в проводимых на LHC экспериментах ATLAS и CMS  $|\eta_{lim}| = 5,0$ .

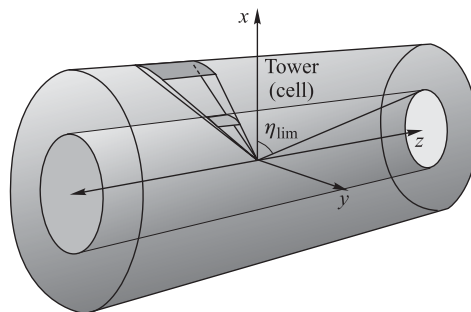


Рис. 1. Схема типичного детектора

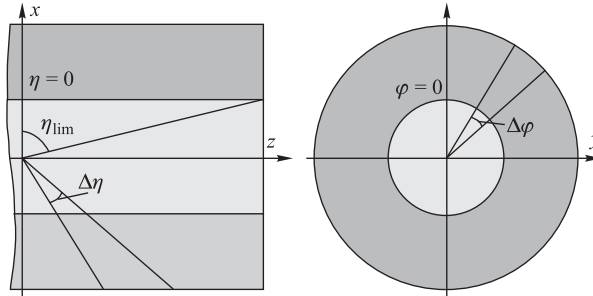


Рис. 2. Схема проекций детектора

В силу технологических аспектов геометрия (размер «башен») разных детекторов может отличаться от рассмотренной выше. На рис. 3 представлена геометрия ячеек по шкале  $\eta > 0$ , которая отражает расположение башен в эксперименте D0 (Tevatron, FNAL [4]), которая реализована в данном программном пакете.

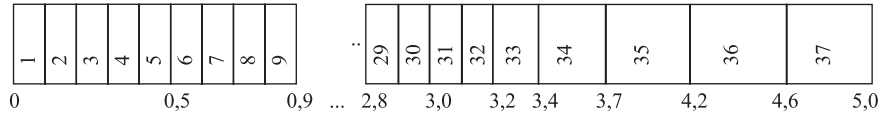



Рис. 3. Фрагмент модели калориметра

После  $\eta > 3,2$  размеры ячеек по  $\eta$  увеличиваются. То же самое справедливо и для отрицательных  $\eta$ .

Таким образом, в данном программном продукте модель калориметра, соответствующая геометрии эксперимента D0, будет состоять из  $74 \times 64$  проекционных башен. Каждой из этих башен соответствует ячейка на координатной сетке программы. Положение этих ячеек мы определяем двумя параметрами. Один из них соответствует номеру ячейки по углу  $\varphi$ , то есть  $N_\varphi$ , а другой — номеру ячейки по значению  $\eta$ , то есть  $N_\eta$ . В дальнейшем для задания местоположения ячеек калориметра мы будем пользоваться не угловыми переменными  $\varphi$  и  $\eta$ , а только лишь их номерами  $N_\varphi$  и  $N_\eta$ . Для упрощения восприятия информации эти номера будем обозначать  $\varphi$  и  $\eta$ , то есть далее, в случаях, когда это не может быть истолковано двусмысленно,  $N_\varphi \equiv \varphi$  и  $N_\eta \equiv \eta$ .

Программа разработана в инструментальной среде программирования Borland Delphi 6.0 [5–7] и не требует инсталляции.

## 2. ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ

Директория состоит из двух элементов — файла данных и пакета программ. «Клик» на иконку программы приводит к ее запуску. Появится пустое окно, содержащее в верхней части две строчки. В них расположены элементы управления, которые будут описаны ниже. «Клик» на значок  открывает окно для загрузки данных. После загрузки файла с исходными данными монте-карло-генерации событий, заполненного по формату, описанному в Приложении 1, ячейки координатной сетки заполняются данными, характеризующими импульсные и энергетические переменные попавших в них частиц в первом событии (рис. 4).

Основная информационная область программы представляет собой координатную сетку, ячейки которой соответствуют ячейкам калориметра, положение которых в пространстве определяется двумя описанными выше угловыми переменными  $\varphi \equiv N_\varphi$  и  $\eta \equiv N_\eta$ . Начало координат находится по центру нижней горизонтальной оси координатной сетки. На верхней (и нижней) горизонтальной шкале отложены номера ячеек калориметра по  $\eta$ , где  $\eta$  изменяется в пределах  $-37 \leq \eta \leq 37$ , а на правой (и левой) вертикальной — номера ячеек калориметра по  $\varphi$ :  $1 \leq \varphi \leq 64$ .

В дальнейшем будет рассматриваться случай, когда файл содержит данные, полученные путем моделирования с помощью метода Монте-Карло фи-

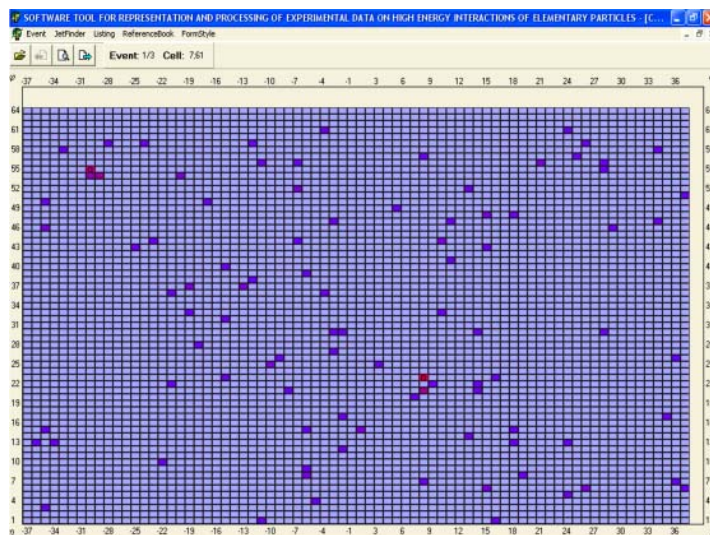


Рис. 4. Отображение физического события

зических событий адрон-адронных столкновений при высоких энергиях. При этом предполагается, что рабочий файл содержит набор событий, состоящих из списка участвующих в событии частиц, которым соответствует определенный ряд характеристик.

Цвет ячеек, соответствующих секторам, в которых были зарегистрированы частицы, может быть разным. Изначально ячейки окрашены бледно-голубым, но при заполнении информацией их цвет изменяется. Цвет ячейки находится в экспоненциальной зависимости от значения поперечного импульса частиц и варьируется от темно-синего при значениях импульса менее 0,5 ГэВ до ярко-красного при значениях импульса свыше 30 ГэВ. В результате подобной окраски ячеек четко отображается структура струи и ее размеры.

Принципиально важным для анализа свойством данного программного пакета является наличие возможности вывода подробной информации по каждой ячейке и соответствующим ей частицам (количество частиц, их наименования, значения импульсов и энергии этих частиц), а также в целом по событию.

В программе визуализации физических событий реализованы два различных алгоритма поиска и выделения адронных струй, которые используются в генераторе высокоэнергетических событий PYTHIA [2]. Результаты поиска струй подробно отображаются в итоговой таблице (рис. 5). На рис. 5 левая

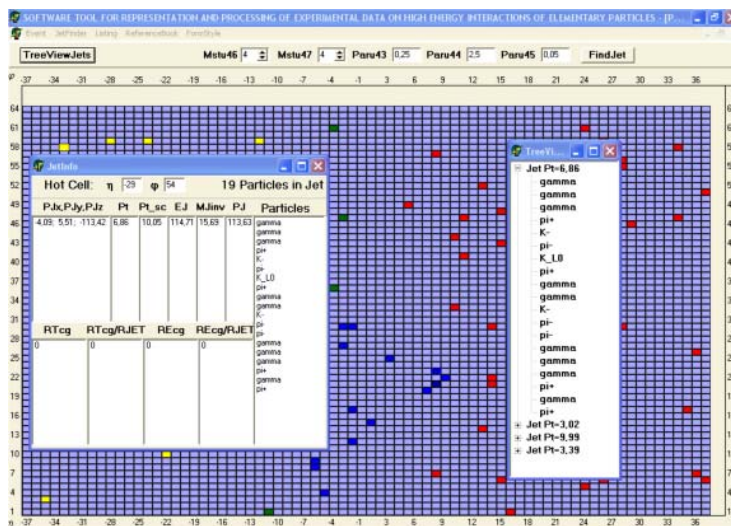


Рис. 5. Отображение адронных струй (алгоритм PYCLUS) и информационных окон

колонка **JetInfo** отображает информацию о 4-импульсе и других кинематических характеристиках струи, а также содержит название частиц, входящих в нее (см. 5.2), правая колонка **TreeViewJet** отображает найденные струи и входящие в них частицы (см. 5.3). В каждой струе выделяется ячейка, содержащая частицу-инициатор, обладающую наибольшим значением поперечного импульса  $P_t$ , а также выводится информация об окружающих ее ячейках, в которых зарегистрированы частицы, принадлежащие струе. Для алгоритма **PYCELL** написана подпрограмма проверки найденных адронных струй по критерию их изолированности [8, 9].

Подпрограммы поиска струй имеют опции, позволяющие легко изменять параметры поиска адронных струй, такие как минимальный энергетический порог на ячейку-инициатор, минимальный порог на поперечный импульс найденной струи, значение радиуса искомой струи, выбор пространственного критерия, используемого для поиска струи, допустимое значение минимального числа струй в событии, значение радиуса объединения близлежащих мини-струй в одну струю, а также другие.

В программном пакете также реализован вывод полной информации о струях и составляющих их частицах.


### 3. ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ

Интерфейс программы выполнен в соответствии с определенной последовательностью представления информации и организации управления. В элементах интерфейса используется английский язык.

Основным элементом программы является ее окно (рис. 6, а), включающее само событие и инструменты для его изучения. Окно программы состоит из двух частей. Это координатная сетка, отображающая ячеистую структуру калориметра и наполнение самих ячеек, и расположенная выше нее рамка, имеющей панель для работы с информацией, имеющей в этих ячейках:

- панель главного меню;
- панель управления;
- информационная панель;
- панель параметров.

Кратко охарактеризуем эти панели:

Панель главного меню расположена в самой верхней строке рамки и отмечена знаком . Состоит из пяти элементов: **Event**, **JetFinder**, **Listing**, **Reference Book**, **Form Style** (рис. 6, б).

Панель управления расположена в левой части второй строки рамки, состоит из четырех расположенных рядом кнопок (рис. 6, в).



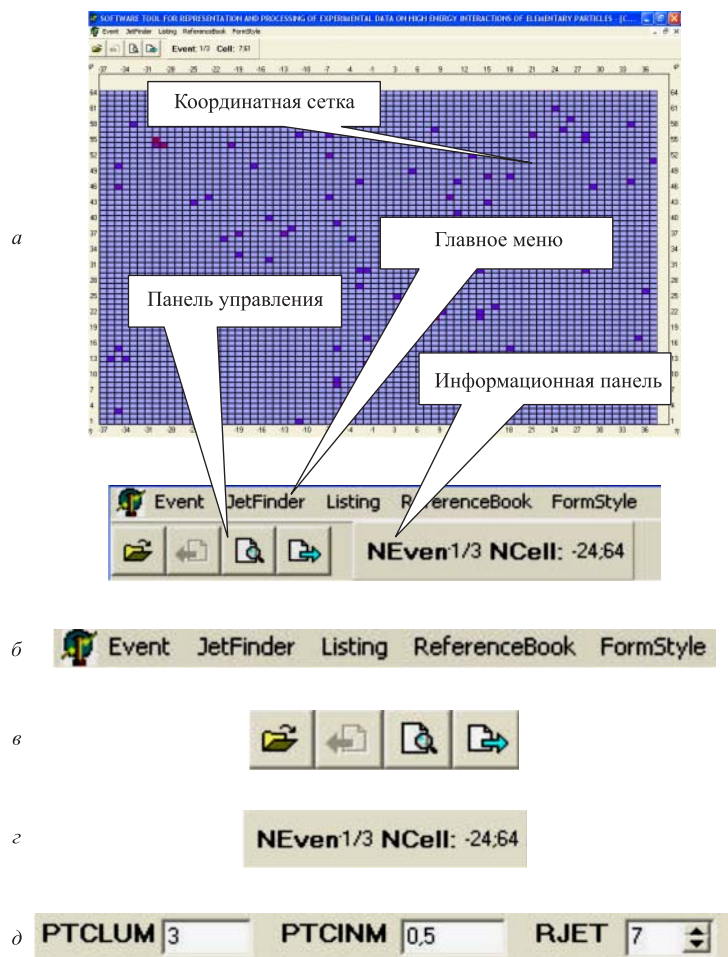


Рис. 6. *а* — основные элементы окна программы; *б* — панель главного меню; *в* — панель управления; *г* — информационная панель; *д* — панель параметров

Информационная панель расположена в правой стороне второй строки и содержит два элемента **NEvent** и **NCell** (рис. 6, *г*).

Панель параметров вызывается из окон поиска адронных струй, расположена во второй строке рамки (рис. 6, *д*).

Рассмотрим теперь подробнее назначение каждой панели.

**3.1. Главное меню.** Главное меню доступно из любого окна, оно имеет структуру:

а) **Event** — подменю, содержащее основные элементы, характеризующие события.

**Cells** — вызывает окно, которое визуализирует событие (см. разд. 4.1). В этом окне отображаются только стабильные частицы, составляющие конечное состояние.

**History** — в отличие от **Cells** отображает все частицы, как первичные, так и вторичные, которые могут поэтапно возникнуть в результате взаимодействия сталкивающихся пучков частиц. Информация о промежуточных частицах позволяет изучить происхождение частиц, в том числе образующих адронные струи. Этот элемент меню описан в [3].

Заметим по поводу этих двух окон, что если понадобится информация о содержании ячеек, то можно воспользоваться окном **CellInfo**, которое вызывается нажатием на выбранную ячейку (см. разд. 4.2)

б) **JetFinder** — подменю, которое вызывает определенные алгоритмы для поиска, анализа и отображения так называемых адронных струй.

**PYCELL** — реализация алгоритма PYCELL, взятого из пакета PYTHIA, использование критерия изолированности струй.

**PYCLUS** — реализация алгоритма PYCLUS (из PYTHIA), будет рассмотрен далее.

Отметим, что для настройки обоих алгоритмов поиска струй нужно воспользоваться панелью параметров. Панель параметров, предназначенная для изменения различных параметров программы, содержит набор полей ввода, необходимых для расчетов. Например, окно **PYCELL** содержит такие поля ввода, как минимальное значение поперечного импульса струи (**PTCLUM**), минимальное значение поперечного импульса ячейки-инициатора струи (**PTCINM**) в единицах ГэВ, радиус струи (**RJET**) (рис. 6, д). Для исследования «изолированности» струи, т. е. энергетического содержания в прилегающей к ней области, можно воспользоваться окном **Critetion** (см. разд. 5.2). Окна **PYCELL** и **PYCLUS** содержат кнопки **FindJet**, служат для запуска алгоритмов поиска струй (см. разд. 5.1), и **TreeViewJets**, используется для отображения информации о составе струй (см. разд. 5.3).

в) **Listing** — подменю, содержащее разного рода списки, подробно будет рассмотрена во второй части работы.

**EventListing** — отображение входного (исходного) списка, который создается генератором PYTHIA, содержащий информацию об изучаемом событии и частицах, рожденных в каждом из этих событий.

**Particles** ( $\eta > 5$ ) — выдает информацию о частицах, которые выходят за рамки обработки информации, что обусловлено отсутствием регистрирующей аппаратуры детектора в области  $\eta > 5$ .

**ReferenceBook** — справочник.

**KF** — содержит информацию о различных частицах и их кодах. Например, flavour code — код аромата партона-родителя.

**FormStyle** — способы отображения окон.

**Cascad** — «каскадный» способ,

**Vertical** — «вертикальный» способ.

**3.2. Панель управления.** Панель управления программы представляет собой ряд из четырех расположенных горизонтально кнопок, отмеченных соответствующими пиктограммами или названиями. Каждая кнопка снабжена необходимой всплывающей подсказкой. Наличие пиктограмм и подсказок позволяет значительно упростить работу с программой.

Нажатие кнопок вызывает следующие действия:



вызов стандартного диалога для открытия файла с данными моделирования или эксперимента и начала работы с ними;



возврат к анализу данных по предыдущему событию;



вывод дополнительной информации по текущему событию;



переход к анализу данных по следующему событию.

Стоит отметить, что для разных окон вариация элементов управления может быть различной.

**3.3. Информационная панель.** На информационной панели (рис. 6, 2) элемент **NEvent** отображает порядковый номер текущего события (1) и общее количество событий (3), а элемент **NCell** отображает координаты ячейки, на которую сейчас наведен курсор мыши:  $\eta = -24$ ,  $\phi = 64$ .

**3.4. Координатная сетка.** Координатная сетка представляет собой таблицу из  $72 \times 64$  ячеек установленного размера. Каждая ячейка обладает уникальными координатами, которые отмечены на вертикальных и горизонтальных шкалах. При наведении курсором мыши на любую ячейку ее координаты отображаются на информационной панели.

**3.5. Способы отображения окон.** Для удобной работы с объектами программы предоставляется возможность управлять расположением окон. Существует две возможности: расположение окон каскадом и вертикально (рис. 7).

## 4. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СОБЫТИЯ

**4.1. Просмотр данных по событию.** После открытия файла с данными о кинематике рожденных в сгенерированном физическом событии частиц или с экспериментальными данными автоматически загружается координатная сетка, которая заполнена данными по ячейкам, в которые попали частицы первого события.

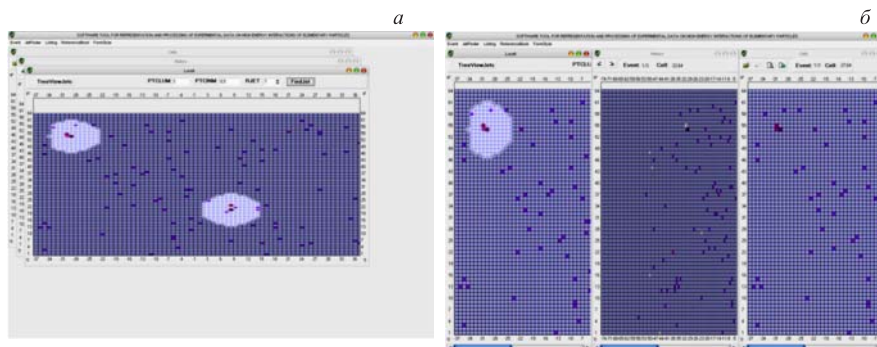


Рис. 7. Каскадное (а) и вертикальное (б) расположение окон

Для того чтобы получить дополнительную информацию о текущем событии, необходимо нажать на следующую кнопку панели управления окна **Cells**:



вывод дополнительной информации о текущем событии.

Ее нажатие приводит к появлению на экране окна **EventValues** (рис. 8), которое содержит (все импульсные и энергетические переменные приводятся в единицах ГэВ):

- $N_{ev}$  — порядковый номер просматриваемого события в выбранном файле;
- $P_X^{miss}$ ,  $P_Y^{miss}$ ,  $P_Z^{miss}$  —  $x$ -,  $y$ -,  $z$ -компоненты суммарного импульса нерегистрируемых в детекторе частиц;
- $P_t^{miss}$  — значение суммарного поперечного импульса нерегистрируемых в детекторе частиц (при  $|\eta| > 5$ );
- $E^{miss}$  — значение суммарной энергии нерегистрируемых в детекторе частиц;
- $M^{miss}$  — значение массы нерегистрируемых в детекторе частиц.

#### 4.2. Отображение информации о частицах, принадлежащих ячейке.

При нажатии левой кнопкой мыши на любую из ячеек окна **Cells**, а также **History** появится окно **CellInfo** со списком частиц, попавших в эту ячейку. Сама же ячейка становится выделенной — обводится светлым контуром (рис. 9).

Для каждой частицы отображаются следующие ее параметры:

- **Name** — название частицы;

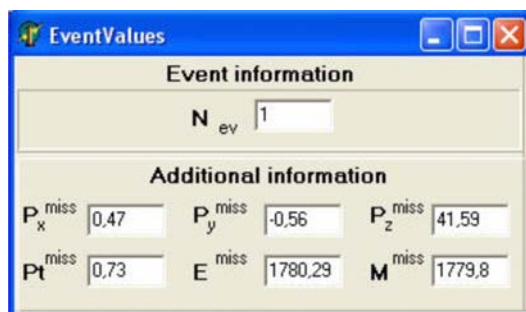

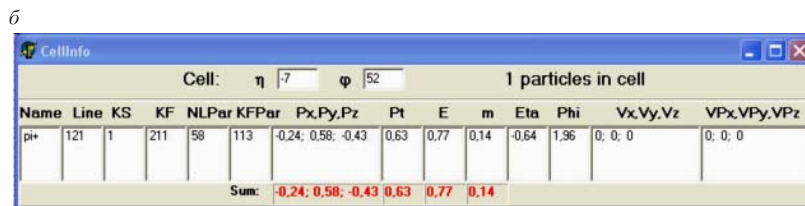
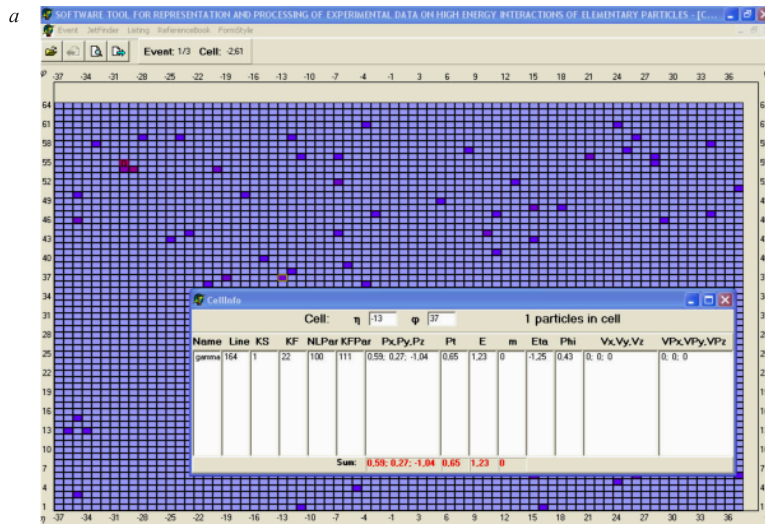


Рис. 8. Вывод дополнительной информации по событию, окно **EventValues** вызывается из окна **Cells** нажатием на кнопку 

- **Line** — номер линии частицы в списке EventListing;
- **KS** — PYTHIA — код стабильности частицы;
- **KF** — PYTHIA — код аромата частицы;
- **NLPar** — номер линии частицы-родителя в списке EventListing;
- **KFPar** — PYTHIA — код частицы-родителя;
- $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  — координатные компоненты вектора импульса частицы;
- **Pt** — поперечный импульс частицы;
- **E** — энергия частицы;
- **m** — масса частицы;
- **Eta** — значение координаты  $\eta$  частицы;
- **Phi** — значение координаты  $\phi$  частицы;
- $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  — пространственные компоненты 3-вектора положения вершины рождения частицы;
- $VP_x$ ,  $VP_y$ ,  $VP_z$  — пространственные компоненты 3-вектора положения вершины рождения частицы-родителя;

а также параметры самой ячейки — координаты ( $\eta$  и  $\phi$ ), общее количество частиц и их суммарные величины (**Sum**, выделены красным цветом), такие как суммарный поперечный импульс, энергия, масса (рис. 9,  $\sigma$ ).



*в* **Sum: -0.24; 0.58; -0.43 0.63 0.77 0.14**

Рис. 9. *a* — отображение информации о выделенной ячейке; *b* — вызов окна CellInfo из окна Cells (History) нажатием на выбранную ячейку; *в* — суммарные величины частиц окна CellInfo

## 5. ПОИСК И ОТОБРАЖЕНИЕ АДРОННЫХ СТРУЙ

**5.1. Алгоритм поиска адронных струй PYCELL.** Описание основных принципов построения алгоритма PYCELL можно найти в [2].

Для начала работы необходимо:

- 1) выбрать из подменю **JetFinder** главного меню пункт **PYCELL**, после чего откроется окно для поиска и отображения адронных струй;
- 2) заполнить соответствующие поля ввода панели параметров (или оставить их по умолчанию), см. замечание к пункту б разд. 3.1,

3) нажать на кнопку **FindJet**.

Значения поля ввода **RJET** можно изменять как с помощью цифровой клавиатуры, так и нажимая соответствующие кнопки с треугольниками, справа от полей (диапазон изменения значений **RJET** — от 1 до 15, что соответствует физическому изменению радиуса конуса струи от  $R = 0,1$  до 1,5). При нажатии на эти кнопки значение увеличится или уменьшится на 1.

Концентрическими окружности отображаются найденные струи. Изменяя значения параметров, можно получать разные результаты. После изменения параметров необходимо нажать на кнопку **FindJet** (при изменении только радиуса нажимать на кнопку не обязательно).

Теперь появляются дополнительные элементы управления, позволяющие проанализировать полученные результаты.

Кнопка **TreeViewJet** позволяет вызвать окно, отображающее информацию о струях, содержащихся в выбранном событии и их составляющих.

**JetCount** отображает количество найденных струй.

Результат показан на рис. 10. Это то же самое событие **NEvent** = 1, что было представлено на рис. 6, но теперь на нем белым показаны две струи.

**5.2. Критерий изолированности струй.** Рассматривается расстояние  $R_J$  в  $\eta - \varphi$ -пространстве

$$R_J(\eta; \varphi) = \sqrt{(\Delta\eta)^2 + (\Delta\varphi)^2}, \quad (1)$$

отсчитываемое от центра ячейки-инициатора до края струи. Накладывается требование, чтобы в некотором кольце шириной  $\Delta R$ , кратном размеру одной ячейки калориметра детектора, отсчитываемой от края струи, содержалось энерговыделение, не превосходящее 3–8% от энергии струи. При выполнении поставленного требования найденный объект считается изолированной адронной струей.

Для получения результатов алгоритма анализа струи необходимо нажать на правую кнопку мыши в области струи, появится кнопка **Critetion**. При нажатии на данную кнопку будет вызвано окно, в котором необходимо указать ширину кольца (**Radius**, в ячейках) и нажать на кнопку **OK** (рис. 11). В результате произойдет расчет суммарного поперечного импульса (**PT**), энергетического вклада (**E**) в струю для круга радиуса **RJET** и кольца шириной **RADIUS** (отсчитываемой от размера струи с радиусом **RJET** в единицах размера ячейки), а также процентного соотношения между этими величинами (**RJET/RADIUS**). В таблице **RJET** и **RADIUS** выражены в абсолютном значении.

**5.3. Отображение информации о струе и принадлежащих ей частицах.**

При нажатии левой клавиши мыши в области выделения струи появится окно **JetInfo**, которое содержит исчерпывающую информацию о струе и ее составе

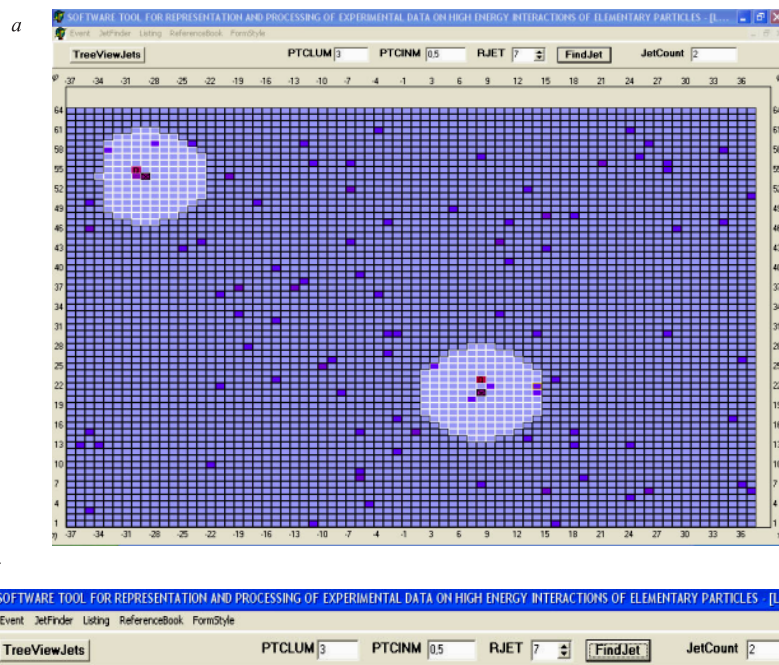


Рис. 10. *a* — отображение адронных струй (алгоритм **PYCELL**), окно вызывается из пункта **PYCELL** подменю **JetFinder** главного меню; *b* — элементы управления окна

**Crition(PYCELL)**

Radius 3

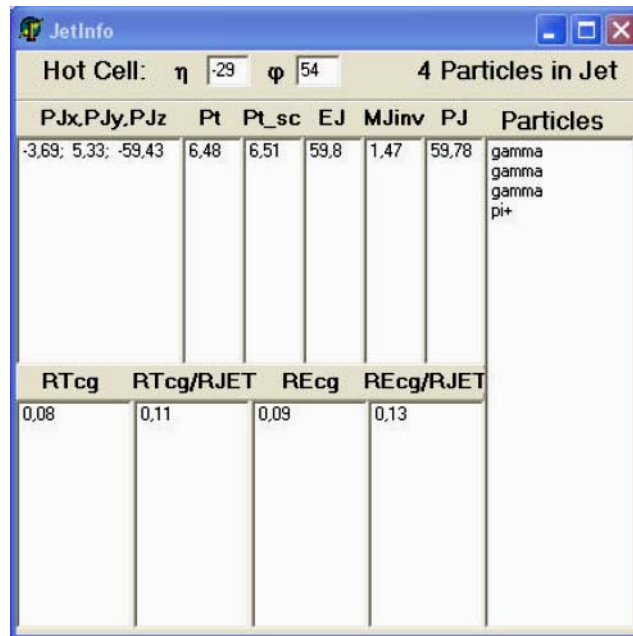
JET	RJET = 7	RADIUS = 3	RADIUS/RJET, %
E	59.8	2.64	4.41
PT	6.48	0.64	9.88

Рис. 11. Критерий изолированности адронных струй, окно вызывается из окна **PYCELL** нажатием правой клавиши мыши в отмеченной области струи

(рис. 12). Если нажать кнопку мыши вне области, то никаких действий не произойдет.

Окно **JetInfo** содержит следующую информацию:





Hot Cell: η -29 φ 54		4 Particles in Jet					
P.Jx,P.Jy,P.Jz	Pt	Pt_sc	EJ	MJinv	PJ	Particles	
-3.69; 5.33; -59.43	6.48	6.51	59.8	1.47	59.78	gamma gamma gamma pi+	
RTcg		RTcg/RJET	REcg	REcg/RJET			
0,08		0,11	0,09	0,13			

Рис. 12. Отображение информации о струе, окно **JetInfo** вызывается из окна **PYCELL** (**PYCLUS**) нажатием левой клавиши мыши в области выделения струи

- **HotCell** — координаты ячейки с максимальным энерговыделением. Эта ячейка-инициатор является центром, от которого расходятся концентрические круги;
- **Particles in Jet** — количество частиц, входящих в струю;
- **PJ<sub>x</sub>, PJ<sub>y</sub>, PJ<sub>z</sub>** — компоненты вектора суммарного импульса струи;
- **PJ** — модуль суммарного импульса струи

$$PJ = \sqrt{PJ_x^2 + PJ_y^2 + PJ_z^2}; \quad (2)$$

- **Pt** — модуль суммарного вектора поперечного импульса струи

$$Pt = \sqrt{PJ_x^2 + PJ_y^2}; \quad (3)$$

- **Pt\_sc** — суммарный скалярный поперечный импульс струи, т. е. сумма модулей поперечных импульсов индивидуальных частиц;
- **EJ** — полная энергия струи;

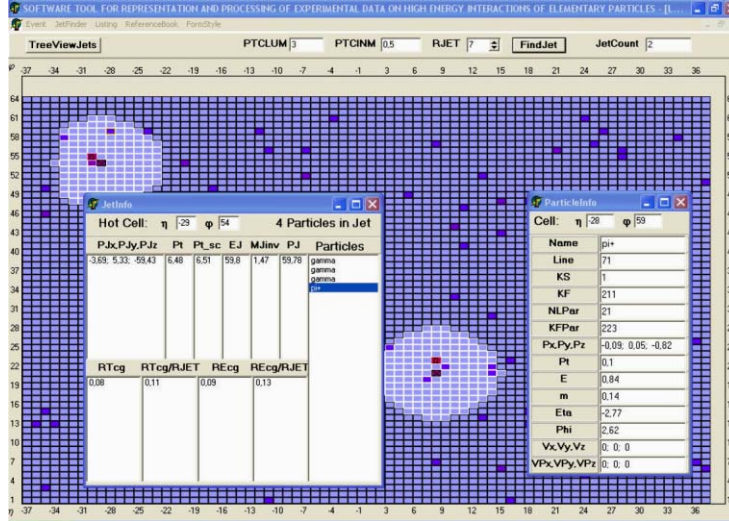


Рис. 13. Отображение информации о частице, принадлежащей струе

- **M<sub>Jinv</sub>** — инвариантная масса струи

$$MJ_{inv} = \sqrt{E_J^2 - PJ_x^2 - PJ_y^2 - PJ_z^2}, \quad (4)$$

- **Particles** — название частиц, которые входят в струю;
- **RT<sub>cg</sub>** — взвешенный радиус струи, отсчитываемый от ее центра тяжести, определенного с помощью значений поперечного импульса, используемого в качестве весового фактора;
- **RT<sub>cg</sub>/RJET** — отнормированный по RJET взвешенный радиус;
- **RE<sub>cg</sub>** — взвешенный радиус струи, отсчитываемый от ее центра тяжести, определенного с помощью значений энергии, используемой в качестве весового фактора;
- **RE<sub>cg</sub>/RJET** — отнормированный по RJET взвешенный радиус.

Значения взвешенных радиусов струи рассчитываются по следующим формулам [6, 7]:

$$RT_{cg} = \frac{\sum Pt_i R_i ic}{\sum Pt_i}, \quad (5)$$

$$RE_{cg} = \frac{\sum E_i R_i ic}{\sum E_i}, \quad (6)$$

The screenshot shows a window titled "ParticleInfo" with a blue title bar. At the top, there are two input fields: "Cell: η" with the value "28" and "φ" with the value "59". Below these is a table with the following data:

Name	pi+
Line	71
KS	1
KF	211
NLPar	21
KFPar	223
Px,Py,Pz	-0,09; 0,05; -0,82
Pt	0,1
E	0,84
m	0,14
Eta	-2,77
Phi	2,62
Vx,Vy,Vz	0; 0; 0
VPx,VPy,VPz	0; 0; 0

Рис. 14. Окно **ParticleInfo** вызывается из окна **JetInfo** при нажатии левой кнопки мыши на любую частицу из списка **Particles**

где  $Pt_i$  — значение модуля суммарного поперечного импульса текущей ячейки.  $E_i$  — суммарное значение энергии текущей ячейки.  $R_{ic}$  — расстояние в  $\eta - \varphi$ -пространстве, отсчитываемое от центра ячейки-инициатора (ic – initial cell) до текущей ячейки  $i$ -струи.

Суммирование производится по всем ячейкам, входящим в струю.

При нажатии левой кнопкой мыши на любую частицу из списка **Particles** (см. правую колонку в окне **JetInfo**) откроется окно **ParticleInfo** (см. правую колонку на координатной сетке рис. 13, рис. 14), содержащее полное описание характеристик выбранной частицы из струи, на координатной сетке выделится соответствующая ячейка (рис. 13).

Окно **ParticleInfo** отображает следующую информацию о частице:

- **Cell** —  $\eta - \varphi$ -координаты ячейки, содержащей эту частицу;
- **Name** — название частицы;
- **Line** — номер линии частицы в списке EventListing;

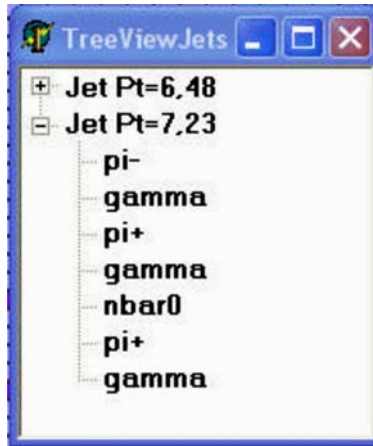


Рис. 15. Окно **TreeViewJets**, вызывается при нажатии на кнопку **TreeViewJets** окна **PYCELL (PYCLUS)**

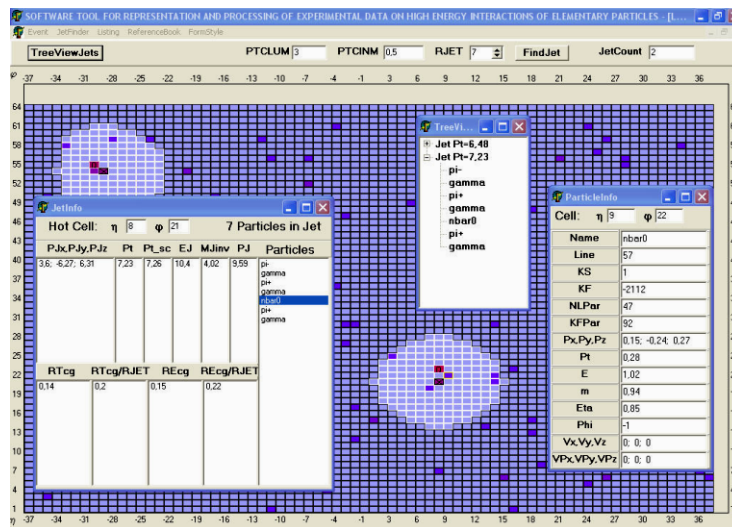


Рис. 16. Иерархическое отображение информации о найденных струях: окна **JetInfo** (рис. 12), **ParticleInfo** (рис. 14), **TreeViewJets** (рис. 15)

- **KS** — PYTHIA – код стабильности частицы;
- **KF** — PYTHIA – код аромата частицы;

- **NLP**ar — номер линии частицы-родителя в списке EventListing;
- **KFP**ar — PYTHIA – код частицы-родителя;
- **P<sub>x</sub>**, **P<sub>y</sub>**, **P<sub>z</sub>** — координатные компоненты вектора импульса частицы;
- **P**t — поперечный импульс частицы;
- **E** — энергия частицы;
- **m** — масса частицы;
- **E**ta — значение координаты  $\eta$  частицы;
- **P**hi — значение координаты  $\varphi$
- **V<sub>x</sub>**, **V<sub>y</sub>**, **V<sub>z</sub>** — пространственные компоненты 3-вектора положения вершины рождения частицы;
- **VP<sub>x</sub>**, **VP<sub>y</sub>**, **VP<sub>z</sub>** — пространственные компоненты 3-вектора положения вершины рождения частицы-родителя.

При нажатии на кнопку **TreeViewJets** откроются окна **JetInfo** (рис. 12) и **TreeViewJets** (рис. 15). Рассмотрим второе окно. Здесь представлена вся информация о струях события, а также о частицах, из которых они состоят, в иерархическом виде. На первом уровне иерархии отображены все струи события со значениями поперечного импульса, на втором – отражены названия частиц, из которых состоит рассматриваемая струя (рис. 16).

При нажатии на область, обозначающую струю, автоматически будет отображаться окно **JetInfo**, при нажатии на название частицы из списка частиц Particles — окно **ParticleInfo**.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный программный пакет полностью отвечает поставленным требованиям, а именно осуществляет наглядное представление и экспресс-анализ информации как о событиях, сгенерированных программным пакетом PYTHIA, так и о зарегистрированных реальным калориметром детектора.

Таким образом, программный пакет позволяет:

- отображать на координатной сетке энергетическое выделение в ячейках калориметра детектора посредством цветовых гамм;
- выводить исчерпывающую информацию по каждой из частиц, а также по каждой из ячеек детектора;

- осуществлять поиск адронных струй (алгоритм **PYCELL**);
- проводить анализ состава струи и энергетического распределения частиц, а также выводить подробную таблицу результатов анализа;
- отображать в случае использования генератора событий списки частиц с указанием кодов частиц, компонент их четырех импульсов, поперечного импульса и другой информации;
- свободно передвигаться по списку событий, динамически изменяя заполнение координатной сетки.

Вопросы, связанные со структурой струй и их образованием, рассмотрены в [3].

В дальнейшем предполагается расширить число алгоритмов поиска адронных струй в программном пакете, а также рассмотреть иные формы отображения информации, например диаграммы.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

**Формат входного файла.** Входной файл состоит из набора строк. Каждая строка содержит 20 параметров, которые характеризуют отдельную частицу определенного события.

- IEV — номер события;
- I — номер линии частицы в списке;
- KS — код стабильности частицы;
- KF — код аромата частицы;
- NLPar — номер линии частицы-родителя;
- KFPar — код аромата частицы-родителя;
- Eta — значение координаты  $\eta$  частицы;
- Phi — значение координаты  $\varphi$  частицы;
- Px —  $x$ -компонента вектора импульса частицы;
- Py —  $y$ -компонента вектора импульса частицы;
- Pz —  $z$ -компонента вектора импульса частицы;

- $E$  — энергия частицы;
- $AM$  — масса частицы;
- $P_t$  — поперечный импульс частицы;
- $V_x$  — вершина рождения частицы ( $x$ -компонента);
- $V_y$  — вершина рождения частицы ( $y$ -компонента);
- $V_z$  — вершина рождения частицы ( $z$ -компонента);
- $VP_x$  — вершина рождения частицы-родителя ( $x$ -компонента);
- $VP_y$  — вершина рождения частицы-родителя ( $y$ -компонента);
- $VP_z$  — вершина рождения частицы-родителя ( $z$ -компонента).

Файл должен заканчиваться выражением «IEV» =  $n$ , где  $n$  — число событий в файле.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Черепанов Е. О., Скачков Н. Б.* Программный пакет для представления и обработки экспериментальных данных высокоэнергетических взаимодействий элементарных частиц. ОИЯИ, P10-2002-279. Дубна, 2002.
2. Программный пакет PYTHIA  
<http://www.thep.lu.se/~torbjorn/>
3. *Верхеев А. Ю., Скачков Н. Б.* Сообщение ОИЯИ P10-2009-77, Дубна, 2009.
4. Сайт Национальной лаборатории им. Ферми (FNAL, Fermilab, США);  
<http://www.fnal.gov/>
5. *Ларман К.* Применение UML и шаблонов проектирования. Введение в объектно-ориентированный анализ и проектирование. М.: Вильямс, 2001.
6. *Фаулер М.* Рефакторинг: улучшение существующего кода. СПб: Символ-Плюс, 2003.
7. Иллюстрированный самоучитель по Delphi 7 для профессионалов  
<http://ad.cctpu.edu.ru/SSP/Prof/index.html>
8. *Bandurin D., Konoplyanikov V., Skachkov N.* «Gamma + jet» process application for setting the absolute scale of jet energy and determining the gluon distribution at the LHC. Dubna: JINR, 2002; e-Print Archive: hep-ex/0207034.
9. *Bandurin D. V., Skachkov N. B.* «Gamma + Jet» Event Rate Estimation for Gluon Distribution Determination at the Tevatron Run II. Dubna: JINR, E2-2002-154. 2002.

Получено 27 января 2009 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 4.06.2009.

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

Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,83. Тираж 290 экз. Заказ № 56619.

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

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)