

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. М.В.ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Д.В.СКОБЕЛЬЦЫНА

И.П.Лохтин, Л.И.Сарычева, К.Ю.Теплов

**Определение центральности  
в соударениях тяжелых ионов  
с помощью передних калориметров  
установки CMS на LHC**

Препринт НИИЯФ МГУ 2004-22/761

И.П.Лохтин, Л.И.Сарычева, К.Ю.Теплов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ  
В СОУДАРЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ  
С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕДНИХ КАЛОРИМЕТРОВ  
УСТАНОВКИ CMS НА LHC**

Препринт НИИЯФ МГУ 2004-22/761

Москва  
2004

I.P.Lokhtin, L.I.Sarycheva, K.Yu.Teplov

*E-mail: igor@lav01.sinp.msu.ru, lis@alex.sinp.msu.ru,  
teplov@lav01.sinp.msu.ru*

### Centrality determination in heavy ion collision with forward calorimeters of CMS at the LHC

Preprint SINP MSU 2004-22/761

#### Abstract

The possibility for centrality determination in heavy ion collision with forward calorimeters (HF, CASTOR) of CMS detector system is analyzed. Methodic is based on correlation between impact parameter and total (transverse) energy flow in forward calorimeters (pseudorapidity range  $3.0 \leq |\eta| \leq 6.7$ ). The possibility for centrality determination using correlation between impact parameter and number of nucleons which have not interacted in collision was also studied. Calculated resolution for centrality determination is above 0.8 fm for all centralities.

И.П.Лохтин, Л.И.Сарычева, К.Ю.Теплов

### Определение центральности в соударениях тяжелых ионов с помощью передних калориметров установки CMS на LHC

Препринт НИИЯФ МГУ 2004-22/761

#### Аннотация

В работе анализируется возможность определения центральности ядро-ядерного взаимодействия с помощью передних калориметров установки CMS на коллайдере LHC. Методика основана на корреляции параметра удара и выделяющейся полной (поперечной) энергии в передних калориметрах (область псевдобыстрот  $3.0 \leq |\eta| \leq 6.7$ ) установки CMS (HF, CASTOR). Также рассматривается возможность определения параметра удара по корреляции параметра удара и количества не взаимодействовавших нуклонов в соударении. Было получено, что точность нахождения параметра удара составляет порядка 0.8 фм для всего диапазона центральности.

© НИИЯФ МГУ, 2004

© Лохтин И.П., Сарычева Л.И., Теплов К.Ю., 2004

## 1 Введение: описание CMS-эксперимента

В настоящее время Европейским Центром Ядерных Исследований (CERN) проводятся работы по постройке Большого Адронного Коллайдера (Large Hadronic Collider, LHC) [1]. Энергия столкновения протонов в системе центра масс будет равной  $\sqrt{s} = 14$  ТэВ (7 ТэВ + 7 ТэВ). LHC будет работать в двух режимах: высокой и низкой светимости. В столкновениях протонов будут достигнуты светимости  $L_H = 10^{34}$  см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup> и  $L_L = 10^{33}$  см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup> соответственно.

Ускоритель будет использоваться также для изучения столкновений тяжелых ионов. Энергия, которая в этом случае будет достигнута для ядер,  $\sqrt{s} = (2.75A + 2.75A)$  ТэВ. Светимость будет меньше, чем для случая протон-протонных столкновений, и составит, например для столкновений свинец-свинец,  $L_{ii} \leq 10^{27}$  см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup>.

В ЦЕРН'е на LHC создается установка Компактный Мюонный Соленоид (Compact Muon Solenoid, CMS) [2, 3]. Для компактности конструкции используется сильное магнитное поле, которое генерируется с помощью соленоида. Длинный (около 14 метров) соленоид большого радиуса (около 3 метров) с сверхпроводящей обмоткой создаст магнитное поле 4 Тесла,

Внутри обмотки соленоида будут располагаться (см.рис.1):

- трековый детектор (ТК) [4];
- электромагнитный калориметр (ECAL: EB, EE) [5];
- адронный калориметр (HCAL: HB, HE) [6].

За пределами обмотки соленоида будут находиться:

- мюонные камеры (MB, ME) [7];
- передние калориметры (HF, CASTOR) [6, 8].

Целью данной работы является определение точности нахождения параметра удара с помощью передних калориметров — HF (Hadron Forward) и CASTOR (Centrauro And Strange Object Research), являющихся передней частью HCAL — адронного калориметра.

## 2 Передние калориметры

### 2.1 HF-калориметр

HF-калориметр покрывает область псевдобыстрот  $3 \leq |\eta| \leq 5$  ( $\Delta\eta = 2$ ). Он имеет секторную структуру, изображенную на рис.2. Калориметр сегментирован на 12 частей по  $\eta$  и на 36 частей по  $\varphi$ , что дает  $36 \times 12 = 862$  башни. Соответственно размер каждой башни 0.167 по  $\eta$  и  $2\pi/36 = 0.175$  по  $\varphi$ .

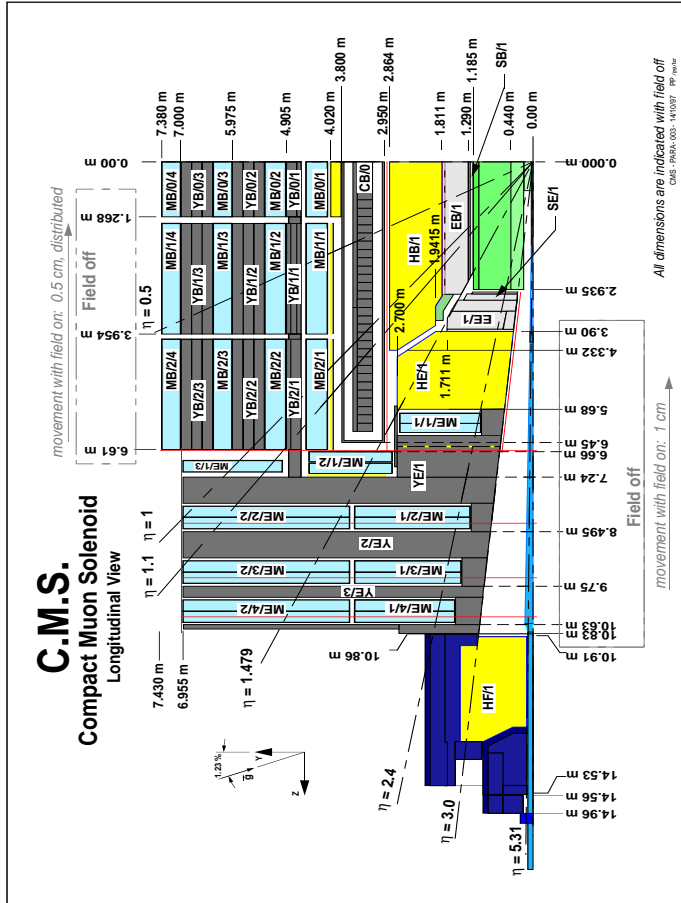


Рис. 1: Установка CMS (продольный разрез).

Принцип работы переднего калориметра основан на регистрации черенковского излучения в кварцевых волокнах, вставленных в отверстия в железном поглотителе под углом  $0^\circ$  по отношению к оси пучка и выводимых назад от точки взаимодействия. Размеры длинных и коротких волокон соответственно 165 см и 143 см. Расположение кварцевых волокон показано на рис.3а) и 3б).

В качестве полезного сигнала в HF-калориметре используется свет, возникающий при пересечении релятивистскими частицами кварцевых волокон. Благодаря специальному покрытию с более низким, чем у кварца, коэффициентом преломления происходит захват части света и его транспортировка к фотоприемнику. Таким образом, волокно выступает как активная среда и как световод. Благодаря практически мгновенному излучению черенковского света при пересечении волокна длительность сигнала определяется свойствами фотоприемника и может быть доведена до 20 нс. Тем самым возможно свести к минимуму перекрытие по времени сигналов от событий из разных пучковых взаимодействий.

Другие важные особенности калориметра также вытекают из свойств черенковского излучения. Свет излучается в направлении движения частицы вдоль поверхности конуса, определяемого углом  $\theta_{Ch} = \arccos(\frac{1}{n\beta})$ , где  $n$  — коэффициент преломления вещества, а  $\beta = \frac{v}{c}$ . Для типичных значений  $n \approx 1.4$  пороговая скорость дает  $\beta \approx 0.7$ , что делает черенковский калориметр (в отличие от технологии, основанной на измерении ионизационных потерь) нечувствительным к значительной части мягких электронов и большинству адронов в ливне.

Особенностью черенковского калориметра является крайне малый световой выход на единицу энергии. При низкой энергии частиц количество фотоэлектронов мало, и это влияет на разрешение калориметра.

Передний HF-калориметр предназначен для измерения потоков полной энергии  $E$  и поперечной энергии  $E_T = \sum_i E_T^i$  ( $E_T^i = E^i \cdot \sin\theta_i$  — поперечная энергия частицы,  $E^i$  — полная энергия частицы,  $\theta_i$  — полярный угол частицы) и регистрации струй в области псевдобыстрот  $3.0 \leq |\eta| \leq 5.0$ , а также может служить для определения потерянной энергии  $E_T^{miss}$ :

$$E_T^{miss} = E_T^0 - E_T^{reg} = E_T^0 - (E_T^{HB} + E_T^{HE} + E_T^{HF} + E_T^{CASTOR}),$$

где  $E_T^0$  — полная поперечная энергия,  $E_T^{reg}$  — регистрируемая поперечная энергия,  $E_T^{HB}$  и  $E_T^{HE}$  — поперечные энергии, выделившиеся в центральной и торцевой частях соответственно,  $E_T^{HF}$  и  $E_T^{CASTOR}$  — поперечная энергия, выделившаяся в калориметрах HF и CASTOR соответственно.

В области псевдобыстрот  $3 \leq |\eta| \leq 7$  происходит наибольшее выделение энергии в установке CMS ( $\sim 80\%$ ) по сравнению с центральной ее частью.

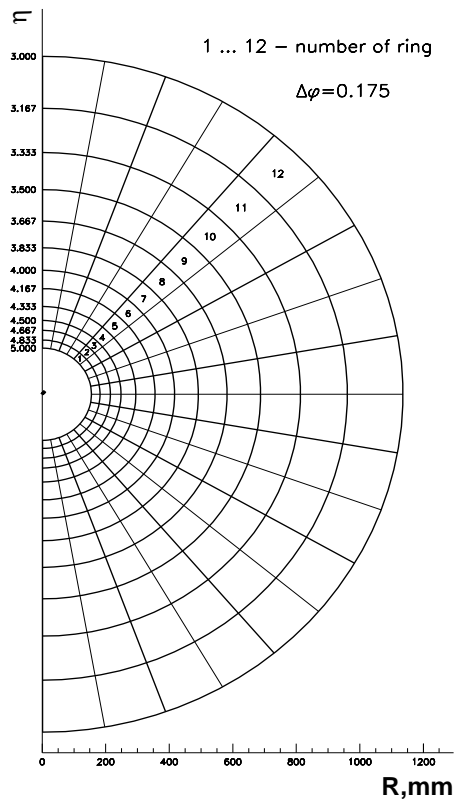


Рис. 1: Секторная структура HF-калориметра (поперечный разрез половины калориметра). 1 ... 12 — номера колец по  $\eta$ .

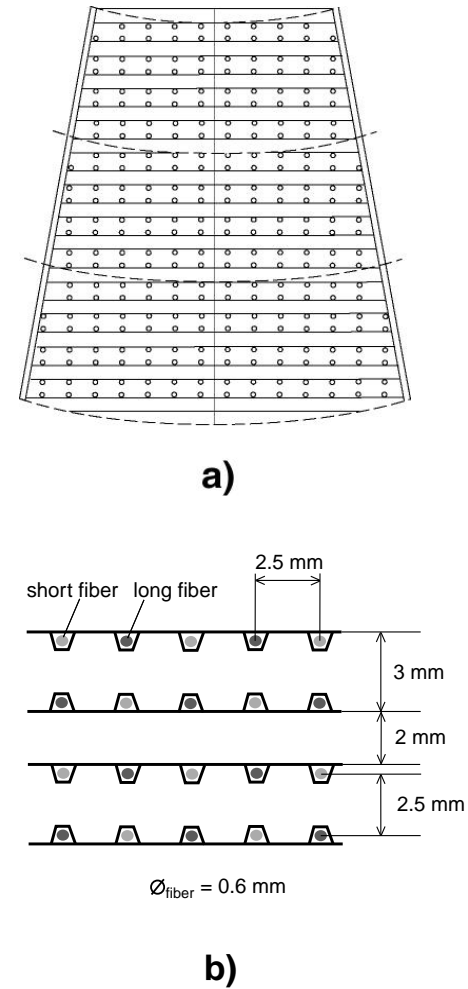


Рис. 2: а) Разрез сектора, состоящего из двух секций; б) разрез секции с отверстиями для кварцевых волокон (short fiber — короткое волокно, long fiber — длинное волокно).

## 2.2 Калориметр CASTOR

Калориметр CASTOR, покрывая область псевдобыстрот  $5.3 \leq |\eta| \leq 6.7$  ( $\Delta\eta = 1.4$ ), будет располагаться за HF-калориметром и состоять из двух идентичных калориметров (в областях  $+\eta$  и  $-\eta$ ), расположенных на расстоянии 14.37 метров от точки соударения ядер (см.рис.4).

CASTOR представляет собой совокупность электромагнитного и адронного калориметров, азимутально симметричных относительно оси пучка. CASTOR разделен на 8 азимутальных секторов, а в продольной плоскости сегментирован на 12 секций для измерения образующихся и распространяющихся ливней (см. рис.5). Калориметр составлен из слоев пластин вольфрама свинца ( $PbWO_4$ ), выступающих в роли поглотителя, и кварцевых пластин как активной среды. Сигналом является черенковский свет, порожденный прохождением заряженных частиц ливня через кварц. Свет собирается в секциях вдоль всей длины калориметра. Слои наклонены на  $45^\circ$  к ударяющимся частицам для максимизации выхода черенковского света.

Основные задачи, которые могут быть исследованы с помощью калориметра CASTOR в  $pp$  соударениях, включают изучение [8]:

- распределения партонов с малыми  $x$  (переменная Фейнмана) в протоне;
- процессов обмена жесткими померонами;
- дифракционных процессов;
- потоков энергии, уносимой лидирующими частицами (при больших значениях псевдобыстроты);
- экзотических явлений в переднем регионе псевдобыстрот, таких как Центавры и конденсат с нарушенной киральной симметрией,

а также измерение светимости через КХД-процессы ( $pp \rightarrow pp e^+e^-$ ).

В ядро-ядерных соударениях с помощью калориметра CASTOR предполагается изучать [8]:

- распределение партонов в ядре при очень малых  $x$ ;
- поток полной и поперечной энергии;
- периферические и ультрапериферические соударения;
- "цветовой" конденсат;
- экзотические явления, такие как Центавры, Странжелеты, конденсат с нарушенной киральной симметрией.

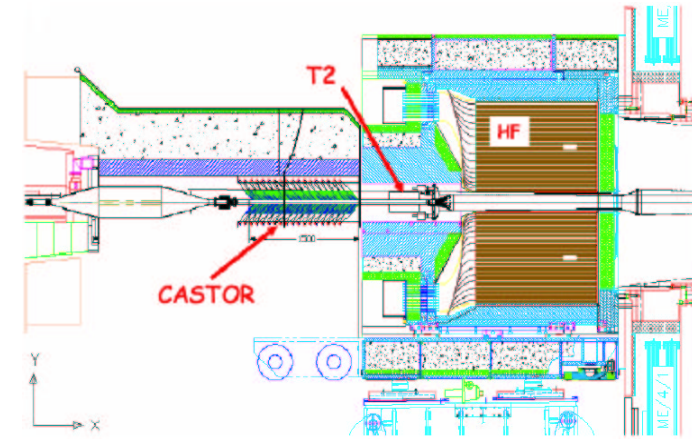


Рис. 3: Расположение калориметра CASTOR.

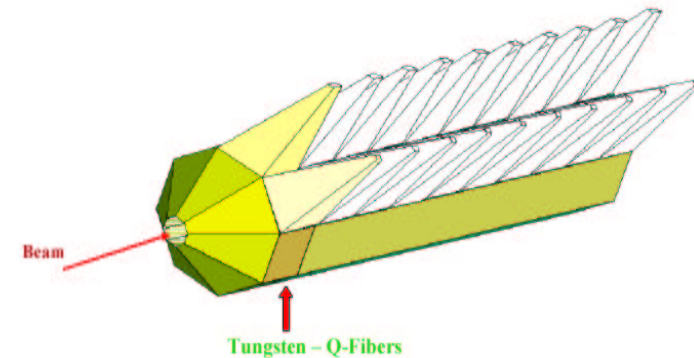


Рис. 4: Секторная структура калориметра CASTOR.

### 3 Моделирование Pb–Pb-соударений с помощью генератора HIJING. Расчет точности определения параметра удара

Задачей данной работы является определение параметра удара с помощью передних калориметров установки CMS на коллайдере LHC. Исходя из знания этой характеристики, можно судить о возникающих при соударениях ультрарелятивистских тяжелых ионов условиях, таких как температура, давление, барионный заряд, химический потенциал, что важно для обнаружения нового состояния материи — кварк-глюонной плазмы.

Исследуется метод определения параметра удара с помощью калориметров HF и CASTOR, исходя из существующей корреляции между потоком полной и поперечной энергии и параметром удара.

В рамках модели Глаубера поперечная энергия, выделяющаяся в мини-струи, зависит от параметра удара  $b$  и может быть вычислена следующим образом [9]:

$$\langle E_T(b, \sqrt{s_{NN}}, p_0, \Delta\eta) \rangle = T_{AA}(b) \sigma_{jet}(\sqrt{s_{NN}}, p_0)_{\Delta\eta} \langle p_T \rangle,$$

где  $p_T$  — первый момент инклюзивного дифференциального сечения рождения мини-струй  $\sigma_{jet}(\sqrt{s_{NN}}, p_0)_{\Delta\eta}$  в соответствующем псевдобыстротном интервале  $\Delta\eta$  и при энергии нуклонов в системе центра масс  $\sqrt{s_{NN}}$ .  $T_{AA}(b)$  — функция ядерного перекрытия:

$$T_{AA}(b) = \int d^2s T_A(s) T_A(b-s),$$

где  $T_A(\mathbf{r}) = A \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_A(\mathbf{r}, z) dz$  — функция ядерной толщины для плотности нуклонов в ядре  $\rho_A(\mathbf{r}, z)$ .

Зависимость количества непроявившихся нуклонов  $N_{non\ int}$  от параметра удара  $b$  определяется соотношением:

$$N_{non\ int}(b) = 2A - 2 \int d^2s T_A(s + b/2) (1 - e^{-\sigma_{in} T_A(s-b/2)}),$$

где  $\sigma_{in}$  — неупругое сечение взаимодействия.

В этой работе была рассчитана точность определения параметра удара с помощью калориметров HF и CASTOR. Для этого были смоделированы Pb–Pb соударения с параметрами удара от 0 фм до 15 фм с помощью Монте-Карло программы-генератора ядро-ядерных соударений HIJING [10]. Энергия в системе центра масс сталкивающихся ядер равна  $\sqrt{s} = 5.5A$  ТэВ. Радиус ядра Pb равен 6.8 фм. Полная множественность в центральных соударениях

может достигать 100000 частиц. Распределения по полной множественности и множественности заряженных частиц представлены соответственно на рис.6 и рис.7 (вся область псевдобыстрот), рис.8 и рис.9 (область псевдобыстрот HF-калориметра), рис.10 и рис.11 (область псевдобыстрот калориметра CASTOR).

На рис.12 приведено распределение по поперечному импульсу частиц. Видно, что в области с большими  $\eta$  летят более мягкие по  $p_T$  частицы. Так средний поперечный импульс составляет для всех  $0.51$  GeV/c, для частиц, летящих в HF —  $0.48$  GeV/c, в CASTOR —  $0.37$  GeV/c.

Основная доля частиц приходится на  $|\eta| < 3$ , с ростом псевдобыстроты количество частиц резко уменьшается. Распределения по псевдобыстроте числа всех частиц и заряженных частиц — на рис.13 (вся область псевдобыстрот), рис.14 (область псевдобыстрот HF-калориметра), рис.15 (область псевдобыстрот калориметра CASTOR). Основная же доля энергии  $E$  выделяется в области псевдобыстрот  $3 < |\eta| < 7$  (то есть в областях передних калориметров), максимум выделения поперечной энергии  $E_T$  наоборот приходится на центральную быструтотную область. Распределения полной и поперечной энергии соответственно — на рис.16 и рис.17 (вся область псевдобыстрот), рис.18 и рис.19 (область псевдобыстрот HF-калориметра), рис.10 и рис.21 (область псевдобыстрот калориметра CASTOR).

Зависимость полной множественности частиц от параметра удара для областей псевдобыстрот калориметров HF и CASTOR представлена на рис.22. Для HF-калориметра она падает от 15000 частиц в центральных соударениях, до 2000–6000 частиц в периферических, для калориметра CASTOR — от 2500 до 500–1000 частиц соответственно.

Поскольку между параметром удара и полной (поперечной) энергией, выделяющейся в соударении, существует корреляция (рис.23, рис.24), то можно определить параметр удара исходя из знания полной (поперечной) энергии. Для расчета точности определения параметра удара этим способом необходимо разбить диапазон значений  $E$  на интервалы  $\Delta E$  и затем построить распределения по  $b$  количества соударений в каждом из интервалов. Аппроксимируя полученные гистограммы распределением Гаусса, определяем  $\sigma$  этих распределений, которые и являются ошибкой (разрешением) в определении параметра удара —  $\sigma_b$  (рис.26).

Аналогичным образом поступаем и в случае нахождения точности определения параметра удара исходя из корреляции параметра удара и количества непроявившихся нуклонов (рис.25). Результат оценки точности определения параметра удара данным способом приведен на рис.26.

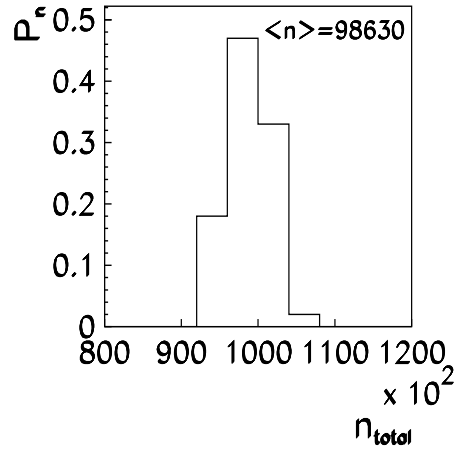


Рис. 5: Распределение по полной множественности  $n_{total}$  для 100 Pb-Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм.

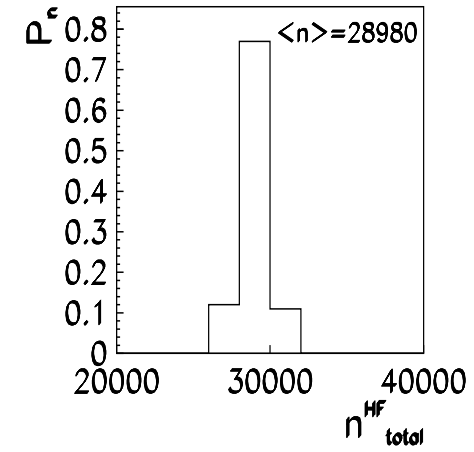


Рис. 7: Распределение по полной множественности  $n_{total}^{HF}$  для 100 Pb-Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот HF-калориметра ( $3 \leq |\eta| \leq 5$ ).

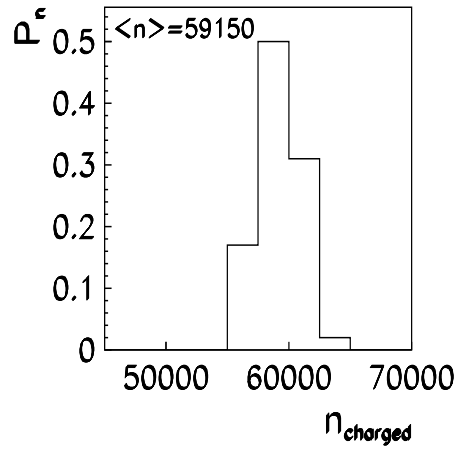


Рис. 6: Распределение по множественности заряженных частиц  $n_{charged}$  для 100 Pb-Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм.

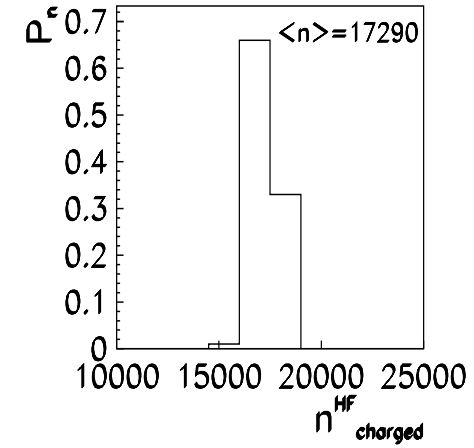


Рис. 8: Распределение по множественности заряженных частиц  $n_{charged}^{HF}$  для 100 Pb-Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот HF-калориметра ( $3 \leq |\eta| \leq 5$ ).

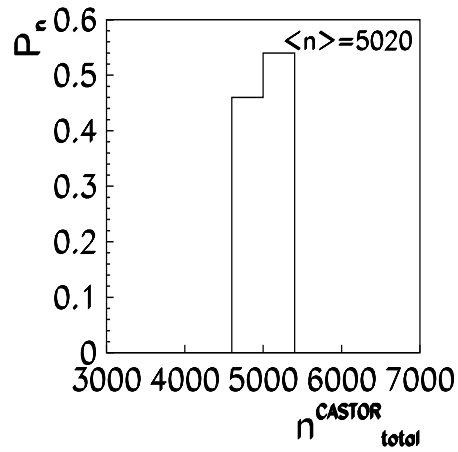


Рис. 9: Распределение по полной множественности  $n_{total}^{CASTOR}$  для 100 Pb-Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот калориметра CASTOR ( $5.3 \leq |\eta| \leq 6.7$ ).

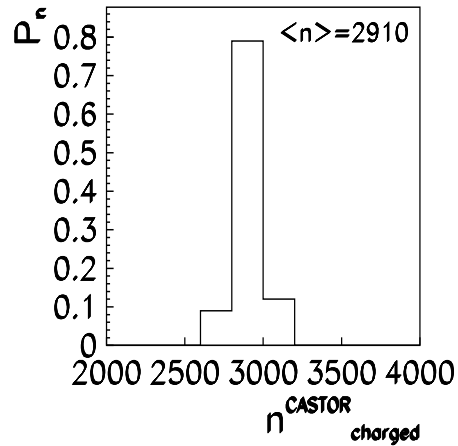


Рис. 10: Распределение по множественности заряженных частиц  $n_{charged}^{CASTOR}$  для 100 Pb-Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот калориметра CASTOR ( $5.3 \leq |\eta| \leq 6.7$ ).

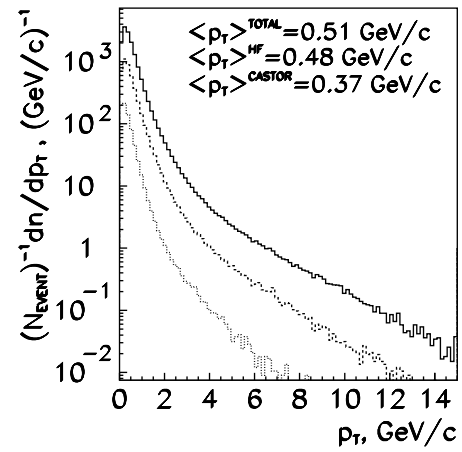


Рис. 11: Распределение частиц по поперечному импульсу  $p_T$  для 100 Pb-Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм (сплошная линия — для всей области псевдобыстрот, пунктирная — для области псевдобыстрот HF-калориметра ( $3 \leq |\eta| \leq 5$ ), точечная — для области псевдобыстрот калориметра CASTOR ( $5.3 \leq |\eta| \leq 6.7$ )).

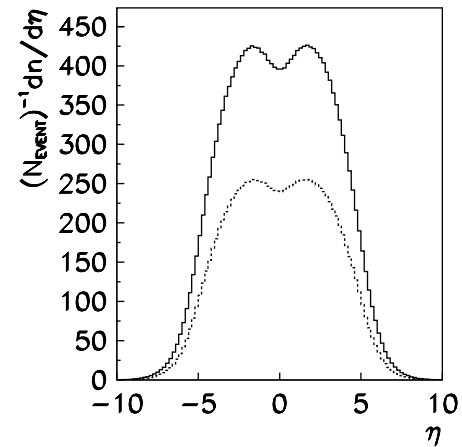


Рис. 12: Распределение всех частиц (сплошная линия) и заряженных частиц (пунктирная линия) по псевдобыстроте  $\eta$  для 100 Pb-Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм.



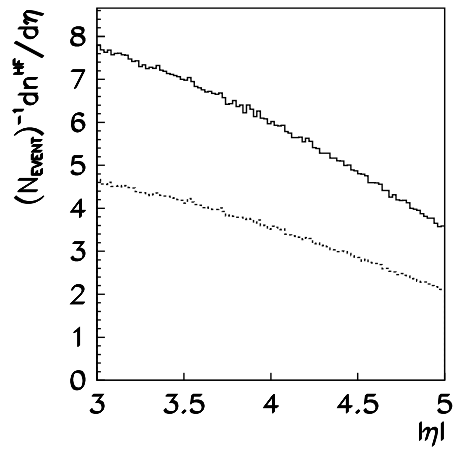


Рис. 13: Распределение всех частиц (сплошная линия) и заряженных частиц (пунктирная линия) по псевдобыстроте  $\eta$  для 100 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот HF-калориметра ( $3 \leq |\eta| \leq 5$ ).

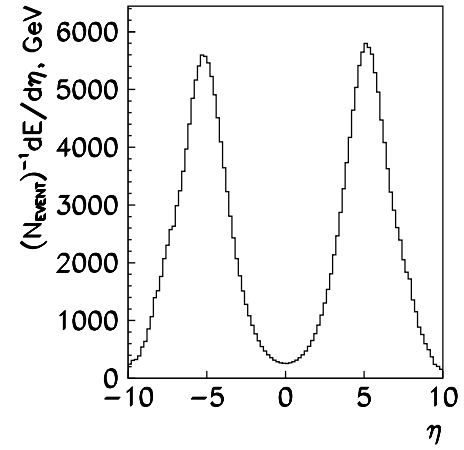


Рис. 15: Распределение выделяющейся энергии частиц  $E$  по псевдобыстроте  $\eta$  для 100 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм.

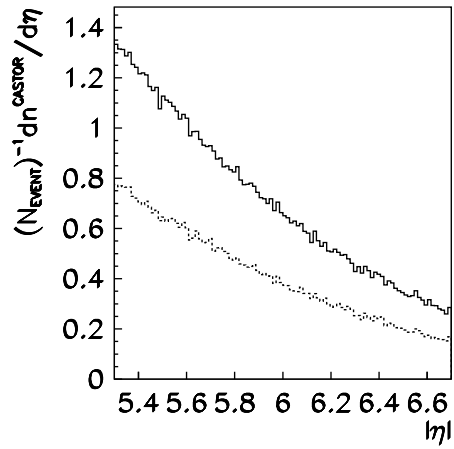


Рис. 14: Распределение всех частиц (сплошная линия) и заряженных частиц (пунктирная линия) по псевдобыстроте  $\eta$  для 100 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот калориметра CASTOR ( $5.3 \leq |\eta| \leq 6.7$ ).

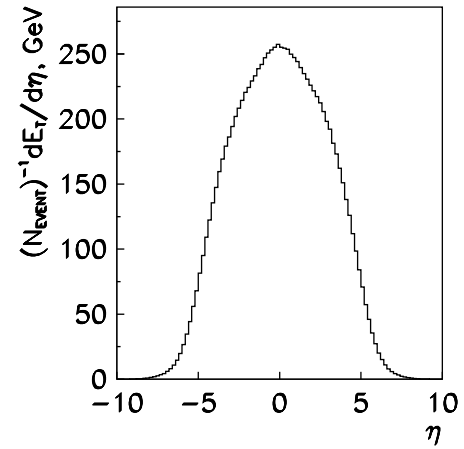


Рис. 16: Распределение выделяющейся поперечной энергии частиц  $E_T$  по псевдобыстроте  $\eta$  для 100 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм.

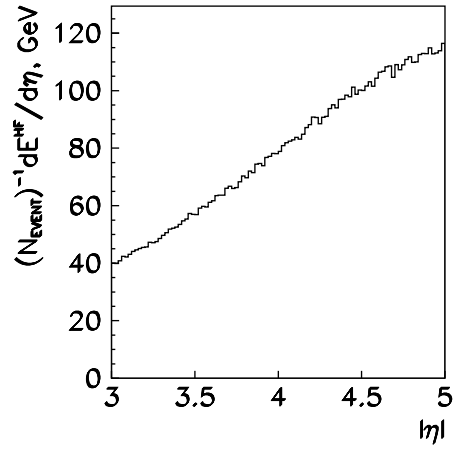


Рис. 17: Распределение выделяющейся энергии частиц  $E^{HF}$  по псевдобыстроте  $\eta$  для 100 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот HF-калориметра ( $3 \leq |\eta| \leq 5$ ).

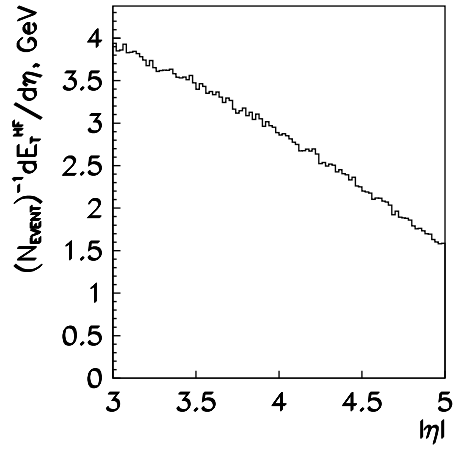


Рис. 18: Распределение выделяющейся поперечной энергии частиц  $E_T^{HF}$  по псевдобыстроте  $\eta$  для 100 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот HF-калориметра ( $3 \leq |\eta| \leq 5$ ).

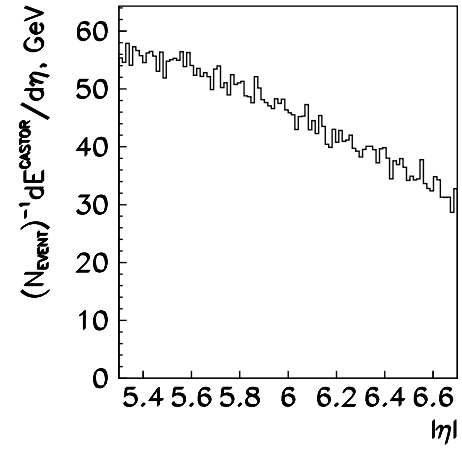


Рис. 19: Распределение выделяющейся энергии частиц  $E^{CASTOR}$  по псевдобыстроте  $\eta$  для 100 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот калориметра CASTOR ( $5.3 \leq |\eta| \leq 6.7$ ).

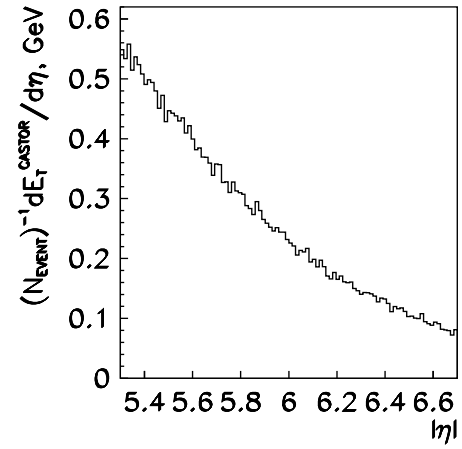


Рис. 20: Распределение выделяющейся поперечной энергии частиц  $E_T^{CASTOR}$  по псевдобыстроте  $\eta$  для 100 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0$  фм в области псевдобыстрот калориметра CASTOR ( $5.3 \leq |\eta| \leq 6.7$ ).

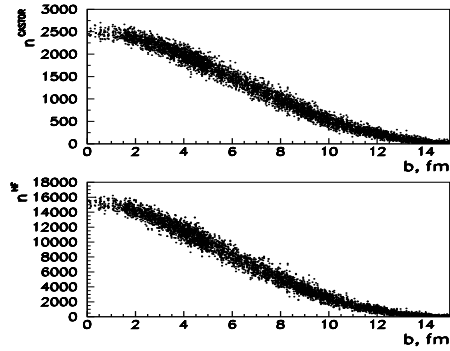


Рис. 21: Зависимость полной множественности частиц  $n$  от параметра удара  $b$  для областей псевдобыстрот калориметров HF и CASTOR (отдельно для  $\eta > 0$  и  $\eta < 0$ ). 3000 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0 - 15$  фм.

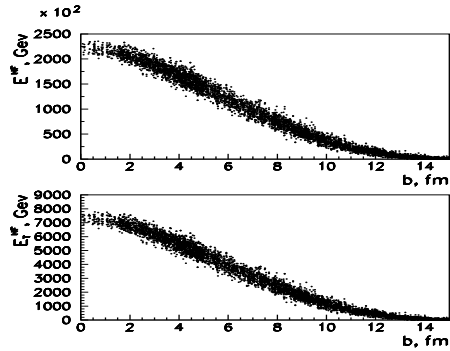


Рис. 22: Корреляция параметра удара  $b$  и полной  $E^{HF}$  (вверху) и поперечной  $E_T^{HF}$  (внизу) энергией, выделившейся в области псевдобыстрот HF-калориметра ( $3 \leq |\eta| \leq 5$ ). 3000 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0 - 15$  фм.

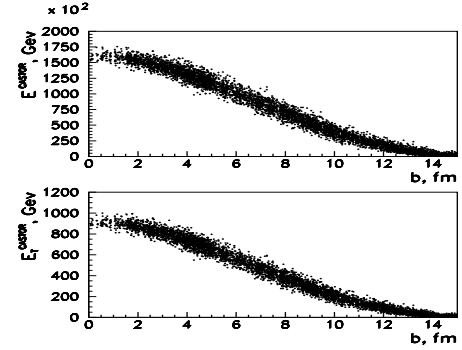


Рис. 23: Корреляция параметра удара  $b$  и полной  $E^{CASTOR}$  (вверху) и поперечной  $E_T^{CASTOR}$  (внизу) энергией, выделившейся в области псевдобыстрот калориметра CASTOR ( $5.3 \leq |\eta| \leq 6.7$ ). 3000 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0 - 15$  фм.

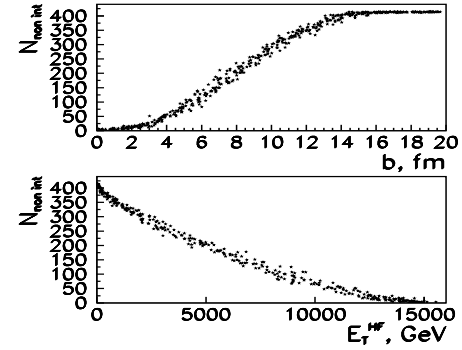


Рис. 24: Корреляция числа непрореагировавших нуклонов ядра  $N_{non\ int}$  с параметром удара  $b$  (вверху) и с поперечной энергией  $E_T^{HF}$ , выделившейся в области HF-калориметра ( $3 \leq |\eta| \leq 5$ ). 500 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0 - 20$  фм.

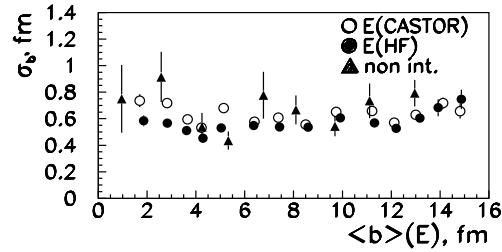


Рис. 25: Точность определения параметра удара  $\sigma_b$  по корреляции параметра удара  $b$  : 1) с полной энергией  $E$ , выделившейся в калориметре HF (пустые кружки), CASTOR (закрашенные кружки); 2) с числом не взаимодействовавших нуклонов (треугольники) в разных диапазонах значения параметра удара. (Статистика: 3000 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0 - 15$  фм в случае 1; 500 Pb–Pb соударений с параметром удара  $b = 0 - 20$  фм в случае 2.)

#### 4 Заключение

Изучена корреляции центральности ядро-ядерного соударения с полной (поперечной) энергией, выделяющейся в передних калориметрах установки CMS (HF и CASTOR), а также с количеством не взаимодействовавших нуклонов. Точность определения параметра удара (разрешение) составила порядка 0.8 фм для всех областей центральности в Pb–Pb соударениях.

Стоит отметить, что разрешение рассчитано на уровне частиц и не учитывает данные, полученные в результате полного моделирования откликов калориметров (конечное пространственное и энергетическое разрешение калориметров, возможные утечки и другие потенциально важные эффекты). Однако в работе [11] показано на примере Ag–Ag соударений, что полное моделирование откликов HF-калориметра практически не приводит к ухудшению точности определения центральности взаимодействия.

Авторы благодарят В.Б.Гаврилова, А.Панайоту, В.А.Колосова, П.И.Зарубина, С.В.Петрушанко и С.В.Шматова за полезные обсуждения. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант N 04-02-16333.

#### Список литературы

- [1] The LHC Conceptual Design Report, CERN-AS/95-05(LHC)
- [2] Staging of the CMS Detector, CERN/LHCC 93-22, 19 March 1993
- [3] CMS Status Report and Milestones, CERN/LHCC 93-48, 15 October 1993
- [4] The Tracker Project. Technical Design Report. CERN/LHCC 98-6, 15 April 1998
- [5] The Electromagnetic Calorimeter Project. Technical Design Report. CERN/LHCC 97-33, 15 December 1997
- [6] The Hadron Calorimeter Project. Technical Design Report. CERN/LHCC 97-31, 20 June 1997
- [7] The Muon Project. Technical Design Report. CERN/LHCC 97-32, 15 December 1997
- [8] CASTOR Technical Proposal, in press
- [9] K.J. Eskola, K. Kajantie and P.V. Ruuskanen, Phys. Lett. B 332, 191 (1994); Eur. Phys. J. C1, 627 (1998); K.J. Eskola, Prog. Theor. Phys. Suppl. 129, 1 (1997); Comments Nucl. Part. Phys. 22, 185 (1998); K.J. Eskola and K. Tuominen, Phys. Lett. B 489, 329 (2000); K.J. Eskola, K. Kajantie, P.V. Ruuskanen and K. Tuominen, Nucl. Phys. B 570, 379 (2000)
- [10] M. Gyulassy, X.-N. Wang, Comput. Phys. Commun. 8, 307(1994); Preprint LBL 34246 (nucl-th/9502021)
- [11] J. Damgov et al, "Heavy ion studies with CMS HF calorimeter", CMS NOTE-2001/055

Игорь Петрович Лохтин  
Людмила Ивановна Сарычева  
Константин Юрьевич Теплов

**Определение центральности в соударениях тяжелых  
ионов с помощью передних калориметров установки  
CMS на LHC**

Препринт НИИЯФ МГУ 2004-22/761

Работа поступила в ОНТИ 23 ноября 2004 г.

**Издательство УНЦ ДО  
ИД №00545 от 06.12.1999 г.**

117246, Москва, ул. Обручева, 55А  
Тел./факс (095) 718-6966, 718-7767, 718-7785  
e-mail: [izdat@abiturcenter.ru](mailto:izdat@abiturcenter.ru)  
<http://www.abiturcenter.ru/izdat/>

Подписано в печать 26.11.2004 г. Формат 60x90/16  
Бумага офсетная №2. Усл.печ.л. 0,81  
Тираж 50 экз. Заказ №714

Отпечатано в Мини-типографии УНЦ ДО  
<http://www.abiturcenter.ru/print/>  
в полном соответствии с качеством  
представленного оригинала-макета