

сравнению с недалеким прошлым. «Мы твердо поддерживаем реализацию проекта коллайдера NICA и убеждены, что если этот проект будет реализован в планируемые сроки, то он внесет выдающийся вклад в наши знания о свойствах сверхплотной материи... Уникальная возможность реализовать проект NICA в Дубне не должна быть упущена», — пришли к мнению участники дискуссии в совместном меморандуме по итогам обсуждения.

Развитие исследований в области физики тяжелых ионов будет поддержано в ОИЯИ изданием нового научного журнала «Столкновения тяжелых ионов», первый выпуск которого появится уже в 2010 г.

Подтверждением того, что Объединенный институт ядерных исследований стал играть еще более заметную роль на международной арене, стал выбор Дубны в качестве места проведения в 2010 г. одной из самых значительных международных конференций в области тяжелоионных столкновений при высоких энергиях «Critical Point and Onset of Deconfinement» («Критическая точка и начало деконфайнмента»). Эстафету Дубне передала Брукхейвенская национальная лаборатория.

proposed by Dubna physicists and engineers for advanced scientific research.

Summing up the events, it is possible to say that the expediency and feasibility of the NICA project on the world scientific expertise level has had considerable qualitative evaluations. «We strongly support the implementation of the NICA collider project and we are sure that if the project is completed in time it will make an outstanding contribution to our knowledge about the properties of the superdense matter... The unique opportunity to put the NICA project into action in Dubna must not be missed», says the joint Memorandum on the discussion results.

A new scientific journal «Heavy Ion Collisions» will accompany the research in the field of heavy ion physics at JINR. Its first issue will be released in 2010.

Dubna has been chosen the place to hold one of most important international conferences on heavy ion collisions at high energies «Critical Point and Onset of Deconfinement» in 2010. It was the Brookhaven National Laboratory that passed the baton to Dubna.

A. B. Зарубин, С. В. Шматов

Участие ОИЯИ в проекте CMS

В течение 2008–2009 гг. усилия группы ОИЯИ в эксперименте CMS [1] были сконцентрированы на техническом обслуживании, вводе в эксплуатацию и калибровках детекторов в рамках ответственности ОИЯИ за изготовление торцевого адронного калориметра (HE) [2] и камер передних мюонных станций (ME1/1) [3].

С целью получения калибровок для «первого дня работы LHC» были обработаны и проанализированы данные, набранные CMS во время различных измерений: комбинированного теста калориметрической системы CMS на пучках SPS, на космических мюонах при включенном и выключенном магнитном поле и первого сеанса на пучках LHC в 2008 г. [4]. Изучены энергетическое разрешение комбинированной торцевой калориметрии, включая адронную (HE), электромагнитную

A. Zarubin, S. Shmatov

JINR Participation in the CMS Project

During 2008–2009 shutdown, efforts of the JINR group in the CMS experiments [1] have been focused on the maintenance, commissioning and calibration of the inner endcap detectors, where RDMS bears full responsibility on Endcap Hadron Calorimeters (HE) [2] and First Forward muon Stations (ME1/1) [3].

To derive the «first-day» calibration coefficients, the experimental data collected by the CMS detectors during Magnetic and Cosmic Test (MTCC) 2006, combined endcap calorimetry test beam 2007, Global Runs with and without magnetic fields, and the first LHC run (Halo Beam Data) in 2008 were processed and analyzed [4]. The energy resolution (with and without corrections) of combined endcap calorimetry, including hadron calorimeter (HE), electromagnetic calorimeter (EE) and preshower (ES), as well

(EE) и предливневую (ES) системы, для интервала энергий пионов SPS от 4 до 300 ГэВ (с уточнением и без уточнения), а также соответствующие отношения реконструированной энергии к точной энергии. Энергетическое разрешение торцевой калориметрии для отдельных адронов имеет константный член — $(3,9 \pm 0,1) \%$, стохастический — $(114 \pm 0,7) \%$. Измерено пространственное разрешение HE для разных значений азимутального угла и энергий пионов [6]. Ввиду гранулярности ES, EE и HE для случая срабатывания ES и EE координатная точность определяется последними и, несомненно, будет лучше 7 мм. Для случая срабатывания только HE с использованием разработанного метода показано, что координатная точность лучше 3 см для пионов с энергией больше 20 ГэВ.

Анализ влияния магнитного поля на физические характеристики HE показал, что сигнал в сцинтилляторе увеличивается в присутствии поля на 7,6 % и насыщается в интервале значений магнитного поля от 2 до 4 Тл. Сигнал с фотодиодов возрастает с 1,1 % в передней части калориметра до 1,8 % в его задней части.

С помощью калибровки на радиоактивном источнике результаты калибровки на пучке были перенесены на реальный HE. Проверка калибровочных констант калориметрии была осуществлена на космических мю-

онах [4, 5]. Было показано, что мюоны оставляют в HE энергию, равную 2,83 ГэВ; для мюонов SPS эта величина была равной 2,69 ГэВ. Данные же первого сеанса на гало пучка LHC дали значение 2,7 ГэВ. Во время тестов на пучках космических частиц и первого сеанса LHC было проверено совместное функционирование торцевого адронного калориметра HE и торцевых мюонных станций CSC [4, 5]. Была проведена процедура временного согласования для совместного функционирования HE и ME1/1 — в этом случае HE использовался как монитор с временной точностью 3 нс. Полученные результаты демонстрируют достоверность калибровочных констант (как для HE, так и для ME1/1), когерентное функционирование детекторов торцевой части CMS и относятся к условиям, максимально приближенным к реальным.

Для окончательной проверки работоспособности детекторных систем и их совместного функционирования в 2008–2009 гг. проводились тесты на космических мюонах. Из данных космического теста при магнитном поле 3,8 Тл (CRAFT) с версией программного обеспечения CMSSW_2_2_0 было получено пространственное разрешение торцевых мюонных камер. В частности, для камер ME1/1 среднее значение разрешения для 6-слойной камеры — около 50 мкм [6]. Процедура об-

as ratio of reconstructed energy to energy of beams were studied. The SPS pion beams with energy from 4 up to 300 GeV have been used for this test. The constant term of energy resolution of the endcap calorimetry derived from the single hadron beams is equal to $(3.9 \pm 0.1)\%$; the stochastic one is $(114 \pm 0.7)\%$. The HE spatial resolution for various values of azimuthal angle and pion energy was measured [6]. Due to ES/EE/HE granularity, the value of spatial resolution is better than 7 mm in the case of signal in both ES and EE. In case of the signal in the HE, this value is better than 3 cm for pions with energy more than 20 GeV. At that, the average waiting of signals from HE towers and correction to reduce a systematic shift have been applied.

The analysis of the influence of the magnetic field on HE performance shows that the signal in scintillators grows while the magnetic field increases up to 7.6%, and is saturated at the B -field value in the range of 2–4 T. The HPD signals are increased up to 1.1% for the front part and up to 1.8% for the rear part.

The results of TB calibration were extended on the real HE using radioactive source calibration. These calibration constants were tested in global CMS runs with cosmic rays [4, 5]. The SPS muon energy deposition in HE is

2.69 GeV, in global runs 2.8 GeV, while in the first LHC beam halo data it is 2.7 GeV. HE and CSC combined functioning in Cosmic Tests and Halo Beam Data were tested [4, 5]. Timing procedure for the ME1/1 station was performed from a combined functioning of HE and ME1/1. In this case, HE was used as monitor with timing precision of 3 ns. These results demonstrate veracity of the calibration constants for both HE and ME1/1 and combined functionality of the CMS endcap systems at the near-real time tests.

To check finally operability of the detector systems and its combined functionality, the cosmic tests were performed in 2008–2009 (CRAFT). The CSC chamber spatial resolution has been obtained from cosmic data with 3.8 T magnetic field in CMSSW_2_2_0. In particular, for the six-layer ME1/1 chamber the mean value of resolution is about 50 microns [6]. Data processing and analysis were performed in the framework of the distributed computing system which has been used since 2006 and provides remote access for data and calibration Data Bases both from Dubna and from CERN. As a result of commissioning, Endcap Hadron Calorimeters (HE) and forward muon stations (ME1/1) are ready for data taking.

работки и анализа данных была выполнена на основе специально разработанной распределенной компьютерной системы, которая используется с 2006 г. и обеспечивает доступ к данным и базам данных калибровочных констант как из ЦЕРН, так и из ОИЯИ. Таким образом, результаты тестов и калибровок торцевого адронного калориметра и передних мюонных станций показали, что детекторные системы готовы к приему данных.

В ходе CRAFT были также исследованы эффективности идентификации и реконструкции мюонов [7] для двух различных алгоритмов — алгоритма реконструкции космических мюонов и алгоритма реконструкции мюонов в *pp*-соударениях (для имитации подобных событий из данных космического теста отбирались мюоны, пересекающие всю установку на расстоянии не более 4 см по радиусу и 10 см по оси пучка от номинальной точки взаимодействий). Было показано, что эффективность алгоритма глобальной реконструкции космических мюонов составляет $94,4 \pm 0,6$ %, а *pp*-алгоритма — $98,7 \pm 0,3$ %.

Для оперативного и эффективного контроля состояния и работоспособности детекторных систем, вклю-

чая измерение физико-технических характеристик в ходе быстрого анализа получаемых данных и мониторинг набора экспериментальных данных, в 2009 г. в ОИЯИ был создан региональный центр удаленной обработки и анализа экспериментальных данных (см. фото). Центр является частью системы офф-лайн-обработки и анализа данных ОИЯИ (Tier-2), основанной на GRID-технологиях и концепции координированного использования компьютерных ресурсов при отсутствии централизованного управления этими ресурсами. В августе–сентябре 2009 г. работоспособность систем центра была проверена во время набора экспериментальных данных в ходе тестов на космических мюонах CRAFT. Были задействованы системы мониторинга качества данных торцевой мюонной системы (локальный DQM), глобальной системы общего контроля качества данных как в он-лайн-, так и в офф-лайн-режиме (глобальный DQM), системы контроля высокого и низкого напряжения, системы мониторинга сбора данных (DAQ).

В 2008–2009 гг. продолжалась разработка компьютерной инфраструктуры, соответствующей физическим задачам ОИЯИ в CMS и основанной на GRID-тех-



Центр удаленной обработки и анализа данных CMS в ОИЯИ (корпус 215 ЛФВЭ)

The CMS centre of remote monitoring and data analysis at JINR (Bldg. 215, VBLHEP)

Besides, during the CRAFT session, efficiency of muon identification and reconstruction was studied both for cosmic muon algorithms and for algorithms developed for *pp* collisions [7]. To produce events with collision-like muons, it was required that the distance between the point of closest approach of the reference track and the nominal position of *pp* interactions does not exceed 4 cm in *R* (the beam-pipe radius) and 10 cm in *Z* (collision region at the LHC start-up along beams). The efficiency of the standard global muon reconstruction algorithm is (94.4 ± 0.6) % for

cosmic muon algorithm and (98.7 ± 0.3) % for *pp*-collision algorithm.

In 2009 the dedicated regional centre of remote monitoring and data analysis (CMS Regional Operation Centre) [9] was founded (see photo). The main mission of this centre is operational and efficient monitoring of the detector systems, its working efficiency including the measurements of performance parameters during the fast data analysis, monitoring of data acquisition and quality data. The centre is a part of the GRID technology-based Tier-2

нологиях. Региональный центр RDMS LCG был успешно протестирован. Начато создание специального RDMS CMS Tier-1 в ЦЕРН для обслуживания RDMS центров Tier-2. В его задачи входит прием данных монте-карло-моделирования из центров RDMS и обеспечение доступа к первично реконструированным событиям (RECO), событиям с реконструированными физическими объектами (AOD) и данным CMS (распределение, хранение, управление потоками) из этих центров. Было выделено соответствующее этим задачам (~ 450 ТБ) дисковое и ленточное пространство.

Сертифицированы линии передачи данных из/в ОИЯИ в/из Tier-1 (ЦЕРН, Германия, Франция), проведена проверка всей цепочки передачи данных: Tier-0 → Tier-1 → Tier-2. Одновременно с этим сайты RDMS были сертифицированы в соответствии с требованиями CMS на передачу данных через систему Phedex (скорость передачи данных из Tier-1 в Tier-2 должна быть не менее 20 Мбит/с, а из Tier-2 в Tier-1 не менее 5 Мбит/с). Тесты показали, что, в частности, для ОИЯИ трафик был не хуже 28 Мбит/с.

Начиная с 2008 г. деятельность региональных Tier-2 связана с физическими задачами CMS. Так, ОИЯИ ассоциирован с физическим анализом CMS Exotics и реконструкцией физических объектов CMS

Муон. Специальные тесты показали, что Tier-2 ОИЯИ соответствует всем необходимым требованиям, включая сертификацию линий связи Tier-2 ОИЯИ с другими центрами Tier-2, ассоциированными с такими же физическими задачами, что и ОИЯИ. В целом процессорные ресурсы ОИЯИ обеспечивают все условия для моделирования, а также обработки и анализа первых данных в 2009 г.

В октябре 2009 г. был проведен глобальный тест узлов вычислительной системы CMS, включая все этапы обработки и анализа данных в цепочке вычислительных узлов CMS: Tier-0/Tier-1/Tier-2 (так называемый October Exercise). Его целью является проверка готовности CMS к приему, обработке и анализу первых экспериментальных данных, ожидающихся в ноябре 2009 г. ОИЯИ принял участие в этом тесте согласно своей ответственности за поддержание двух групповых пространств CMS для физического анализа и реконструкции. В ходе теста проверены надежность существующих сертифицированных линий передачи данных (и активированы новые), стабильность работы дисковых ресурсов, вычислительных емкостей (job slots), программного обеспечения и пр. Для проверки всех этапов реконструкции и физического анализа в ОИЯИ передано свыше 80 ТБ данных монте-карло-

sites which is focused on off-line data processing and analysis. The centre was tested during August–September 2009 cosmic test (CRAFT). The CSC data quality monitoring (local DQM), on-line and off-line global data quality monitoring, CSC slow control systems, DAQ monitoring system were in use remotely.

In 2008–2009 the development of the RDMS CMS grid infrastructure has been continued. The RDMS LCG regional centre was tested successfully. The CMS Tier-1 centre at CERN for RDMS is decided to act as the distribution point for the RDMS Tier-2 access to CMS general AOD and RECO data, and for the purposes of receiving Monte Carlo data from the RDMS Tier-2 centres. A considerable disk/tape space ~450 TB was provided at CMS Tier-1 for data storage and transfer. The certification of transfer links from/to JINR farms with three Tier-1 centres (CERN, Germany, France) and validation of data transformation chains, Tier-0 → Tier-1 → Tier-2 has been performed. RDMS CMS sites were certified in accordance with the CMS requirements for the Phedex data transfers (Tier-1–Tier-2 transfer rates of 20 MB/s and Tier-2–Tier-1 transfer rates of 5 MB/s). In particular, the transfer rate from CERN to JINR was not less than 28 MB/s.

Starting in 2008, the JINR Tier-2 has been associated with CMS Exotics Physics Analysis Group and CMS Muon Physics Object Group. The special tests show that the JINR Tier-2 satisfies all the requirements for such hosting, including certification of data transfer links between JINR and other Tier-2 centres associated also with the same CMS Physics Groups. In general, JINR CPU resources are sufficient for analysis of the first data after the LHC start and for simulation.

In October 2009, the special global test of the CMS Computing and Data model («October Exercise») was performed. The goals are to check the CMS readiness for the first data taking and analysis planned in November 2009. JINR took part in the test within two Physics Groups (Exotica and Muon) associated with the JINR sites. During the Exercise, accessibility and stability of data transfer links, disk resources, job slots, core and CMS software were tested again and again. To check the reconstruction and analysis procedures, above 80 TB, both MC data (RECO and AOD) and cosmic test data (RAW), are transferred. The final step was on-line processing of transferred data by JINR physicists and publication of the obtained results in the CMS Discovery Data Base.

моделирования (RECO, AOD) и космических тестов (RAW). Заключительный этап теста включал в себя обработку физиками ОИЯИ информации в режиме онлайн-поступления данных, физический анализ и публикацию полученных результатов (обработанных файлов и гистограмм) в специальной базе данных CMS.

Усилия группы ОИЯИ в физической программе CMS также были сосредоточены на подготовке к обработке и анализу первых данных 2009–2010 гг. с ожидаемой интегральной светимостью 10–200 пб⁻¹. Проведена подготовка к анализу данных в каналах [8], где новые физические результаты ожидаются уже в режиме сталкивающихся пучков ЛНС при 7–10 ТэВ с низкой светимостью. На основании данных монте-карло были получены результаты по возможности установки CMS для отбора и реконструкции новых физических объектов. Комбинированная эффективность для триггера первого уровня одиночных и парных мюонов выше 99 % во всем интервале значений изученных масс (от 0,25 до 3,5 ТэВ). Комбинированная эффективность для триггера высокого уровня неизолированных одиночных мюонов и неизолированных парных мюонов составила порядка 97 %. При этом эффективность оффлайн-реконструкции для событий Дрелла–Яна с массой от 0,25 до 5 ТэВ равна 96–97 %. Полная эффектив-

ность процедуры реконструкции с учетом неэффективности отбора событий ~ 92–93 % для широкого диапазона масс.

С учетом новой процедуры геометрического выравнивания мюонной и трекерной систем при 100 пб⁻¹, а также ранее разработанной процедуры моделирования эффекта разбалансировки различных систем при 10 и 100 пб⁻¹ были уточнены величины неопределенностей, которые данный эффект вносит в физические характеристики реконструированных объектов. Было показано, что эффект разбалансировки влияет на ширину массового распределения резонансного пика. Причем в области инвариантных масс 1 ТэВ результаты сценариев грубо совпадают (~ 7,5 %), а при массах 2 ТэВ составляют ~13 % для сценария 100 пб⁻¹ и 9–11 % для сценария с трекерным выравниванием. Разрешение по инвариантной массе для мюонной пары в случае идеального выравнивания составило 3–5 %. При этом эффективность оффлайн-реконструкции не подвержена влиянию эффекта разбалансировки даже в самом пессимистическом случае.

Было продолжено изучение радиационных поправок высшего порядка к процессам Дрелла–Яна в области масс более 1 ТэВ. Для анализа влияния этих поправок был разработан пакет численного вычисления

The JINR physicists also intend to take part in the preparation of the CMS Physics Programme of the first LHC run. In 2009–2010, data with the integrated luminosity of 10–200 pb⁻¹ are expected. In the framework of the JINR-established physics tasks [8], rigorous preparations of analyses of the most promising physics channels were performed for the colliding beams energy of 7–10 TeV at the low luminosity mode. The updated results on CMS performance for triggering and off-line reconstruction of dimuon pairs have been obtained. The combined efficiency of the single-muon and dimuon triggers exceeds 99% at masses from 0.25 up to 3.5 TeV. The combined efficiency of the non-isolated single-muon and dimuon high-level trigger (HLT) paths is about 97%. The off-line reconstruction efficiency for samples with SM Drell–Yan events is about 96–97% for masses 0.25–5 TeV. The overall efficiency of the full reconstruction procedure, taking into account trigger and off-line reconstruction inefficiency, is about 92–93% for a wide mass range.

The estimations of misalignments and their uncertainties were further refined with the final results of the new track-based alignment procedures (100 pb⁻¹) and the misalignment scenario based on 10 and 100 pb⁻¹ data devel-

oped before. Misalignment primarily affects the width of high-mass resonance peaks. These approaches predict a ~7.5% width of the Gaussian fit to the mass resolution spectra; at mass of 2 TeV, the width is ~13% in the 100 pb⁻¹ misalignment scenario and lies in the range of 9–11% for the track-based alignment trials. The dimuon mass resolution obtained with the ideal alignment in the same mass region is 3–5%. The off-line muon reconstruction efficiency is not affected even in the most pessimistic misalignment scenarios, once the alignment position errors are included.

The studies of electroweak radiative corrections to the Drell–Yan process at masses above 1 TeV have been continued. To analyze the effect of this correction numerically, the package READY [9] was developed, for simulation of the detector acceptance the standard CMS cuts are used.

The obtained results have been used to develop the first physics analysis aimed at the discovery of the narrow resonances in the dilepton channel with the integrated luminosity of 50 pb⁻¹.

Based on the above-given studies, the potential of the CMS experiment to measure Drell–Yan muon and to discover the new physics phenomena beyond the Standard Model was re-estimated for an integrated luminosity of up

READY [9]. При этом использовалась реальная геометрия установки CMS и соответствующие кинематические обрезания.

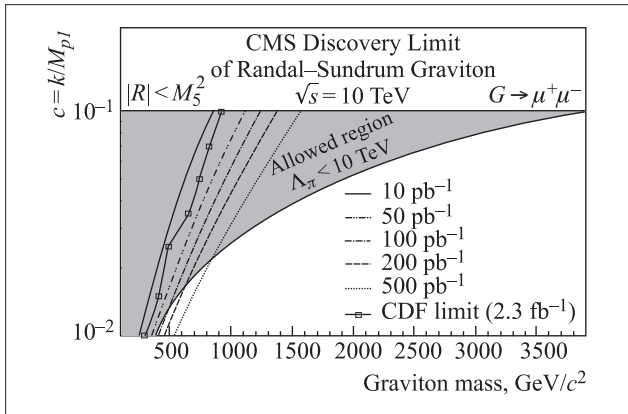
Полученные результаты легли в основу разработки методики анализа первых ожидаемых данных, направленного на обнаружение узкого резонанса в дилептонной моде при интегральной светимости 50 пб^{-1} .

На основе вышеприведенных результатов проведена оценка потенциала CMS по измерению мюонных пар Дрелла–Яна и наблюдению сигнала новой физики за пределами стандартной модели для интегральной светимости $10\text{--}500 \text{ пб}^{-1}$. В частности, было показано,

что даже при пониженной энергии CMS способен наблюдать гравитон модели RS1 с массой до $1,5 \text{ ТэВ}$, если константа модели c равна $0,1$ (см. рисунок). Для $c = 0,05, 0,02, 0,01$ достижимый массовый предел составляет $1200, 780$ и 500 ГэВ соответственно.

Таким образом, ожидается, что даже в условиях пониженной энергии сталкивающихся протонов и низкой светимости CMS позволит продвинуться в область инвариантных масс, недоступных в настоящий момент для измерений в экспериментах на тэватроне (FNAL, США).

Массовые ограничения на наблюдение RS1 KK -резонансного состояния на CMS в димюонном канале. Приведены ограничения тэватрона и ожидания на LHC при разной светимости



The CMS mass limit for RS1 KK -resonance state. The dimuon channel is considered. The current Tevatron restrictions and expected LHC limitations are given

to $10\text{--}500 \text{ пб}^{-1}$. In particular, it was shown that the CMS allows one to observe the RS1 graviton with mass up to 1.5 TeV , if coupling constant $c = 0.1$ (see figure). For $c = 0.05, 0.02, 0.01$, the reachable mass values are $1200, 780$ and 500 GeV , respectively.

Thus, it is expected that the CMS allows us to extend discovery mass limits up to invariant mass region uncovered so far by the Tevatron experiments, even for the scaled down LHC energy at the low luminosity regime.

Список литературы / References

1. Adolphi R. et al. (CMS Collab.). The CMS Experiment at the CERN LHC. JINST 3:S08004, 2008.
2. Baatian G. et al. (CMS HCAL Collab.). Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron Endcap Calorimeters. CERN-CMS-Note-2008-010, Mar 2008. 36 p.
3. Erchov Yu. V. et al. ME1/1 Cathode Strip Chambers. CERN-CMS-Note-2008-026.
4. Abdullin S. et al. HCAL Participation in Global Run at the End of November. CMS IN-2008-019.
5. Golutvin I. A., Zarubin A. V., Konoplyanikov V. F., Moisenz P. V., Shmatov S. V. Measurement of Space Resolution of Endcap Hadronic Calorimeter CMS Using Beam Testing of CMS HCAL Prototype in 2003 // Part. Nucl., Lett. 2008. V. 5. P. 383–386.
6. CMS Collab. Performance of the CMS Cathode Strip Chambers with Cosmic Rays. CMS Paper CFT-09-011, arXiv:0911.4992v1.
7. CMS Collab. Studies of CMS Muon Reconstruction Performance with Cosmic Rays. CMS Paper CFT-09-014, arXiv:0911.4994v1.
8. Shmatov S. Search for Extra Dimensions with the CMS Detector // Nucl. Phys. Proc. Suppl. 2008. V. 177–178. P. 330–332.
9. Zykunov V. EWC Calculation at Extra Large Invariant Masses // Yad. Fiz. 2008. V. 71. P. 757.