

A. A. Бельков, С. В. Шматов

Участие ОИЯИ в развитии физической программы CMS

Основным направлением деятельности ОИЯИ в проекте CMS является разработка, конструирование и сборка торцевых детекторов, причем ОИЯИ несет полную ответственность и координирует эти работы в рамках сотрудничества России и стран-участниц ОИЯИ (RDMS CMS). Бессменным руководителем RDMS CMS с момента создания этой организационной структуры является проф. И. А. Голутвин. Специалисты ОИЯИ внесли определяющий вклад в следующие подпроекты: система торцевых электромагнитных калориметров, первая мюонная станция переднего направления, торцевой предливневый детектор. Физики ОИЯИ участвуют также в работе группы по разработке физической программы эксперимента CMS. В настоящее время продолжается производство детекторов. В 2002 г. ОИЯИ вместе с другими группами коллаборации RDMS успешно вступил в период монтажа установки CMS.

Эксперимент CMS открывает уникальные возможности для проверки стандартной модели (СМ) в новой области энергий, а также поиска новой физики за рамками СМ. Как известно, СМ прекрасно описывает большинство экспериментальных данных, полученных на современных ускорителях. Однако существует ряд проблем, не решенных в рамках СМ, например, количественное описание эффекта нарушения CP -симметрии, проблема иерархии масс, произвол в выборе числа поколений лептонов и кварков, формальное объединение сильного и электрослабого взаимодействий и пр. Для преодоления указанных недочетов были созданы различные расширения СМ, основанные на разных концепциях введения дополнительных симметрий, самой популярной из которых является суперсимметрия (SUSY). В настоящее время основные экспериментальные усилия направлены на поиск хиггсовских бозонов,

A. A. Belkov, S. V. Shmatov

JINR's Contribution to the CMS Physics Programme

The main activity of JINR within the CMS project is concentrated on the study, design, integration, and construction of the CMS endcap detectors, where JINR bears full responsibility in the framework of the Russia – JINR Member States (RDMS CMS) collaboration. Professor I. A. Golutvin has been the spokesman of the RDMS CMS collaboration since the very beginning of the project. JINR participates in the following subprojects: Endcap Hadron Calorimetry, First Forward Muon Station, Endcap Preshower, and Physics Task Force. Mass-production of detectors is progressing well. In 2002 JINR, together with other RDMS CMS groups, successfully entered the CMS assembly and installation period.

The CMS experiment opens a unique perspective to check up the Standard Model (SM) in new energy scale and search for new physics beyond SM. At present, SM describes very successfully the most of experimental data from modern accelerators. However, there is a set of problems and drawbacks not removable in SM, such as follows: description of CP -violation effects, hierarchy of masses, arbitrariness of number of generations, formal unification of strong and electroweak interactions, etc. To solve these problems, various SM extensions have been developed on the basis of different symmetry concepts. The most favourable of them is supersymmetry. The Higgs bosons and supersymmetric partners of SM particles predicted by

предсказываемых СМ и ее SUSY-расширениями, а также суперпартнеров обычных частиц. Однако, кроме SUSY-моделей, можно построить и другие расширения СМ, основанные не на введении суперсимметрии, а на более широких калибровочных группах. Таким способом могут быть получены модели, допускающие композитную структуру фермионов, лептокварки, т. е. объекты, несущие одновременно кварковые и лептонные квантовые числа, а также различные лево-право-симметричные модели, предсказывающие существование новых тяжелых резонансов (дважды заряженные хиггсовские бозоны, дополнительные калибровочные бозоны Z' , горизонтальные калибровочные бозоны R , отвечающие горизонтальной симметрии между поколениями кварков и лептонов).

В 2002 г. по инициативе И. А. Голутвина дубненскими физиками было начато систематическое изучение процессов с жесткими мюонами в конечном состоянии (с поперечным импульсом больше 300 ГэВ). Эти исследования отнесены к задачам первого приоритета в физической программе RDMS. Толчком для этих исследований послужил тот факт, что возбужденные мюон-

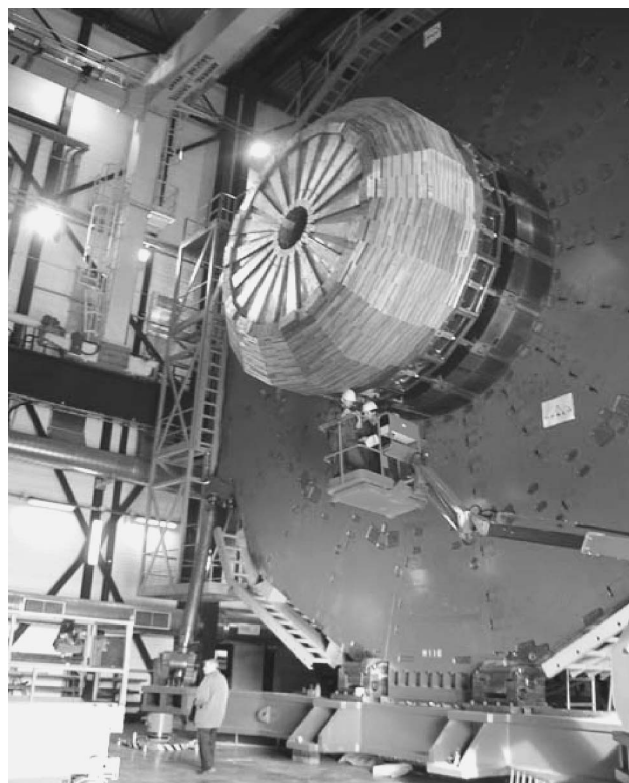
ные состояния, возникающие в моделях с композитными фермионами, дополнительные хиггсовские и калибровочные бозоны, дилептоны $SU(3)$ -модели и лептокварки имеют каналы распада на два мюона. Такие мюоны могут быть использованы для наблюдения новых эффектов, поскольку основной фон в этом случае дает процесс рождения дрелл-яновских пар, описываемый СМ с высокой точностью. Изучение дрелл-яновского спектра пар мюонов в эксперименте CMS позволит проверить предсказания СМ и структуру электрослабых радиационных поправок при значениях инвариантной массы пары мюонов от 2 до 2,5 ТэВ. При инвариантной димюонной массе выше 2,5 ТэВ вклад от дрелл-яновских пар становится пренебрежимо малым по сравне-

Женева, декабрь.

Монтаж установки CMS в наземном зале SX5 в ЦЕРН

Geneva, December.

Installing of the CMS set-up in the ground SX5 hall at CERN



SUSY models are very famed objects on the search for which the CMS experimental efforts are focused. In spite of the supersymmetry concept, other extensions of SM can be built also on the basis of wider groups of symmetry, while SM is embedded into these groups. It leads to the composite structure of leptons and partons, leptoquarks, and various left-right-symmetric models predicting new heavy resonance states (double-charged Higgs bosons, extra gauge bosons Z' , horizontal gauge bosons R).

In 2002, the systematic studies of physics processes with hard muons in the final state ($p_T > 300$ GeV) were initiated by I. A. Golutvin as one of the first priority tasks of the RDMS physics programme. The starting point for these studies is the fact that the excited muon states arising in compositeness models, extra Higgs and gauge bosons, dileptons from $SU(3)$ models, and leptoquarks have a dimuon decay mode that is a favour observation channel on the background of Drell-Yan pairs production, which is described by SM with a high accuracy. The study of the

Drell-Yan spectrum of muon pairs in the CMS experiment allows one to test the predictions of SM and the structure of electroweak radiative corrections up to dimuon invariant masses of $2 \div 2.5$ TeV. In the region above 2.5 TeV the rate of Drell-Yan pairs becomes negligibly small as compared to signals of new physics, which can be, thus, observed with minimal background dependence. The cross-sections of Z' and R production (without high-order corrections) and dimuon rates expected at the CMS are shown in the figure. The discovery limit (100 dimuon events) on the resonance mass for LHC is equal to about 3.5 and 4.5 TeV for 100 and 1000 fb^{-1} of integrated luminosity, respectively [1, 2]. The

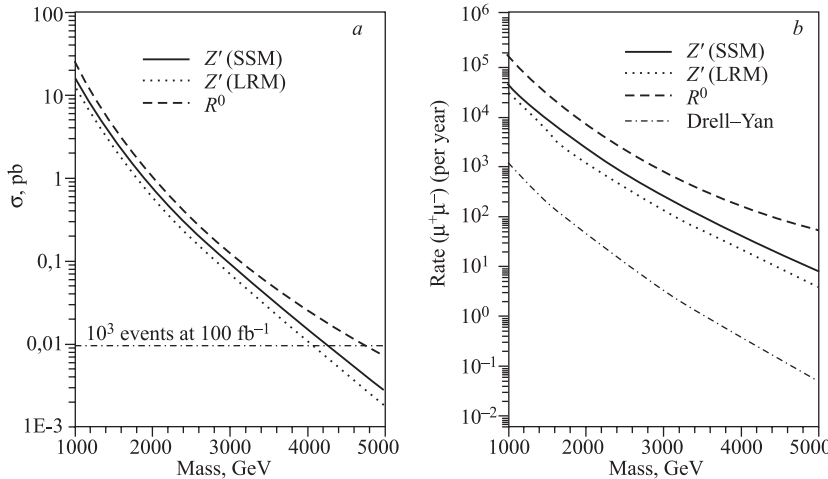
нию с сигналами новой физики. Таким образом, в этой области ожидаемые новые эффекты имеют минимальный фон. Сечения рождения Z' и R (без учета поправок высших порядков) и число мюонных пар в год, ожидаемые на CMS, показаны на рисунке. Предельные значения масс новых резонансных состояний, которые могут быть открыты на LHC (при минимальной статистике 100 событий рождения мюонных пар в год), составляют величины порядка 3,5 и 4,5 ТэВ при интегральной светимости 100 и 1000 fb^{-1} соответственно [1, 2]. Значения масс R^0 -бозона и дважды заряженных хиггсовских бозонов, которые могут быть достигнуты на CMS, оце-

ниваются на уровне около 4,6 ТэВ и 500 ГэВ соответственно при интегральной светимости 100 fb^{-1} [2].

Одной из наиболее сложных и фундаментальных проблем современной теоретической физики является построение единого описания всех известных сил Вселенной, а также адекватного сценария ее рождения и последующей эволюции. В качестве одного из возможных направлений на пути построения такой теории недавно была предложена совершенно новая парадигма существования мира на плоском трехмерном многообразии ($3 + 1$ бране), вложенном в объемлющее пространство высших измерений. В таком рассмотрении дополни-

тельные измерения не являются компактными, как в старом калуца-кляйновском подходе, но могут быть большими или даже бесконечно большими. В теориях такого типа гравитон живет во всем многомерном пространстве, тогда как все остальные силы и поля материи привязаны к бране. При этом спектр калуца-кляйновских возбуждений частиц СМ, например, калибровочных бозонов и гравитона становится наблюдаемым уже на масштабе энергий порядка ТэВ и может быть изучен на LHC. В частности,

Зависимости поперечных сечений рождения Z' - и R -бозонов от их массы (а) и выходов мюонов от распадов этих бозонов от инвариантной массы мюонов (б), ожидаемых на установке CMS при интегральной светимости LHC 100 fb^{-1} . Рождение Z' рассмотрено в рамках последовательной стандартной модели (SSM) и левой-правой модели (LRM). Для сравнения на рис. б показан выход мюонных пар в процессах Дрелла-Яна



Cross-sections of Z' and R production versus the mass of the resonances (a) and dimuon rates versus invariant dimuon mass (b) expected at CMS for LHC integrated luminosity 100 fb^{-1} . The case of Z' production and decay is considered both in Sequential Standard Model (SSM) and in Left-Right Model (LRM). For comparison, the dimuon rate for the Drell-Yan mechanism is shown in plot b

masses of R^0 boson and double-charged Higgs boson which can be reached at CMS are estimated to be about 4.6 TeV and 500 GeV, respectively, for an integrated luminosity of 100 fb^{-1} [2].

One of the most complicated and fundamental goals of modern theoretical physics is to find a «unified» description for all known forces of the Universe as well as an adequate scenario of its creation and evolution. A quite new paradigm

of the large or infinite extra dimension (LED) and brane world scenarios have recently been discussed. In these theories, a graviton lives in the whole multidimensional space, the so-called bulk, while the other forces and particles of the Standard Model are confined to the brane, i. e., usual $3 + 1$ space-time dimensions embedded into the space of the higher dimensions. In these cases the Kaluza-Klein excitations of SM particles and narrow heavy graviton states appear already at the TeV-energy scale and can be probed at LHC. In particular, the

Monte-Carlo studies show that the CMS experiment should be able to test the Randall-Sundrum scenario (RS1) at 95 % CL during one year of the LHC run (with a luminosity of 100 fb^{-1}) for masses of the Kaluza-Klein graviton up to 2.2–5 TeV depending on the coupling constant [2]. In this context the hard muons originated from Z^0 and W decays are also of strong interest as a possible signal of the nonstan-

моделирование показывает, что установка CMS способна проверить Randall-Sundrum сценарий (RS1) по димюонному каналу на 95 %-м уровне достоверности в течение года работы LHC (при 100 fb^{-1}) для диапазона масс калуца-кляйновских возбуждений гравитона от 2,2 до 5 ТэВ в зависимости от величины константы связи [2]. В этом контексте, то есть как возможные сигналы от больших дополнительных измерений, представляют также интерес жесткие мюоны в распадах Z^0 и W (RS2-сценарий или некоммутативные дополнительные измерения) [3].

Физическая программа RDMS включает также изучение CP -нарушения в распадах B -мезонов. В Дубне был разработан пакет моделирования процессов рождения и распада B -мезонов SIMUB [4], который используется как часть общего программного обеспечения CMS. Для изучения возможности использования установки CMS для реконструкции событий «золотого распада» $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ и эксклюзивного B -триггера в Дубне было сгенерировано 20 миллионов таких событий. Результаты соответствующего анализа показали, что, несмотря на высокий порог обрезания по p_T обоих мюонов, на установке CMS можно зарегистрировать до 84 000 событий в год на этапе работы LHC с низкой све-

тмостью. Разработан новый подход к анализу этих событий, который основан на методе угловых моментов и позволяет извлекать из экспериментальных данных одновременно большое число физических параметров, включая разность ширин легких и тяжелых собственных состояний, $\Delta\Gamma_s$ [5]. Этот метод обеспечивает стабильный результат даже на малой статистике (не превышающей 10 000 событий), при которой стандартный метод максимального правдоподобия уже перестает работать. В частности, моделирование показало, что новый метод обеспечивает точность определения $\Delta\Gamma_s$ на уровне 9 % при статистике 100 000 событий и 30 % — при статистике 10 000 событий. При тех же самых условиях метод максимального правдоподобия дает точность для $\Delta\Gamma_s$ не лучше 20 % на статистике 100 000 событий, а для 10 000 событий становится нестабильным.

Продолжается изучение процессов прямого рождения γ и Z с целью калибровки адронного калориметра по каналам « $\gamma + \text{jet}$ » и « $Z + \text{jet}$ », а также моделирование отклика адронного калориметра установки CMS для объединенной системы HE/HF. С использованием пакетов программ CMSJET и CMSIM исследован вклад возможных фонов в неопределенности калибровки. С помощью пакета ORCA было сгенерировано 40 000 событий

standard physics, in particular, for indication of the large extra dimensions (RS2 scenario or noncommutative LED) [3].

The RDMS physics programme also includes the study of CP violation in B -meson decays. The SIMUB package for simulation of B -meson production and decays has been developed in Dubna [4] and incorporated in general CMS simulation software. About 20 million Monte-Carlo events of the so-called CMS golden B decay, $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$, have been produced in Dubna for full simulation and reconstruction of this process in the CMS detector to study the exclusive B -decay trigger. The results of this study show that statistics of about 84 000 events per year can be expected during the low-luminosity run at the CMS detector in spite of quite high two-muon p_T cut required by trigger conditions. A new method based on the angular-moment approach has been developed to extract the physics parameters, including difference of the light- and heavy-eigenstate decay rates, $\Delta\Gamma_s$, from the experimental data on the decay $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ [5]. This method provides stable results for parameter determination even with small statistics ($\leq 10\,000$ events) when the standard maximum likelihood fit does not work at all. In

particular, the Monte-Carlo studies show that the new angular-moment-based method provides for $\Delta\Gamma_s$ determination a 9 % precision with statistics of 100 000 events and 30 % — with statistics of 10 000 events. Under the same conditions, the maximum likelihood fit gives the precision for $\Delta\Gamma_s$ not better than 20 % with statistics of 100 000 events, while with statistics of 10 000 events the fit becomes unstable.

The study of direct γ and Z production for in-site calorimetry calibration with physics processes « $\gamma + \text{jet}$ » and « $Z + \text{jet}$ » is being continued. The CMS hadron calorimeter response of combined HE/HF system was simulated. The contribution of background to the uncertainties of the calibration has been studied using the CMSJET and CMSIM simulation packages. The ORCA production was done for 40 000 « $\gamma + \text{jet}$ » and 150 000 background events. On the basis of the ORCA production, a study of the initial-state radiation and background contributions to the calibration errors has been performed [6].

The development of the CMS Heavy Ion programme is in progress, with dominating contribution of JINR physicists to the topic of Global Characteristics of ultra-relativistic nucleus–nucleus collisions. In the framework of simula-

« $\gamma + \text{jet}$ » и 150 000 фоновых событий. На основе этих данных были изучены вклады излучения в начальном состоянии и фоновых событий в ошибки калибровки [6].

Дальнейшее развитие получили работы в рамках программы исследований с тяжелыми ионами на установке CMS, где дубненские физики внесли определяющий вклад в изучение глобальных характеристик ультрарелятивистских ядро-ядерных взаимодействий. На основе моделирования ядро-ядерных взаимодействий при энергиях LHC была продемонстрирована принципиальная возможность образования кварк-глюонной плазмы даже для событий центральных взаимодействий легких ядер и нецентральных взаимодействий тяжелых [7]. Было изучено влияние процессов вторичных взаимодействий первичных кварков и глюонов в плотной ядерной среде и эффекта партонного экранирования в зависимости от атомного номера взаимодействующих ядер, а также быстрое распределение множественности рожденных партонов [8].

tion of the nucleus–nucleus interactions at the LHC energy, the fundamental possibility of the quark–gluon plasma formation in the light-nuclei central interactions and in the noncentral collisions of the heavy nuclei was shown [7]. The influence of the secondary interactions of initially produced quarks and gluons with dense nuclear matter and parton shadowing effect on the atomic-number and rapidity dependence of the particle multiple production was studied [8].

References

1. *Shmatov S., Palichik V.* Looking for New Gauge Bosons in CMS. Talk presented at the CMS Physics Meeting, CERN, Geneva, 30 April 2002.
2. *Shmatov S., Savina M.* High- p_T Muons Production at LHC. Talk presented at the CMS Week, CERN, Geneva, December 2002; prepared as CMS NOTE.

Список литературы

1. *Shmatov S., Palichik V.* Looking for New Gauge Bosons in CMS. Talk presented at the CMS Physics Meeting, CERN, Geneva, 30 April 2002.
2. *Shmatov S., Savina M.* High- p_T Muons Production at LHC. Talk presented at the CMS Week, CERN, Geneva, December 2002; prepared as CMS NOTE.
3. *Рубаков В. А.* Большие и бесконечные дополнительные измерения // УФН. 2001. Т. 171, № 9. С. 913.
4. *Belkov A. A., Shulga S. G.* // Proc. 6th Intern. School-Seminar on Actual Problems of High-Energy Physics, Gomel, Belarus, 7–16 Aug. 2001; e-print hep-ph/0201283; SIMUB Package web page: <http://cmsdoc.cern.ch/shulga/SIMUB/SIMUB.html>
5. *Belkov A. A., Shulga S. G.* New Method of $\Delta\Gamma_s$ Measurement in $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ Decay and its MC Studies for CMS. Talk presented at the CMS Week, CERN, Geneva, June 2002.
6. *Konopliyanikov V. et al.* CMS IN-2002/014, CERN, Geneva, 2002.
7. *Шматов С. В.* Препринт ОИЯИ P2-2002-180. Дубна, 2002.
8. *Lokhtin I. P., Shmatov S. V., Zarubin P. I.* hep-ph/0212055, Contribution to the CERN Yellow Report on Hard Probes in Heavy Ion Collisions at the LHC.

3. *Rubakov V. A.* Large and Infinite Extra Dimensions // Usp. Fiz. Nauk. 2001. V. 171, No. 9. P. 913.
4. *Belkov A. A., Shulga S. G.* // Proc. 6th Intern. School-Seminar on Actual Problems of High-Energy Physics, Gomel, Belarus, 7–16 Aug. 2001; e-print hep-ph/0201283; SIMUB Package web page: <http://cmsdoc.cern.ch/shulga/SIMUB/SIMUB.html>
5. *Belkov A. A., Shulga S. G.* New Method of $\Delta\Gamma_s$ Measurement in $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ Decay and its MC Studies for CMS. Talk presented at the CMS Week, CERN, Geneva, June 2002.
6. *Konopliyanikov V. et al.* CMS IN-2002/014, CERN, Geneva, 2002.
7. *Shmatov S. V.* JINR Preprint P2-2002-180. Dubna, 2002.
8. *Lokhtin I. P., Shmatov S. V., Zarubin P. I.* hep-ph/0212055, Contribution to the CERN Yellow Report on Hard Probes in Heavy Ion Collisions at the LHC.