

Участие ОИЯИ в экспериментах CMS

С. Шульга

ОИЯИ (Дубна, Россия)

по направлению от ГГУ им. Ф. Скорины (Гомель, Беларусь)

Семинар “LHC Days in Belarus 2017”

Институт Ядерных Проблем Белорусского Государственного Университета,

Минск, Беларусь

17-18 января, 2017 г.

- I. Коллаборация RDMS CMS вчера и сегодня.
- II. Создание, эксплуатация и модернизация CMS.
- III. ОИЯИ и Беларусь в физической программе CMS.
- IV. Заключение
- V. Послесловие

Россия:

Российская Федерация

- Институт физики высоких энергий, Протвино
- Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва
- Институт ядерных исследований РАН, Москва
- Московский государственный университет, Институт ядерной физики, Москва
- Петербургский институт ядерной физики РАН, Гатчина
- Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Ассоциированные члены:

- Центр высокотемпературных технологий Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники, Москва
- Российский федеральный ядерный центр – Научно-исследовательский институт технической физики, Петербург

ОИЯИ

- Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Петербург

Страны-участницы ОИЯИ:

Армения

- Ереванский физический институт, Ереван

Беларусь

- Белорусский государственный университет, Минск
- Научно-исследовательский институт ядерных проблем, Минск
- Национальный центр физики частиц и высоких энергий БГУ, Минск
- Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем, Минск

Болгария

- Институт ядерных исследований и ядерной энергии БАН, София
- Софийский университет, София

Грузия

- Институт физики высоких энергий Тбилисско-го государственного университета, Тбилиси
- Институт физики академии наук, Тбилиси

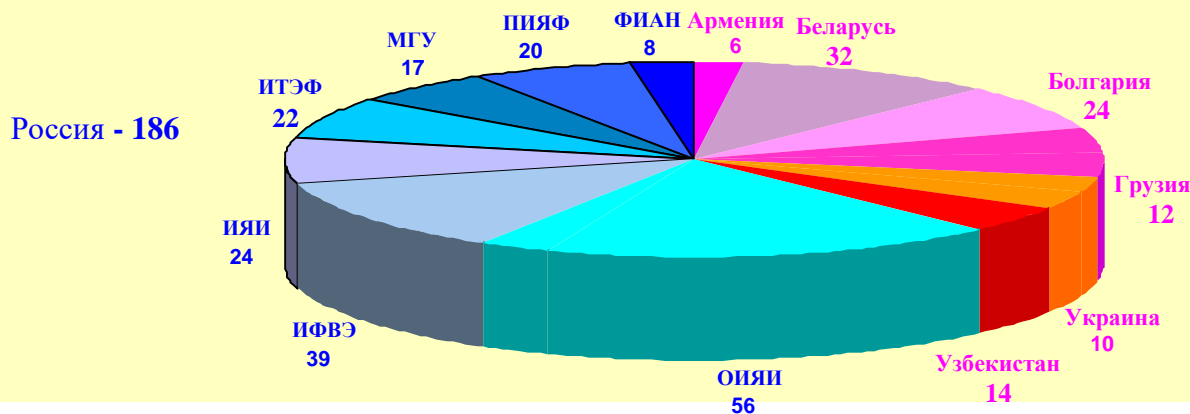
Украина

- Институт монокристаллов национальной АН, Харьков
- Национальный научный центр, Харьковский физико-технический институт, Харьков
- Харьковский государственный университет, Харьков

Узбекистан

- Институт ядерной физики УАН, Ташкент

Страны-участницы ОИЯИ - 98



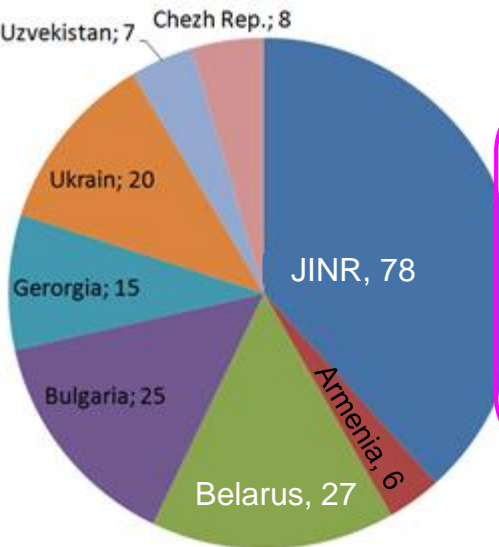
Члены CMS:

страны	7
институты	20
ученые	284

Ассоциированные члены:

институты	4
-----------	---

Участники RDMS CMS: DMS (2016)



A. I. Alkhanian Yerevan Physics Institute, Yerevan, Armenia
N.Grigoryan, A.M.Sirunyan, A.Tumasyan, V.A.Khachatryan, G.A.Hmayakyan, S.A.Chatrchyan

Joint Institute For Power and Nuclear Research - SOSNY, Minsk, Republic of Belarus

V.I.Kuvshinov

Research Institute for Nuclear Problems BSU, Minsk, Republic of Belarus

V.G.Baryshevsky, V.A.Chekhovskiy, G.Yu.Drobychev, O.V.Dvornikov, Ya.Dydyshka, V. Drugakov,
F.Emeliantchik, A.A.Fedorov, M.V.Korzhih, V.I.Kuvshinov, A.V.Litomin, V.V. Makarenko, I.B.Marfin,
I.V.Missevitch, V.A.Mossolov, N.M.Shumeiko, A.V.Solin, R.V.Stefanovitch, J.G.Suarez, A.G.Tikhonov,
R.F.Zuyeuski, D.Yermak, V.Yermolchyk, U. Yevarouskaya, V.A.Zygunov

Research Institute of Applied Physical Problems BSU, Minsk, Republic of Belarus

P.V.Kuchinsky

Byelorussian State University, Minsk, Republic of Belarus

V.V. Petrov, V.S.Prosolovich

Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Sofia, Bulgaria

Angelov, I.Atanasov, G.Anchev, I.D.Vankov, V.I.Genchev, J.Damgov, L.P.Dimitrov, B.I.Panev, S.Piperov,
S.G.Stoykova, G.Sultanov, R.Traynov, P.Yadzhiev

University of Sofia, Sofia, Bulgaria

A.Dimitrov, M.Dyulendarova, V.Kozhukharov, L.Litov, E.Marinova, S.Markov, M.Mateev, B.Pavlov, P.Petkov,
C.Sabev, Zh.Toteva

The High Energy Physics Institute TSU, Tbilisi, Georgia

Iu.Bagaturia, Z.Kepuladze, D.Lomidze, V.N.Roinishvili, L.Rurua, N.Tsverava

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

R.Abramishvili, G.Adamov, M.Dzhanikashvili, O.Kemularia, I.Lomidze, E.Magradze, B.Oikashvili, I.Prangishvili,
D.Tavkhelidze, T.Toriashvili,

Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine

C.Bessonova, O.Bunetsky, A.Isaev, V.Kiska, K.Kimenko, L.G.Levchuk, S.T.Lukyanenko, T.Obikhod, V.Popov,
A.Prostavke, D.V.Soroka, P.V.Sorokin

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkov, Ukraine

V.Kovtun

Institute for Scintillation Materials of NAS of Ukraine, Kharkov, Ukraine

S.Baranik, A.Boyarintsev, N.Galunov, B.V.Grinev, V.R.Lubinsky, O.Sobolev, P.Zhmurin

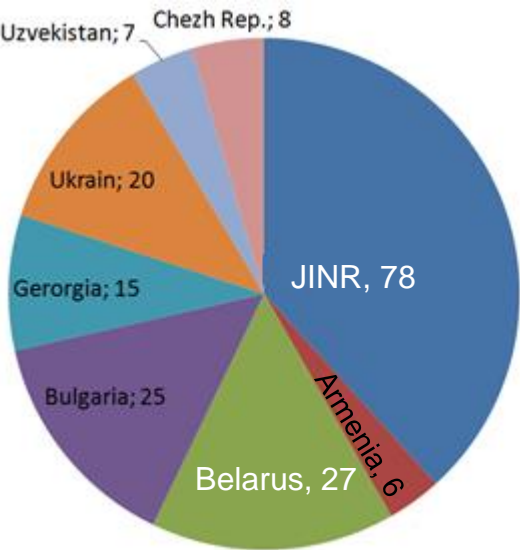
Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of Uzbekistan, Ulugbek, Tashkent, Republic of Uzbekistan

F.Gerayev, Yu.N.Koblik, M.Nishonov, Kh.K.Olimov, A.Umaraliev, M.I.Fasyilov, B.S.Yuldashev

Charles University, Prague, Czech Republic

lak, J. Novy, Z.Kral, M.Slunechka, V.Slunechkova, M.Finger, M.Finger (Jn.), A.Y. A.Janata

108 участников из государств
ОИЯИ (DMS)



Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

V.Yu.Alexakhin, Yu.S.Anisimov, A.B.Arbusov, S.V.Afanasiev, I.I.Belotelov, P.D.Bunin, S.G.Bondarenko, S.E.Vasiliev, A.Yu.Verkhnev, N.N.Voytishin, A.G.Volodko, M.G.Gavrilenko, G.A.Golovanov, A.O.Golunov, A.O.Golunov, I.A.Golutvin, N.V.Gorbunov, I.N.Gorbunov, N.S.Golova, I.M.Gramenitsky, A.V.Dolbilov, N.N.Evdokimov, Yu.V.Ershov, V.E.Zhiltsov, N.I.Zamyatin, A.V.Zarubin, I.S.Kadochnikov, V.D.Kalagin, A.Yu.Kamenev, V.Yu.Karjavin, I.A.Kashunin, L.G. Kobylets, V.F.Konopliyanikov, A.V.Kotikov, G.A.Kozlov, V.V.Korenkov, A.M.Kurenkov, A.V.Lanyov, A.M.Makan'kin, A.I.Malakhov, V.A.Matveev, I.M.Mel'nichenko, A.Mestvirishvili, V.V.Mitsyn, P.V.Moisenz, D.A.Oleynik, G.A.Ososkov, R.S.Pasechnik, V.V.Palchik, I.S.Pelevanyuk, V.V.Perelygin, A.Sh.Petrosyan, M.V.Savina, R.N.Semenov, I.S.Semenyushkin, A.V.Sidorov, A.N.Skachkova, N.B.Skachkov, V.Slunechkova, M.Slunechka, V.A.Smirnov, D.A.Smolin, T.A.Strizh, O.V.Teryaev, E.A.Tikhonenko, V.V.Trofimov, S.V.Shmatov, S.G.Shulga, I.A.Filozova, M.Finger, M.Finger (Jr.), Z.Tsamalaidze, A.Khvedelidze, P.X.Khristova, A.T.Krasikova, A.Yanata, B.S.Yuldashev, V.A.Zygunov

78 участников из ОИЯИ
(включая 3 из Беларуси)

J

- ❖ За RDMS закреплена **полная ответственность** за создание торцевых адронных калориметров HF и передней мюонной станции ME1/1:
руководство проектом и обеспечение выполнения его на всех этапах, включая: разработку, размещение заказов, изготовление, монтаж, запуск, набор экспериментальных данных и научно-техническое сопровождение.
- ❖ а также **участие** в ряде систем CMS:
 - ✓ Передние адронные калориметры, HF
 - ✓ Торцевые электромагнитные калориметры, EE
 - ✓ Предливневые детекторы, SE
 - ✓ Торцевая мюонная система, ME
 - ✓ Передняя защита, FS

Тема ОИЯИ 02-0-1083-2009/2019:

Scientific leader

Anatoly Zarubin

Project leader

Igor Golutvin

Physics coordinator

Sergei Shmatov

✓ Проект “CMS” (2010-2019)

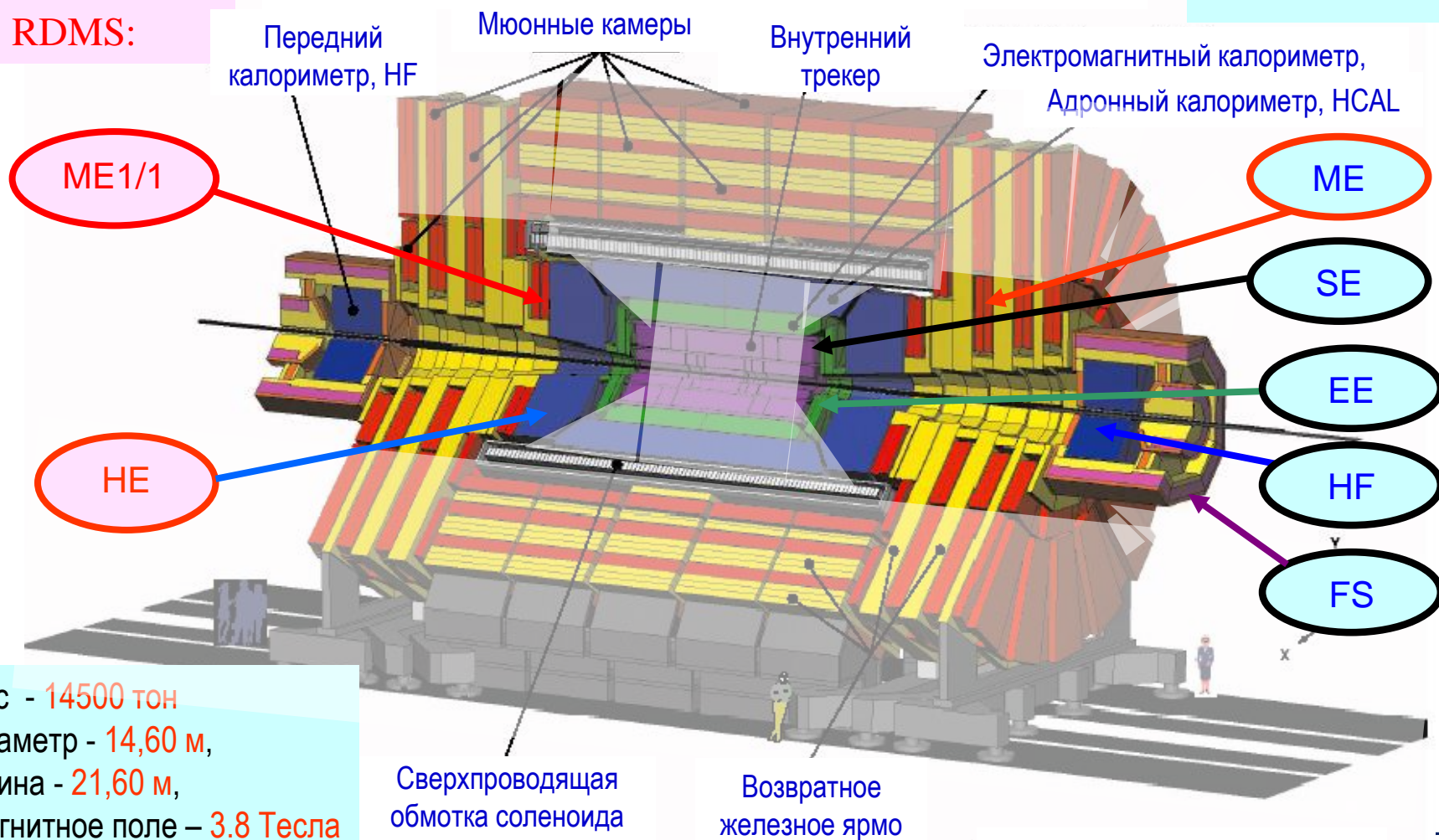
✓ Проект ”Upgrade of the CMS Detector” (2013-2019)

Участие RDMS в проекте CMS направлено в основном на создание торцевой системы детекторов, которая размещается внутри соленоида с полем 4 Тесла и измеряет энергии и импульсы частиц с помощью калориметров и трековых детекторов

Полная
ответственность
RDMS:

Участие
RDMS

CMS



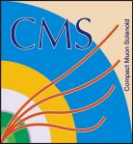
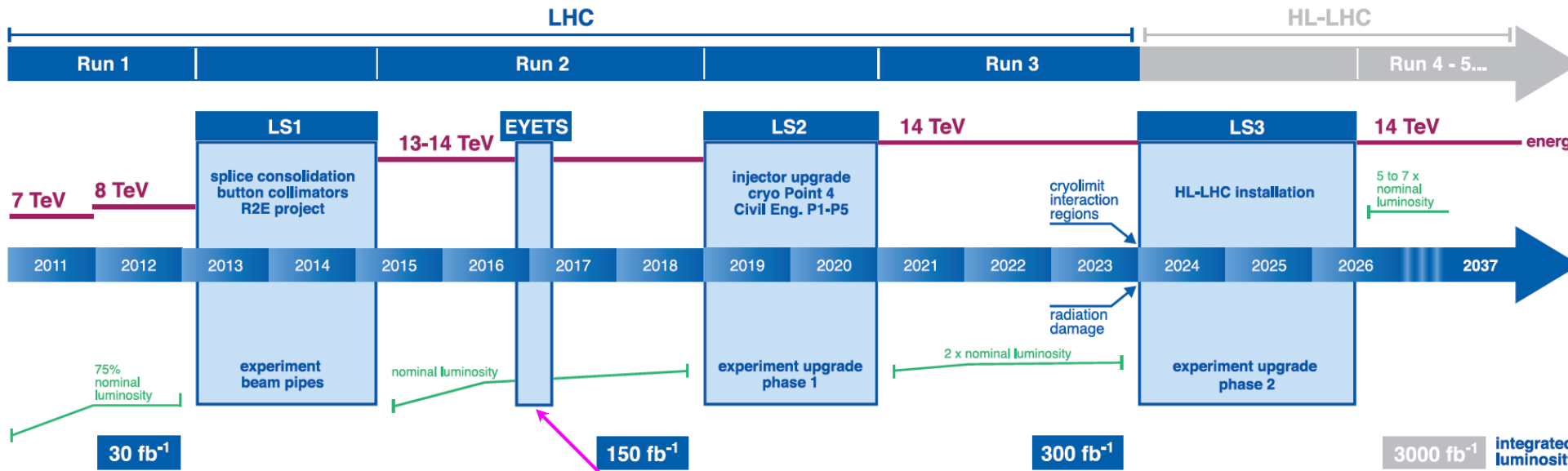


График работы LHC и модернизации CMS



LHC / HL-LHC Plan



$$\langle \mu \rangle \leq 21$$

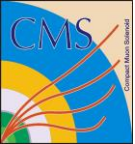
$$\langle \mu \rangle \approx 40$$

$$\langle \mu \rangle \leq 60$$

$$\langle \mu \rangle \approx 140$$

$\langle \mu \rangle$ - среднее число pile-up pp-взаимодействий на одно пересечение пучков

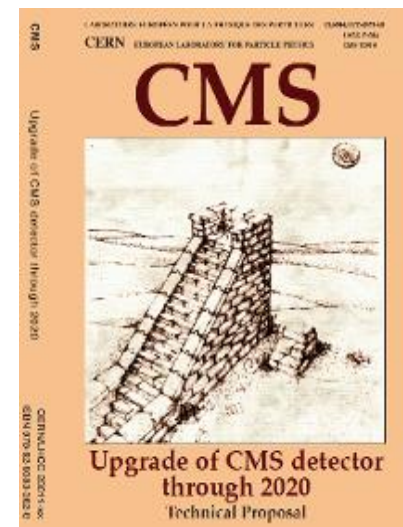
Сейчас мы находимся здесь: EYETS
 Extended Year-End Technical Stop – с декабря 2016 г.
 Интегральная светимость в Run-2 (2016) – 37.8 fb⁻¹
 Планировалось – 25 fb⁻¹



Три задачи RDMS в рамках "CMS Upgrade Project" CERN-RRB-2013-088



- ✓ Muon upgrade Phase 1
→ в основном завершено в 2015
- ✓ HCAL upgrade Phase 1"
→ будет завершено в 2018-2020
- ✓ R&D для калориметрии "Phase 2 HL-LHC"

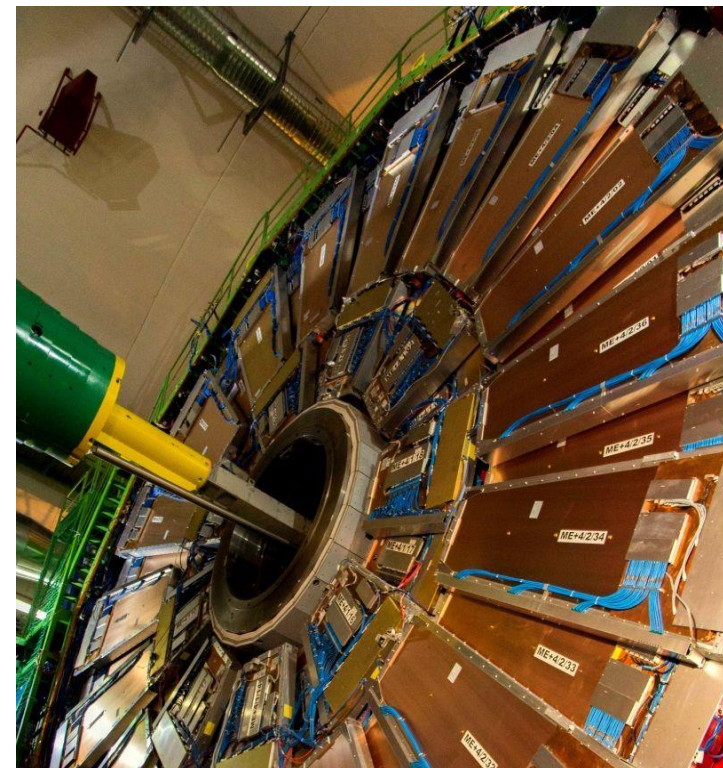




Вклад RDMS в работы по Муон CSC Phase 1 Upgrade (2015)



- ME4/2
 - Все CSC собраны силами ПИЯФ (Гатчина).
 - Вклад РФ: 600 kCHF
- ME1/1
 - Замена электроники для 72 камер
 - Вклад РФ : 90 kCHF
 - Вклад DMS: 500 kCHF
- Улучшение характеристик:
 - понижен “trigger rate”
 - “full acceptance”
- Служба поддержки M&O для эффективного набора данных



Вклад RDMS в работы по "HCAL Phase 1 Upgrade" (2015)

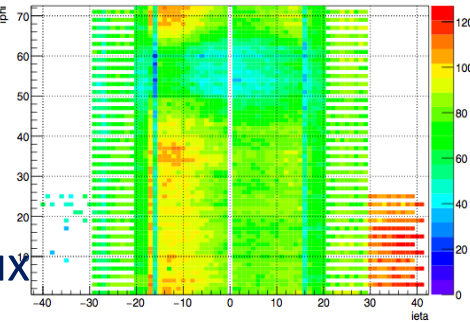
- ❖ Приобретение крейтов, основанных на микротелекоммуникационной архитектуре (microTCA), для новой регистрирующей электроники HCAL:
 - Вклад ОИЯИ – 75 kCHF
 - Вклад РФ – 117 kCHF
- ❖ Приобретение кремниевых фотоумножителей - КФУ (SiPM) для новой считывающей электроники HCAL
 - Вклад РФ – 517 kCHF
- ❖ **Изготовление в Минске** каркасов считывания (RBX - readout box) для проведения длительных тестов новой электроники HCAL в ЦЕРН (участие РБ: Н.Шумейко, С.Савицкий, А.Литомир, В.Чеховский)
 - стенд готов, тесты выполнены
 - Вклад ОИЯИ – 120 kCHF
- ❖ Подготовка документации и **изготовление модулей считывания (RM) в Минске** для установки в них КФУ в ЦЕРН (от РБ: Н.Шумейко, С.Савицкий, А.Литомир, В.Чеховский)
 - Вклад ОИЯИ – 173 kCHF
- ❖ Монтаж модулей считывания с КФУ в детектор CMS
 - Будет выполнено к началу 2018 г.
 - Ожидаемый вклад ОИЯИ – 100 kCHF
 - РФ – 200 kCHF



В ходе набора данных пуско-наладочных работ для адронного “Endcap” (HE) была проделана следующая работа:

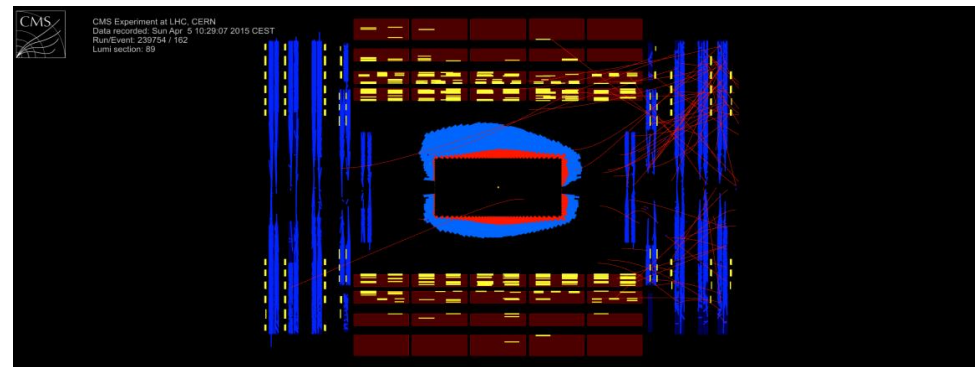
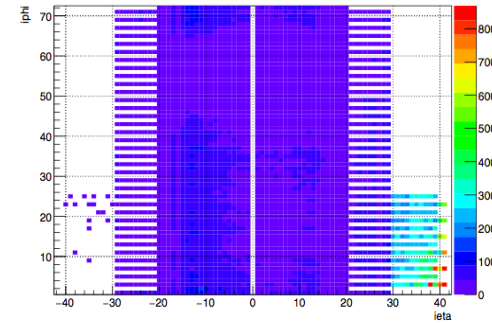
- мониторинг HE в DAQ (Data Acquisition),
- диагностика проблем чтения данных в HE каналах,
- измерение сигнальных параметров электроники “front-end”,
- детектирование проблемных каналов
- определение качества для каждого события - сертификация данных (плохое – хорошее).

Maximum ADC in digi
Max ADC: Run 239754, Lumi 82, Event 144, Depth 1



RecHit energy

RecHit E [GeV]: Run 239754, Lumi 82, Event 144, Depth 1

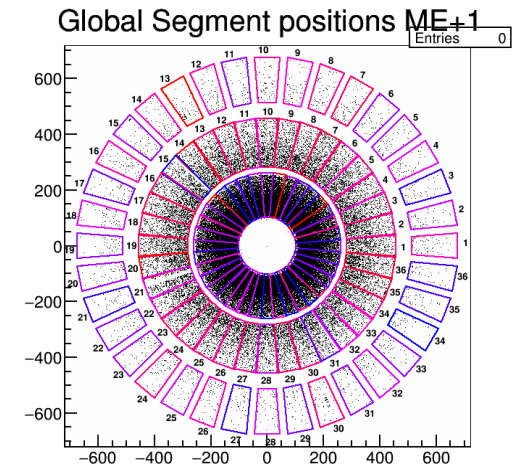
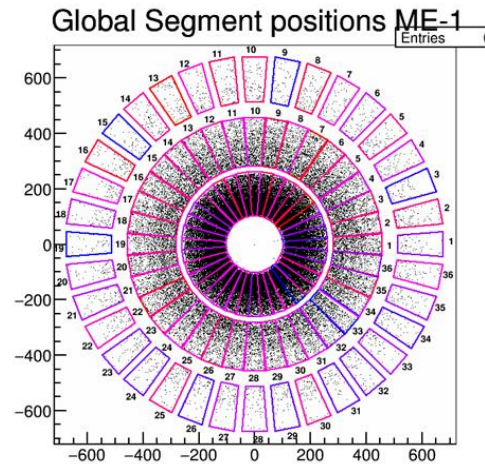
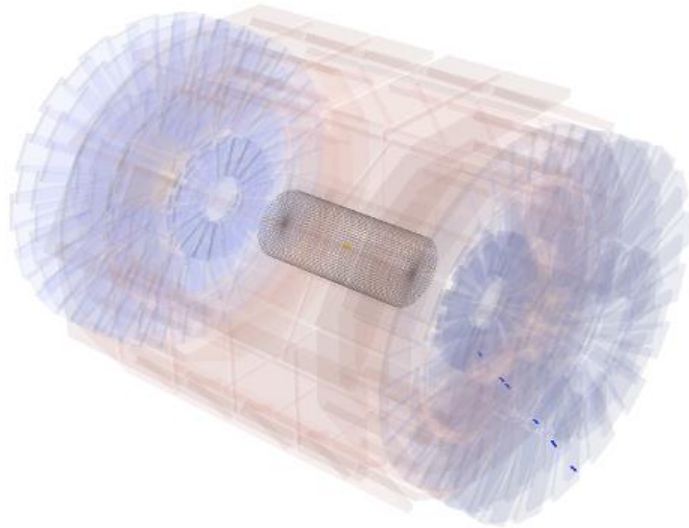


❖ “HE” показал надежную работу после LS1: 100% working channels.

Муон CSC: ввод в эксплуатацию & усовершенствования (2016)

CMS Experiment at LHC, CERN
 Data recorded: Fri Jul 4 01:34:38 2014 CEST
 Run/Event: 222608 / 2536040
 Lumi section: 1004

Track segments in muon stations ME-1 and ME+1

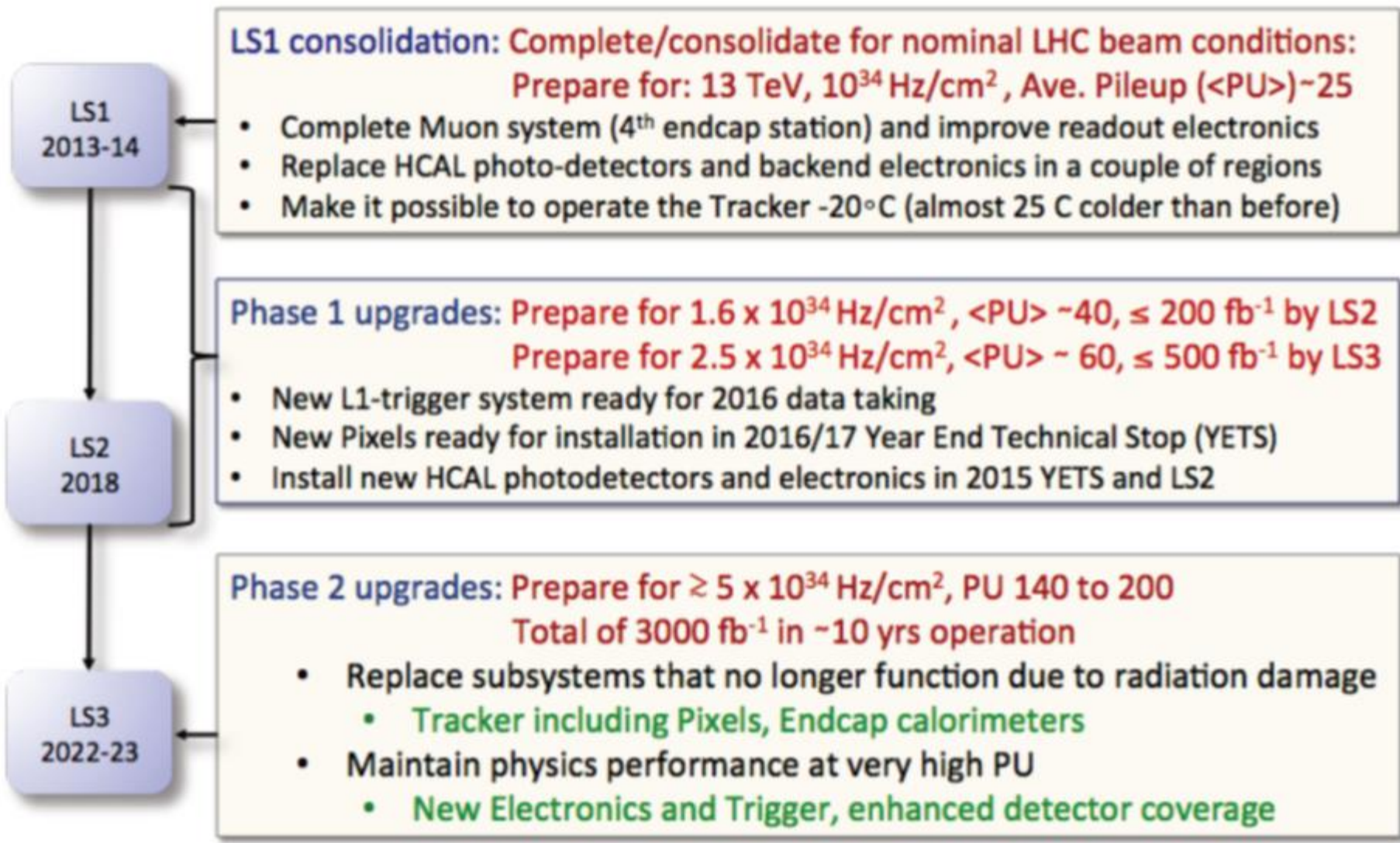


Новый алгоритм реконструкции трек-сегментов

- ME1/1 имеет улучшение на 20% пространственного разрешения по сравнению 2012 г. – результат модернизации CSC электроники.
- Усовершенствован алгоритм реконструкции трек-сегментов в CSC для мюонных треков.
- Данные 2016 г. (13 TeV) и 2012 г. (8 TeV) – в хорошем согласии.

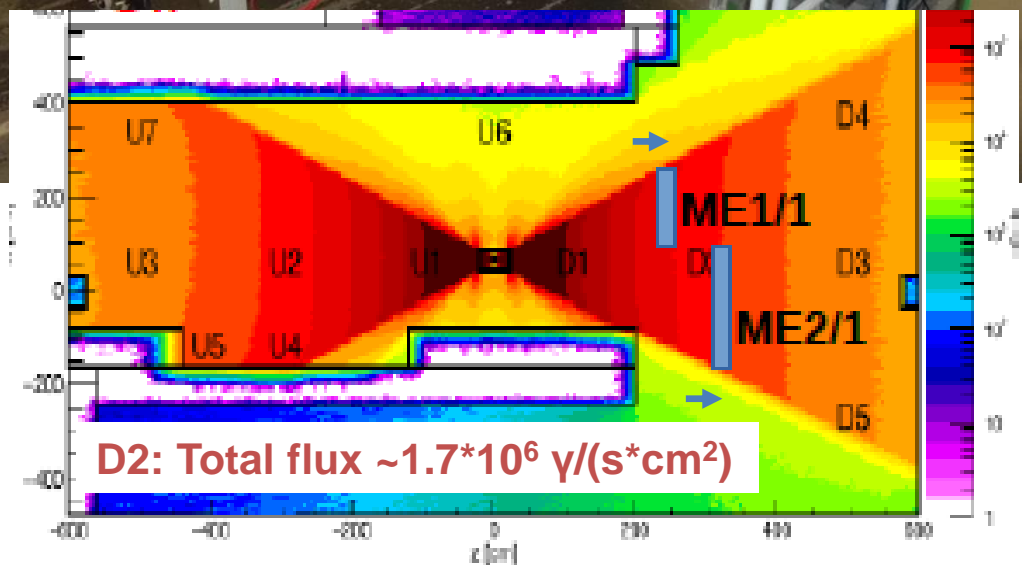


Программа модернизации CMS

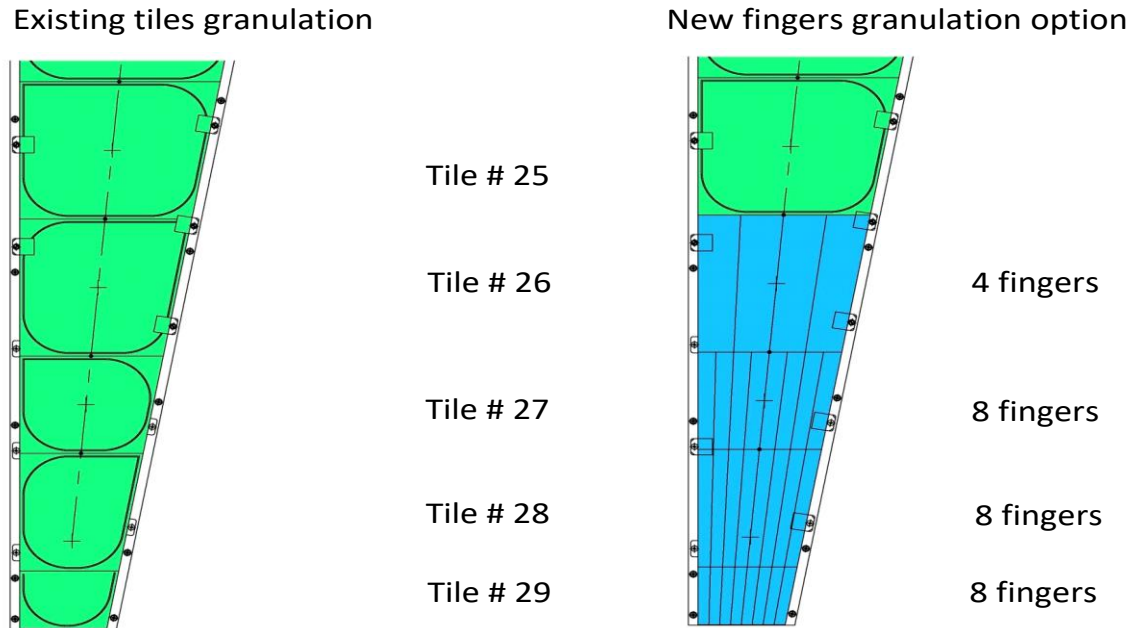


December 9, 2013 CMS Week Opening Session J. Incandella UC-SB/CERN

- ❖ Цель: тестирование ME1/1 и ME2/1 на пучке GIF++ для HL LHC:
 - радиационная стойкость с GIF источником;
 - “Rate”-возможности с GIF-источником и мюонным пучком.
- Дубненский прототип CSC с ортогональными проволоками на стрипах
 - для работы при $V=0$;
 - экипировка электроникой.
- Первые измерения выполнены.

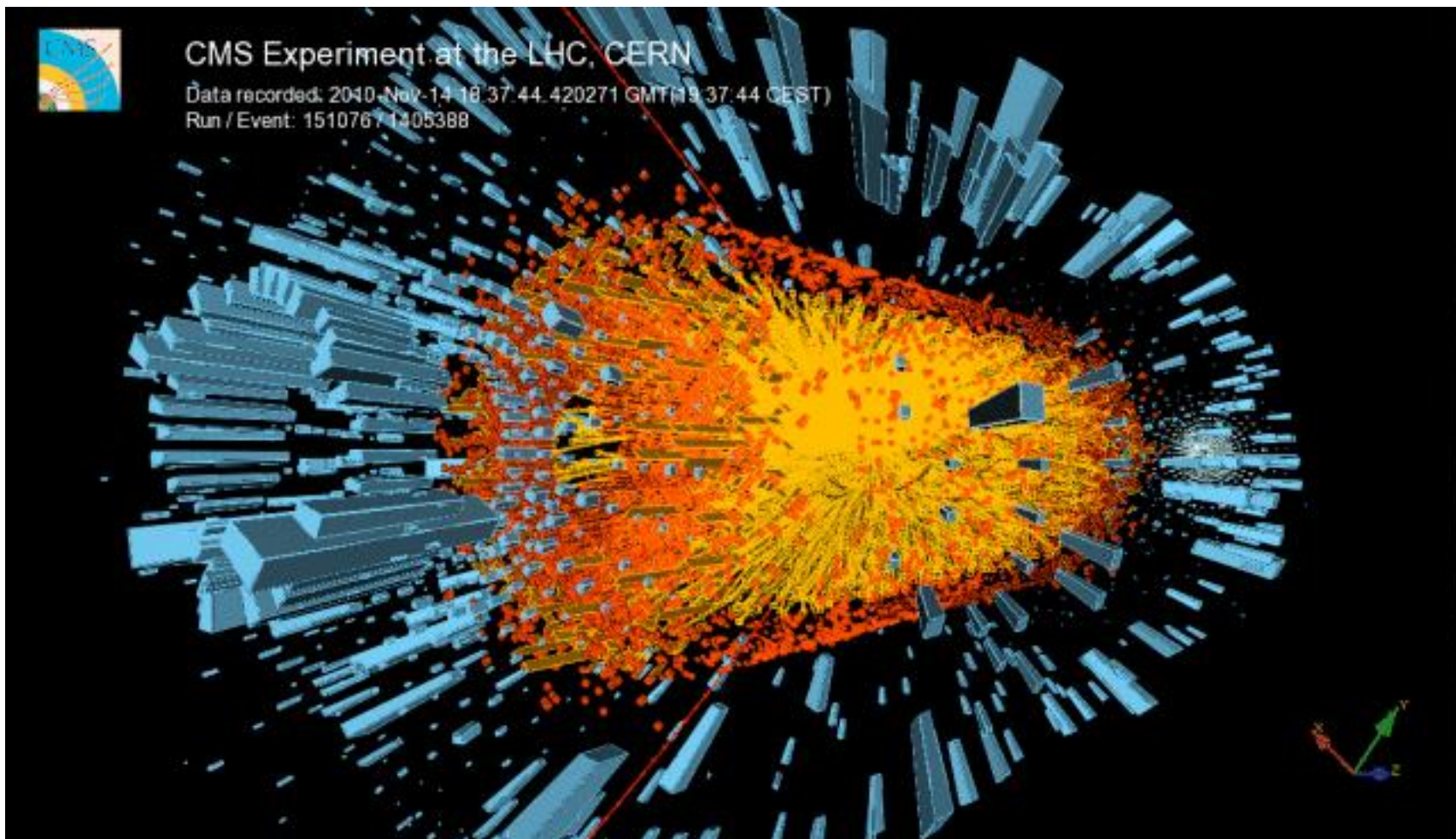


- ❖ Главная проблема для длительной работы HE в условиях облучения - это
 - Недостаточная радиационная стойкость сцинтилляторов;
- ❖ Новая структура стрипа (“finger”) сцинтилляторного элемента
 - предложена новая структура стрипа (“finger”) чтобы увеличить радиационную переносимость, сокращая путь луча в активном материале;
 - Может позволить относительно “дешево” решить проблему работы HE при высокой светимости.



- ❖ Концепция “finger-style” предложена в 2012 г. :
 - см. материалы конференции : Perspective on Physics and CMS at HL-LHC (Alushta 2012)
- ❖ Концепция “finger-style” - в стадии разработки для проекта “HL-LHC Upgrade”.

ОИЯИ + Беларусь в физической программе CMS



Физическая программа CMS

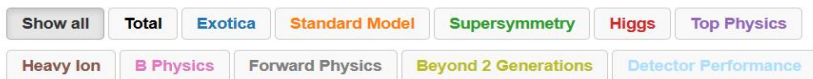


- Физика бозона Хиггса
- Физика стандартной модели (EWK+QCD)
- Физика топ-кварка
- В-физика
- Суперсимметрия
- Физика за рамками СМ
- Физика малых x (forward physics)
- Тяжелые ионы

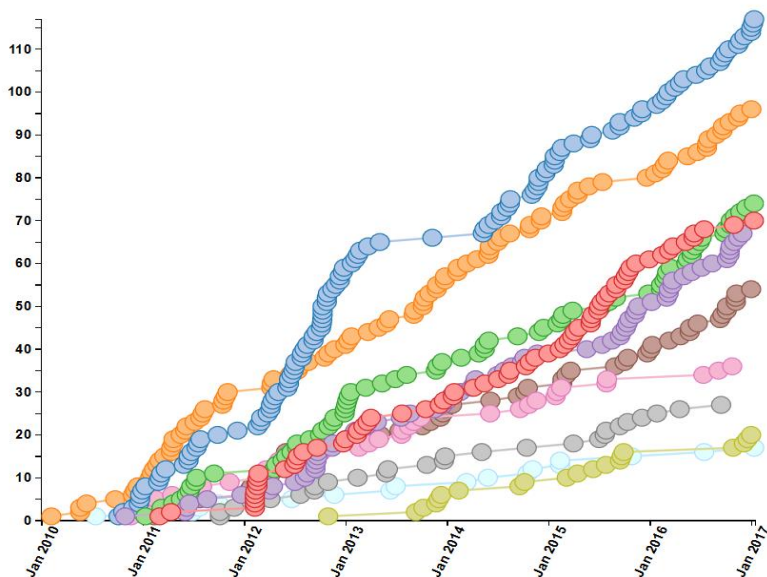
- Приоритет ОИЯИ
- Второстепенное
(или принимали) участие
- ОИЯИ не принимает участие

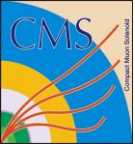
Группы изучения физических объектов

- Мюоны
- Струи и потерянная энергия
- Электроны и фотоны
- Тау-лептоны
- Трекер
- Вершины, b-tagging



577 collider data papers submitted as of 2017-01-09





ОИЯИ в физической программе CMS

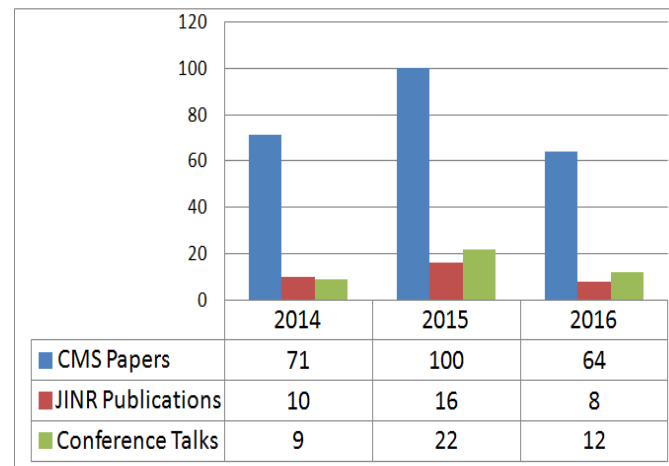


ОИЯИ принимает участие в программе физических исследований CMS с момента образования коллаборации:

- ✓ 1993-2006: подготовка программы, завершившаяся PhTDR в 2006 г
- ✓ 2007-2009: подготовка первого сеанса при пониженной светимости и энергии
- ✓ 2010-2012: Run1 @ 7 и 8 ТэВ
- ✓ 2015-...: Run2 @ 13 ТэВ

Сегодня усилия физиков ОИЯИ сконцентрированы на

- ❖ проверке предсказаний СМ на новом масштабе взаимодействий
- ❖ поиске сигналов физики за рамками СМ
- ❖ физике струй



По экспериментальной и физической программам CMS:

- ❖ 99 авторов от RDMS из 2175 /17 авторов от ОИЯИ + 11 от DMS
- ❖ 6% всех CMS статей писались физиками ОИЯИ (это – более 20 Phys. Analysis Notes)
- ❖ Более 140 докладов на Международных конференциях в 2009-2016 (~67% пленарных и ~33% секционных докладов, половина – молодые ученые)
- ❖ 3 докторских диссертации, 10 кандидатских диссертаций

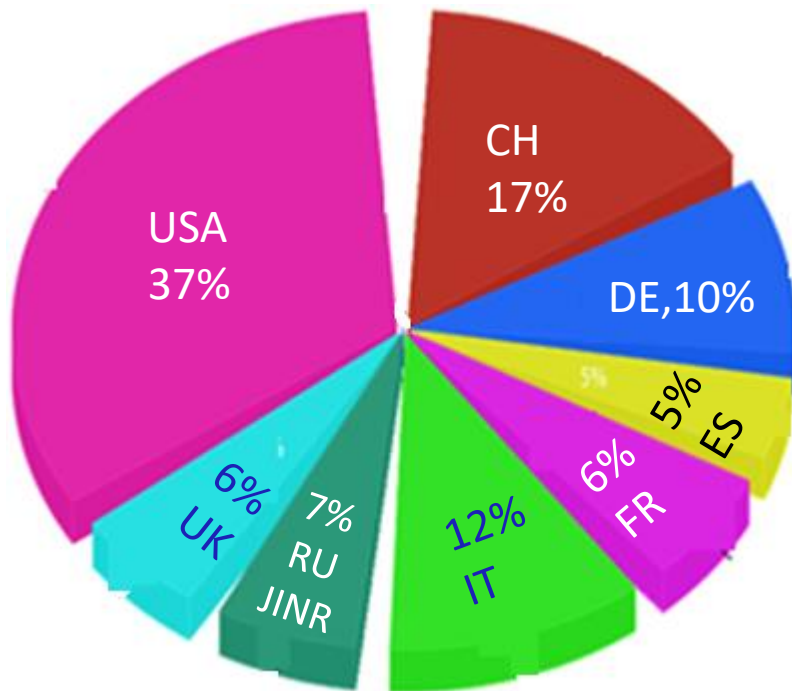
- ❖ Программа исследования физических процессов рождения пар мюонов
 - Исследование рождения пар мюонов в процессе Дрелла-Яна
 1. Измерение дифференциальных сечений
 2. Измерение асимметрии “вперед-назад”
 - Поиск физики за пределами стандартной модели
 3. Дополнительные калибровочные бозоны (Z')
 4. Калуца-кляйновские возбужденные состояния гравитона (GKK)
 - **Исследование свойств бозона Хиггса**
- ❖ Поиск новой физики в каналах с большим количеством струй
 5. Поиск микроскопических черных дыр
- ❖ Изучение физики струй
 6. Измерения корреляционных моментов распределения струй по множественности заряженных адронов в струях

- Приоритет ОИЯИ
- Второстепенное участие

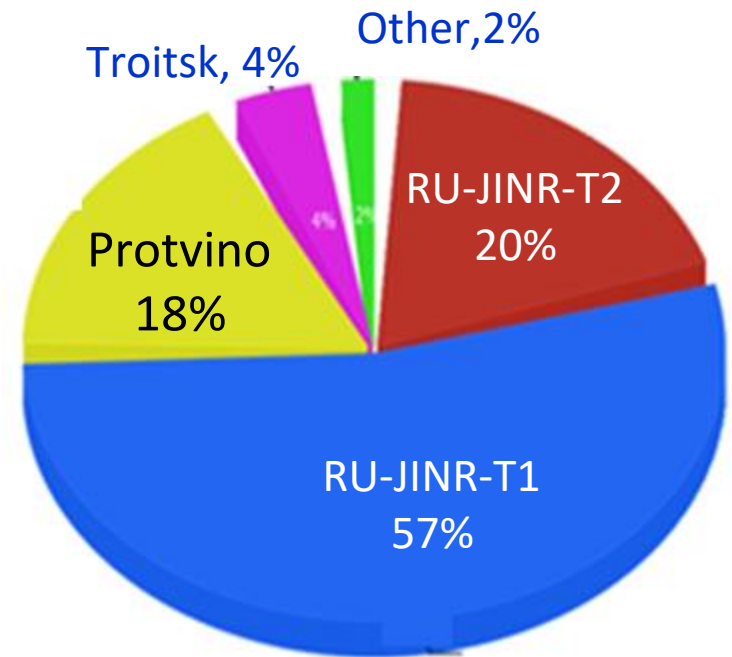
Tier-1 и Tier-2 в ОИЯИ



- ❖ Обработка данных LHC и анализ – в рамках WLCG (Worldwide LHC Computing Grid) посредством распределенных компьютерных центров.
- ❖ В ОИЯИ созданы Tier-1 и Tier-2 центры, а также региональный операционный центр (CMS ROC)



Tier-1 в ОИЯИ составляет 7% от всех CMS Tier-1



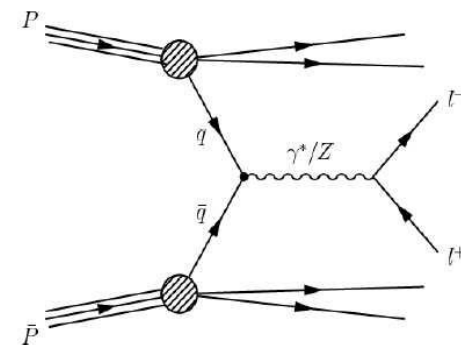
Компьютерный центр ОИЯИ составляет 77% всех компьютерных ресурсов RDMS

Почему мюоны?

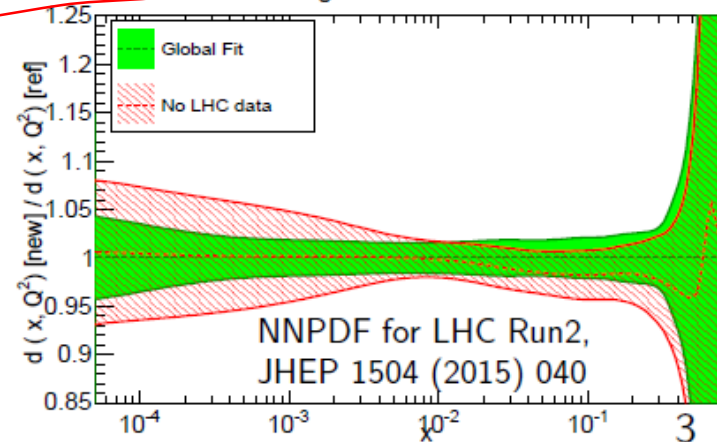
- ✓ Мюон – один из главных контрольных объектов в дизайне детектора Compact Muon Solenoid (CMS);
- ✓ Физики из Дубны играли/-ют важную роль в концептуальном дизайне CMS, в подготовке физической программы (Physics TDR), в физическом анализе;
- ✓ Сильное магнитное поле и большая длина пробега;
- ✓ Высокоточный мюонный детектор и эффективный триггер.

Почему ди-мюоны?

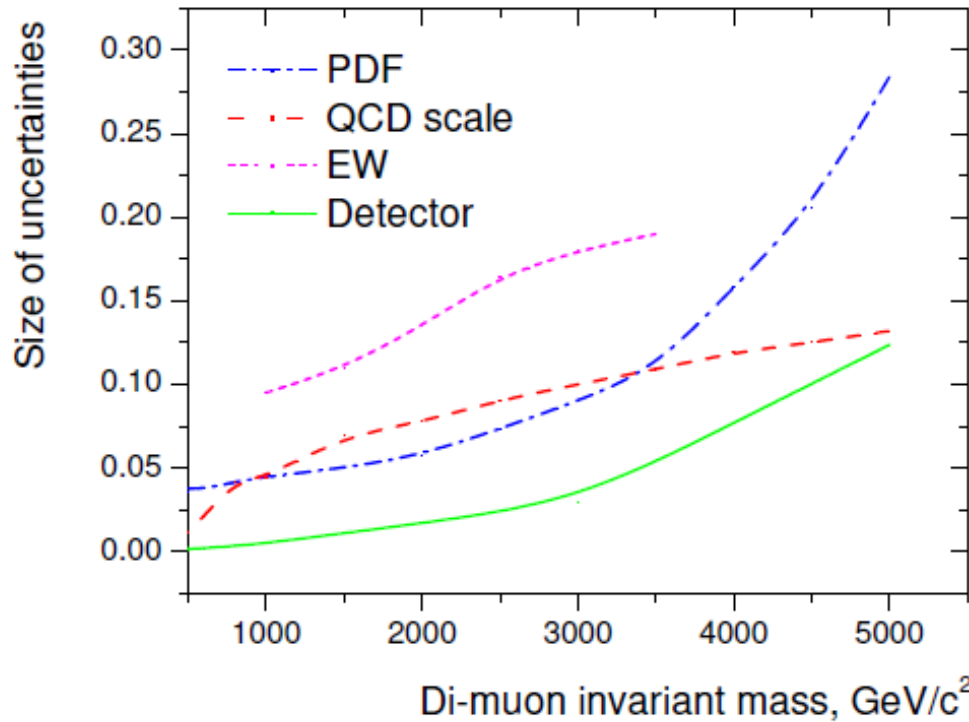
- ✓ Важный канал для тестирования Стандартной Модели (СМ): малое сечение процесса Дрелла-Яна, но в противовес – чистота сигнала по сравнению с физикой струй.
- ✓ Теоретические сечения Д-Я вычислены до порядка NNLO, что позволяет тестировать pQCD.¹
- ✓ Поиск резонансов с большой массой пары мюонов для поиска новой физики в ди-мюонном канале в области больших инвариантных масс (иницировано в ОИЯИ, 2002).
- ✓ Физические процессы в комбинации с Z-бозоном для подавления фонов.



NNLO, $\alpha_s = 0.118$, $Q^2 = 10^4 \text{ GeV}^2$



¹ Красным контуром очерчен интерес Белорусской группы физиков



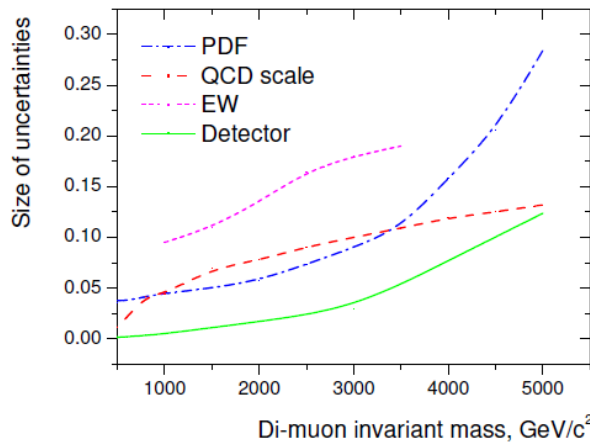
CMS Physics TDR, V.2 (2006)

Величины неопределенностей сечения процесса Дрелла-Яна:

- ✓ PDF (update В. Конопляникова, 2014 г.)
- ✓ QCD-scale (update В.Конопляникова, 2014 г.)
- ✓ EWК (вычисления В.Зыкунова 2005 г.)

+

детекторная неопределенность



Теоретические неопределенности значительно превышают детекторные неопределенности. Поэтому работы по уменьшению теоретических неопределенностей жизненно необходимы для анализа данных.

- ❖ Работы по расчетам радиационных поправок инициированы 40 лет назад:
Д.Бардин, Н.Шумейко (1976)
А.Ахундов, Д.Бардин, Н.Шумейко, Кухто (1982)

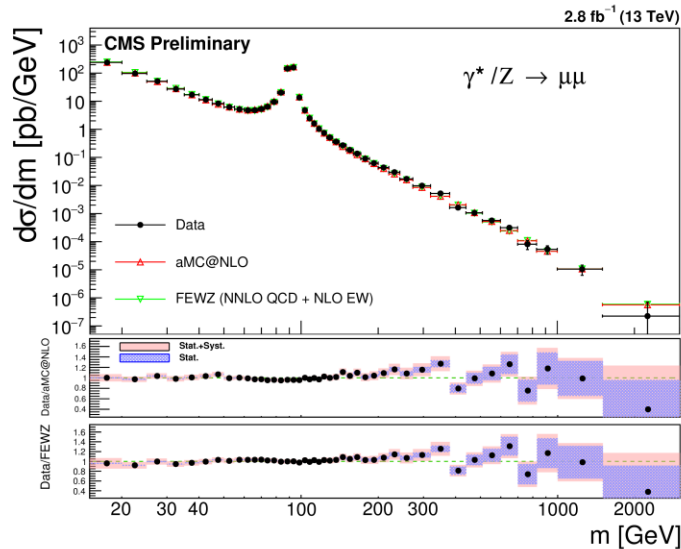
- ❖ В ОИЯИ и в Беларуси накоплен большой опыт теоретических расчетов:
 - ✓ LPPG (Е.Дыдышка, J. Suarez Gonzalez, В.Ярмольчик)
 - ✓ SANC (Д. Бардин и др., ОИЯИ)
 - ✓ POLRAD (И.Акушевич, Н.Шумейко)
 - ✓ RADGEN (И. Акушевич, Н.Boettcher, D.Ryckbosch)
 - ✓ MERADGEN (А. Афанасьев, Е.Чудаков, А. Ильичев, В. Зыкунов)
 - ✓ ELRADGEN, BHGEN (И. Акушевич, А. Ильичев, Н. Шумейко и др.)

- ❖ Расчет теоретических EW-сечений в высших порядках и соответствующих теоретических неопределенностей – важнейшая часть работы Белорусских физиков в CMS.
- ❖ В продолжении этой работы крайне заинтересованы группа CMS в ОИЯИ.

❖ В полной ответственности физ. группы ОИЯИ - анализы в ди-мюонном канале: сравнение Data-MC (рис. слева) и асимметрия "вперед-назад" (рис. справа).

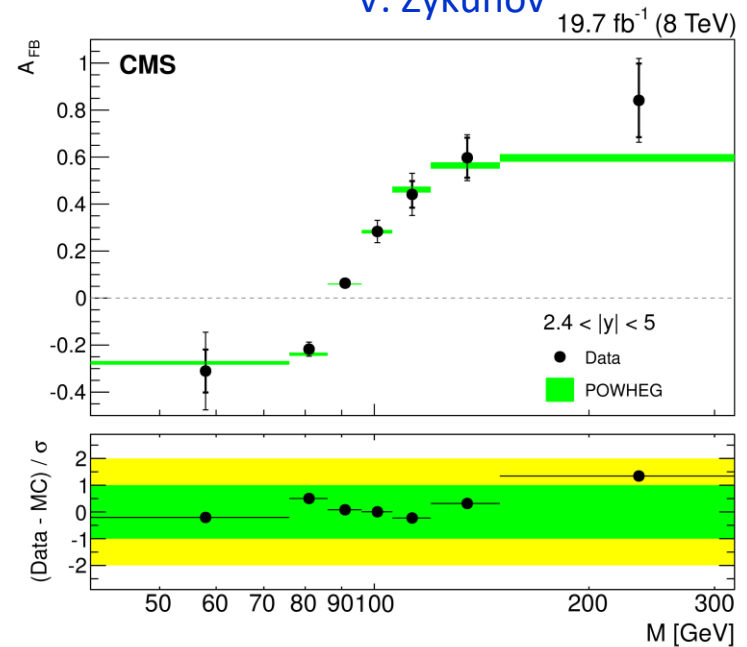
❖ Теоретические расчеты – главный интерес группы из Беларуси:

V. Drugakov, U. Yevaroskaya
 J. Suarez Gonzalez
 Y. Dydyzhka, V. Yermolchik
 V. Zykunov



Дифференциальное сечение Д-Я, измеренное в мюонном канале и предсказания NNLO
 CMS-PAS-SMP-16-009

- Интервал масс 15-3000 ГэВ (43 бинов)
- Систематическая неопределенность:
 - малые массы: ~ 3%
 - большие массы: вплоть до 150%
- Хорошее согласие теории и эксперимента



Phys.Lett. B 718 (213) 752 arXiv:1207.3973 → 7 TeV
 Eur.Phys.J C76 (2016) 325. arXiv:1601.04768 → 8 TeV

Хорошее согласие теории и эксперимента

Поиск узких резонансов в спектре ди-мюонных масс – задача 1-го приоритета в группе CMS в ОИЯИ:

- ✓ 2002-2004 – мотивация и первые анализы
- ✓ 2006 – PhTDR (+3 CMS Notes) – анализ для $\sqrt{s} = 14$ TeV
- ✓ Публикации и результаты по поиску тяжелых ди-лептонных резонансов:

Date	Paper		\sqrt{s} , TeV	L, fb ⁻¹	Z' TeV	
	Reference	arXiv			SSM	Z' _ψ
03.2011	JHEP 05 (2011) 093	1103.0981	7	0.040	1.14	0.89
06.2012	PL B714 (2012) 158	1206.1849	7	5	2.33	2.00
12.2012	PL B720 (2013) 63	1212.6175	7+8	5.3+4.1	2.59	2.26
12.2014	JHEP 04 (2015) 025	1412.6302	8	20.6	2.90	2.57
12.2015	CMS PAS EXO-15-005		13	2.8	3.15	2.60
08.2016	CMS PAS EXO-16-031		13	13.0	4.0	3.5

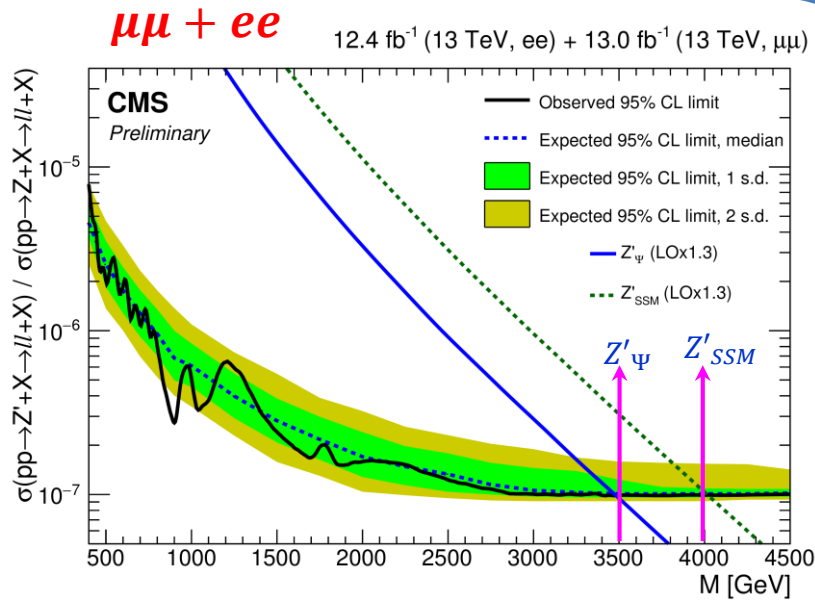
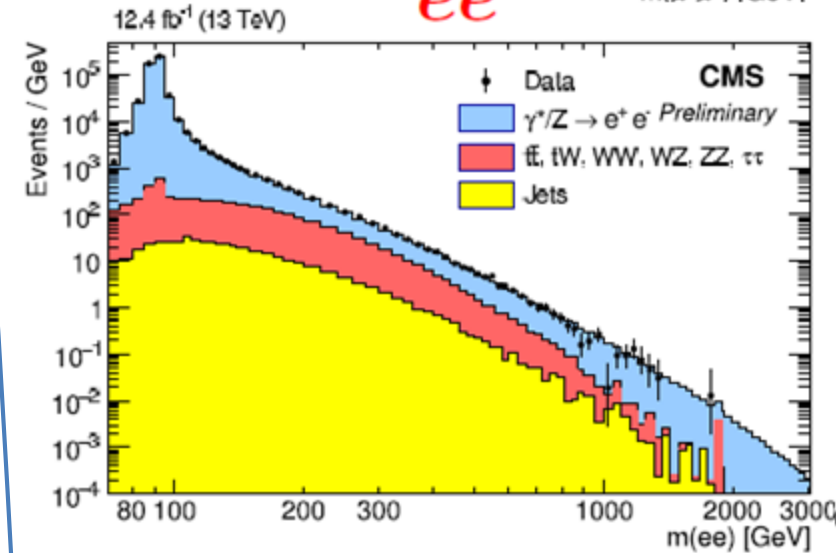
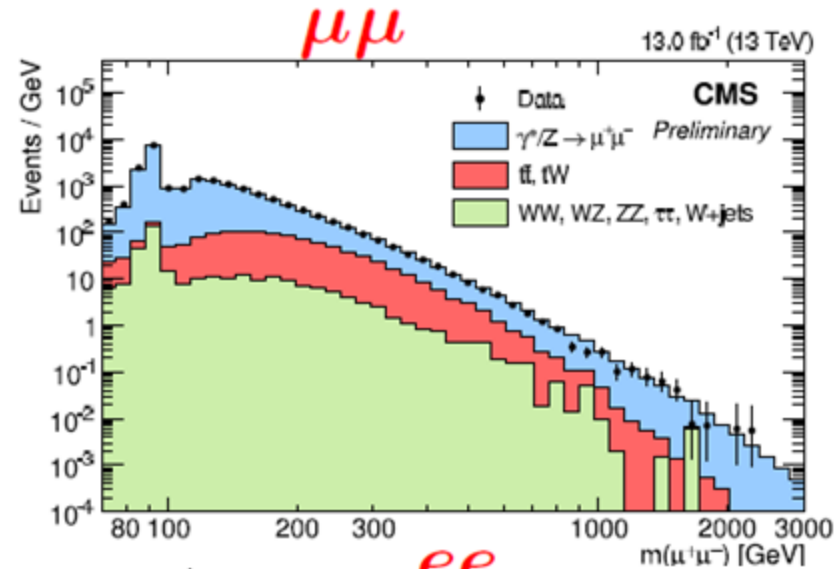
Комбинация ($\mu\mu^- + e^+e^-$) существенно расширяет область Z' SSM с константой взаимодействия как в SM исключен на уровне достоверности 95% ниже 4 ТэВ Z'_ψ исключен ниже 3.5 TeV (см. также след. слайд)

Поиск сигналов вне СМ в канале с ди-мюонами

CMS PAS EXO-16-031

Спектр ди-лептонных масс при 13 ТэВ

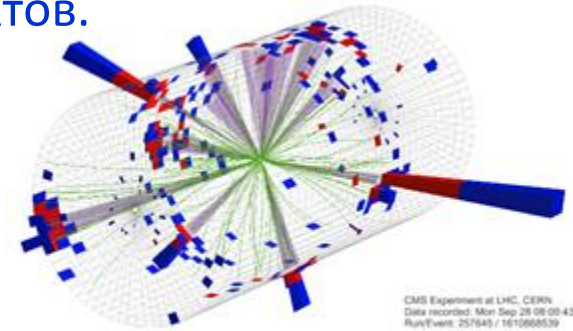
- Триггер: $p_T(\mu) > 50$ ГэВ, $p_T(e) > 33$ ГэВ
- Хорошее согласие Data/MC
- Наибольшая масса ди-лептона: 2.2 ТэВ ($\mu^+\mu^-$) и 2.9 ТэВ (e^+e^-)



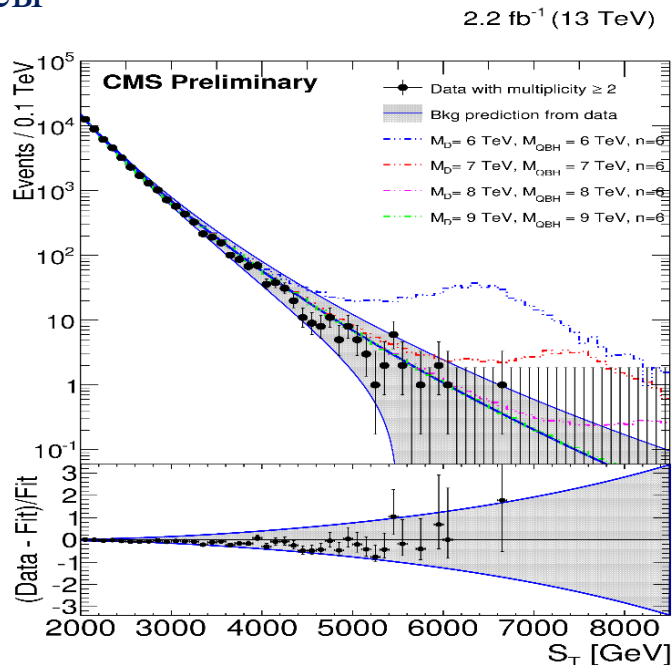
95% уровень достоверности на отношение сечений $\sigma_{Z'}/\sigma_Z$ в предположении наличия узкого резонанса

В моделях с дополнительными измерениями фундаментальный масштаб (масса Планка) может быть порядка ТэВ, т.е. гравитация становится сильной в области энергий LHC. Это приводит к возможности рождения на этих масштабах гравитационных объектов.

- ❖ Особенности рождения и эволюции такие же, как у классических черных дыр (вращение, потери энергии и момента, излучение, остатки и пр.)
- ❖ Свойства: изотропный распад объекта большой массы



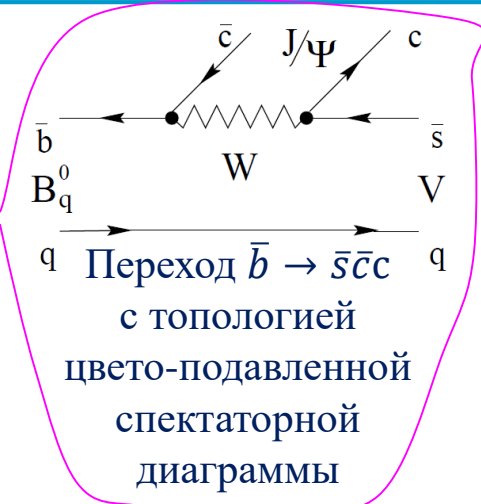
CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon Sep 28 08:09:43 2015 CEST
Run/Event: 257843 / 1610668539



- ❖ Наблюдаемая переменная: сумма поперечных энергий всех частиц в событии + полная потерянная поперечная энергия

$$S_T \equiv \sum E_T$$

Предел на массы подобных объектов от 4 до 9 ТэВ в зависимости от сценария рождения и эволюции



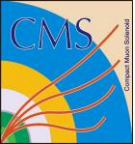
- ❖ Динамика распада описывается 4-мерной функцией распределения с 4-мя кинематическими переменными **время распада** (во вторичной вершине) и **3 угла**.
- ❖ Осцилляции $B_0^s(t) - \bar{B}_0^s(t) \Rightarrow$ Наблюдаемое состояние в момент времени распада – смесь B_H (“тяжелое”) и B_L (“легкое”)
- ❖ Измеряемые величины:
 - ✓ Фаза непрямого CP-нарушения ϕ_s ;
 - ✓ Разности масс $\Delta M_s = M_H - M_L$ и ширин $\Delta \Gamma_s = \Gamma_H - \Gamma_L$ и др.

- Написан генератор SIMUB (+ интерфейс с Pythia6) А.Бельков, С.Ш. CPC, 156 (2004)
- Написана программа анализа BtoVVana А.Бельков, С.Ш. CPC, 174 (2006)
- Предложен модифицированный небиноный метод моментов.
- Выполнено полное моделирование измерений.
Т.Ильичева, С.Ш. и др. Nucl.Phys.B 156(2006)
CMS Physics TDR, V.2 (2006) P.113.

В настоящий момент измерена только малая часть того, что в этих богатых каналах заложено. **Задача:** применение разработанных нами методов для анализа данных CMS

CMS, Phys.Lett. B 757(2016).
ATLAS JHEP, 12 (2012)
LHCb Phys.Lett, B736 (2014)

	ϕ_s	$\Delta \Gamma_s, ps^{-1}$
LHCb	$-0.058 \pm 0.049 \pm 0.006$	$0.0805 \pm 0.0091 \pm 0.0032$
CMS	$-0.075 \pm 0.097 \pm 0.031$	$0.095 \pm 0.013 \pm 0.007$
ATLAS	$0.22 \pm 0.41 \pm 0.10$	$0.053 \pm 0.021 \pm 0.010$
Theory(SM)	-0.0363 ± 0.016	0.087 ± 0.021



Канал γ +jet и шкала энергии струи



В. Конопляников
 1.01.1957-7.04.2013
 ГГУ (Гомель, Беларусь)
 Работа в ОИЯИ: 1989-2013

- ❖ Канал “ γ +jet” для CMS: **Н. Скачков, 1998.**
- ❖ Калибровка шкалы энергии струи с помощью “ γ +jet” events (**В. Конопляников**, канд. диссертация, 2008)

$$q + g \rightarrow q + \gamma, \quad q + \bar{q} \rightarrow g + \gamma$$

- ❖ $k_{jet} = \frac{P_T^{jet}}{P_T^{q/g}} \neq \frac{P_T^{jet}}{P_T^\gamma}$ - калибровочный коэффициент.

$$P_T^\gamma + P_T^{q/g} + P_T^{ISR} = 0.$$

- ❖ Баланс $P_T^\gamma + P_T^{q/g}$ and $P_T^\gamma + P_T^{jet}$ нарушает ISR.

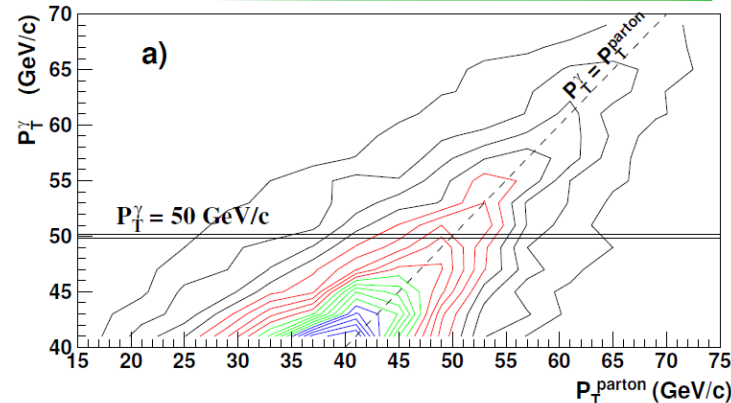
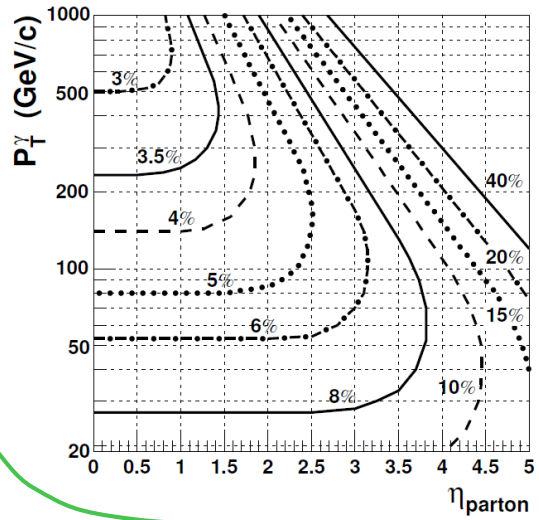


Fig.1: 2D-histogram: $P_T^{q/g}$ vs. P_T^γ

Fig. 2: Disbalance $\frac{P_T^\gamma + P_T^{q/g}}{P_T^\gamma} \%$ as a function of $\eta^{q/g}$ and P_T^γ



- ❖ **Найдены условия подавления фонов**

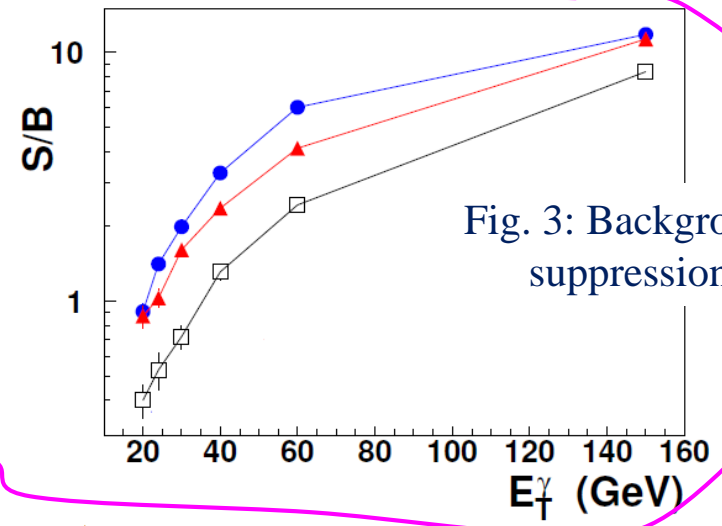


Fig. 3: Background suppression

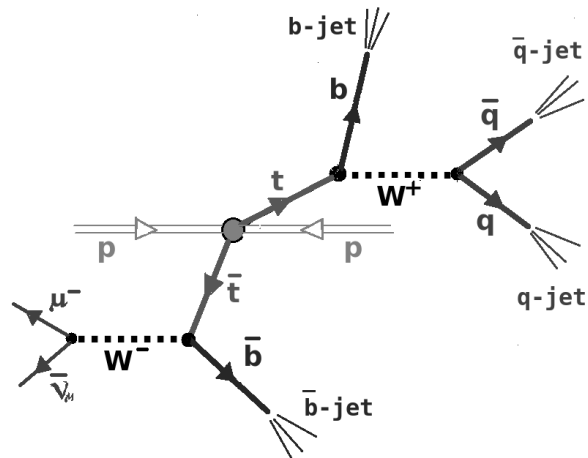
Благодаря исследованиям **В. Конопляникова** для “ $\gamma + \text{jet}$ ”-канала мы знаем:

- ✓ Как подавить излучение в начальном состоянии
- ✓ Как подавить фоны
- ✓ Сколько событий “ $\gamma + \text{jet}$ ” мы будем иметь

Эти исследования В. Конопляникова – прекрасная стартовая точка для измерений корреляционных моментов в струях, рожденных в “ $\gamma + \text{jet}$ ” канале.

Задача:

Измерения распределений по зарядовой множественности в кварковых и глюонных струях для канала “ $\gamma + \text{jet}$ ” входит в наши ближайшие планы.



- Две b-струи
- Две струи легких кварков
- N глюонных струй

Преимущество канала – чистота. Это позволяет:

- ✓ Использовать комбинацию “W-струи” для поправки к энергии струи (“absolute jet energy scale”);
- ✓ Исследовать свойства струй легких кварков, b-струй и глюонных струй в одном канале.

❖ Поправки к энергии струи исследованы

- для MC: *В. Конопляников, А. Тумасян (2012)*
- Для данных CMS (2012) : CMS AN-2012/478 *В. Конопляников, С.Ш.*

❖ Методика, разработанная *В. Конопляниковым* для канала $pp \rightarrow t\bar{t} \rightarrow W(l\nu_l)bW(q\bar{q})\bar{b}$ - прекрасная стартовая точка для исследования внутренних свойств струй.

Первые измерения зарядовой множественности в этом канале для кварковых и глюонных струй находится в стадии подготовки статьи:
CMS AN-2015/217, *С. Шматов, А. Зарубин, С.Ш.*

Измерения зарядовой множественности (ЗМ) в струях: перспектива



- ❖ Корреляции частиц в струе – предмет исследования в связи с измерениями ЗМ.
- ❖ Локальные законы сохранения квантовых чисел в процессе партонного ветвления и адронизации – причина коротко-радиусных корреляций.
- ❖ Корреляции в струях *чище* отражают фундаментальные законы в сравнении с корреляциями во всем событии.
- ❖ Методика измерений ЗМ в струях отработана на полу-лептонном $t\bar{t}$ -канале и теперь может использоваться для анализа струй в разных каналах
- ❖ Цель – прецизионные измерения внутренних свойств струй *в разных условиях* их формирования.

В наших ближайших планах:

измерения средней ЗМ и высших корреляционных моментов для струй, рожденных в каналах “**dijets**”, “ **$\gamma/Z/W$ +jet**” на данных CMS (Run-2).

Мы будем приглашаем студентов и аспирантов для этой работы.

- ❖ ОИЯИ и страны участницы RDMS внесли значительный вклад в создание, модернизацию и эксплуатацию детекторных систем CMS.
- ❖ В физической программе CMS коллаборация RDMS участвует в большинстве направлений анализа и имеет ряд анализов, в которых вклад RDMS решающий.
- ❖ Вклад ученых из Беларуси на всех этапах создания и модернизации CMS весьма значительный.
- ❖ Высокой оценки заслуживает работа физиков из Беларуси на всех этапах формирования и реализации физической программы CMS.
- ❖ ОИЯИ заинтересовано поддерживать и развивать контакты с институтами Беларуси как по физической программе так и по планам модернизации CMS.
- ❖ Для этого необходимо направлять молодых ученых из Беларуси для работы на контрактной основе в ОИЯИ. В группах накоплен уникальный многолетний опыт, который необходимо передавать молодым.
- ❖ Мы приглашаем молодых физиков Беларуси присоединиться к этой работе на передовом фронте фундаментальных исследований.

Теоретик: “В эпоху LHC физика элементарных частиц снова становится экспериментальной наукой”

Экспериментатор: “...физика элементарных частиц снова становится наукой”
(записано со слов И.А. Голутвина)

- ❖ *K.G. Wilson (Nobel lecture, 8 dec, 1982):* “корректно сформулированная теория поля должна быть хотя бы в принципе решаемая на компьютере [...]”
- ❖ Корректная теория имеет право на жизнь, если она хотя бы в принципе может быть проверена в эксперименте, что эквивалентно тому, что может быть построена компьютерная модель системы “теория + измерения”.

Эксперименты на LHC не привели к революции в физической картине мира, поскольку ни один анализ (эксперимент) *не стал отрицательным*.

Великий *отрицательный эксперимент* Майкельсона-Морли *помог* изменить представление о пространстве-времени, которые 300 лет служили основой классической науки. Но руководящую роль в этой революции сыграло развитие теории.

Со времен СТО уже более 100 лет представления о пространстве-времени не менялись. Новая революция в физике возможно будет связана с изменениями представлений о пространстве и времени в микромире – *фундамента Стандартной Модели*.

Пока LHC будет наращивать свою мощь, теоретикам нужно формулировать “новые анализы”, а экспериментаторам доводить их до высокой точности измерений.

Будем продолжать *искать тот самый один отрицательный эксперимент на LHC*.