



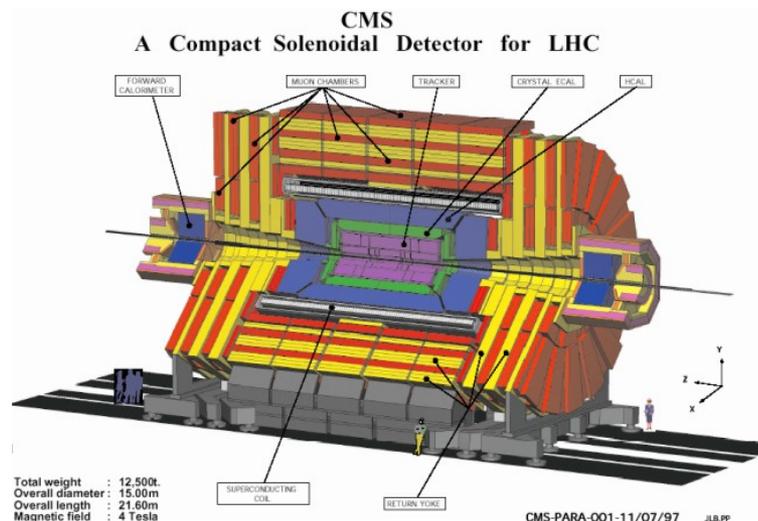
Проект “CMS. Компактный мюонный соленоид на LHC”

ТЕМА 02-0-1083-2009/2023

Отчет за 2017-2019 гг. и продление на 2020-2023 гг.

Руководитель проекта
Научный руководитель проекта

А. В. Зарубин
И. А. Голутвин



Физическая секция НТС ЛФВЭ
28 марта 2019 г.



Содержание

- ❑ Участники проекта
- ❑ Цели и задачи проекта
- ❑ Основные результаты за 2017-2019 гг.
 - программа физических исследований на установке CMS
 - обеспечение работы во время набора данных во время второго цикла LHC при энергии 13 ТэВ в с.ц.м.
 - развитие систем в рамках ответственности ОИЯИ при большой светимости
- ❑ Ожидаемые результаты в 2020-2023 гг.
- ❑ Запрашиваемое финансирование в 2020-2023 гг.

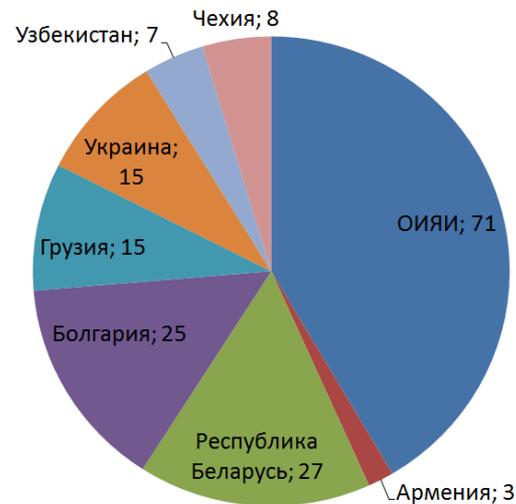


Участники проекта (I)

71 участников CMS в ОИЯИ
100 из стран-участниц ОИЯИ

14 оплачиваемых и **5** неоплачиваемых (4 PhD и 1 почетный член CMS) авторов CMS из ОИЯИ

9 оплачиваемых и **5** неоплачиваемых авторов CMS из стран-участниц



Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

ДИРЕКЦИЯ ОИЯИ

В.А. Матвеев

ЛФВЭ

В.Ю.Алексахин, С.В.Афанасьев, И.И.Белотелов, Д.Будковский, П.Д.Бунин, С.Е.Васильев, М.Г.Гавриленко, А.О.Голунов, И.А.Голутвин, Н.В.Горбунов, И.Н.Горбунов, Н.С.Голова, Н.Н.Евдокимов, Ю.В.Ершов, И.А.Жижин, Н.И.Замятин, А.В.Зарубин, В.А.Зыкунов, А.Ю.Каменев, В.Ю.Каржавин, Л.Г.Кобылец, А.М.Куренков, А.В.Ланёв, А.М.Маканькин, А.И.Малахов, В.В.Перельгин, М.В.Савина, Д.Сентова, В.А.Смирнов, Е.В.Сухов, О.В.Теряев, В.Т. Трофимов, В.В.Устинов, В.В.Шалаев, С.В.Шматов, С.Г.Шульга

ЛТФ

А.Б.Арбузов, С.Г.Бондаренко, А.В.Котиков, Г.А.Козлов, А.В.Сидоров, О.В.Теряев

ЛЯП

А.Ю.Верхеев, Г.А.Голованов, А.Н.Скачкова, Н.Б.Скачков, В.Слунечкова, М.Слунечка, М.Фингер, М.Фингер (мл), З. Цамалаидзе

ЛИТ

Г.Адамов, Н.Н.Войтищин, А.О.Голунов, А.Г.Долбилов, В.Е.Жильцов, И.С.Кадочников, И.А.Кашунин, В.В.Кореньков, В.В.Мицын, Д.А. Олейник, Г.А. Ососков, В.В.Пальчик, И.С.Пелеванок, А.Ш.Петросян, Р.Н.Семенов, И.Н.Семенюшкин, Т.А.Стриж, В.В.Трофимов, И.А. Филозова, А.Хведелидзе

Группа советников и консультантов

Б.С.Юлдашев

FTE

ЛФВЭ	27,1
ЛТФ	0,5
ЛИТ	3,8
ЛЯП	1,3
Дирекция ОИЯИ	0,1
ГСМК	0,2
ОИЯИ	33



Участники проекта (II)

Ереванский физический институт им. А. Алиханяна, Ереван, Армения

А.Тумасян, А.Петросян, В. Алоян

Национальный научно-учебный центр физики частиц и высоких энергий Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

В.Г.Барышевский, М.П.Бугаевская, Д.В.Будковский, О.В.Дворников, В.В.Другаков, Е.В.Дыдышко, В.В.Еворовская, И.Ф.Емельянчик, Д.В.Ермак, В.Л.Ермольчик, Р.Ф.Зуевский, М.В.Коржик, А.В.Литомин, А.С.Лобко, В.В.Макаренко, В.А.Мечинский, О.В.Мисевич, В.А.Мосолов, Т.О.Нечаева, С.В.Савицкий, Р.В.Стефанович, Х.Г.Суарес Гансалес, А.А.Фелоров, В.А.Чеховский.

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

В.В.Андреев, К. Бабич

Институт ядерных исследований и ядерной энергии, София, Болгария

К.Абаджиев, Ц.Х.Ангелов, И.Х.Атанасов, Г.Х.Анчев, И.Д.Ванков, Й.В.Дамгов, Н.Дарменов, Л.П.Димитров, Б.И.Панев, С.Р.Пиперов, С.Г.Стойкова, Г.Г.Султанов, Р.К.Траянов, П.С.Яйджиев

Софийский университет, София, Болгария

А.Димитров, М.Дюлендарова, В.Кожухаров, Л.Литов, Е.Маринова, С.Марков, М.Матеев, Б.Павлов, П.Петков, Х.Сабев, Ж.Тотева

Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия

Р.Абрамишвили, Г.Адамов, М.Джаникашвили, О.Кемулария, И.Ломидзе, Е.Маградже, Б.Онкашвили, Д.Прангишвили, Д.Тавхелидзе, Т.Торнашвили

Институт физики высоких энергий ТГУ, Тбилиси, Грузия

Ю.Багатурия, З.Кепуладзе, Д.Ломидзе, Л.Руруа, Н.Цверава

Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина

К.А.Клименко, А.А.Кузов, Л.Г.Левчук, С.Т.Лукьяненко, Т.В.Обиход, В.Ф.Попов, А.С.Приставка, Д.В.Сорока

Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины, Харьков, Украина

А.Бояринцев, Н.Г.Галунов, Б.В.Гринев, П. Жмурин, О.Соболев, Т.Сибилева, О.Сидлецкий

Институт ядерной физики Узбекской академии наук, Ташкент, Узбекистан

Э.А.Гасанов, Ю.Н.Коблик, М.Нишонов, Х.К.Олимов, А.Умаралиев, М.И.Фазылов, Б.С.Юлдашев

Карлов университет, Прага, Чешская республика

М.Бодяк, Ж.Новы, З.Край, М.Слунечка, В.Слунечкова, М.Фингер, М.Фингер (мл.),

А.Яната



Цели и задачи проекта (I)

Задачами, решаемыми в рамках проекта:

- Программа физических исследований на установке CMS
- Развитие методов реконструкции и отбора физических событий, включая участие в развитии системы распределенных вычислений (ГРИД), а также создание и обеспечение работы удаленного центра мониторинга (CMS ROC в ОИЯИ)
- Проведение экспериментов на LHC и обеспечение работы во время набора данных при энергии 13 ТэВ в с.ц.м. передней адронной калориметрии HE и передней мюонной станции ME1/1
- Развитие систем (R&D) в рамках ответственности ОИЯИ при большой светимости

Модернизации детекторных систем CMS осуществляется в рамках проекта ОИЯИ “Модернизация детектора CMS до 2020” (2013-2020 гг.)



Цели и задачи проекта (II)

Целью исследований, выполнявшихся в рамках проекта, являются получение новых экспериментальных данных, проведение их обработки и анализа с целью получения новых физических результатов по направлениям:

- исследование процессов рождения мюонных пар в процессе Дрелла-Яна для проверки предсказаний СМ в новой области энергий, измерения параметра слабого смешивания и проверки распределений структурных функций кварков и глюонов (PDF)

- поиск сигналов расширенных калибровочных моделей, сценариев низкоэнергетической гравитации на масштабе ТэВ и темной материи в канале с двумя мюонами

- исследование процессов множественного рождения струй для проверки КХД в высших порядках ТВ, поиска микроскопических черных дыр и других сигналов за рамками стандартной модели, а также уточнения величины бегущей константы КХД и PDF

- исследование свойств бозона Хиггса и поиск новых скалярных бозонов за рамками СМ в каналах распада на лептоны

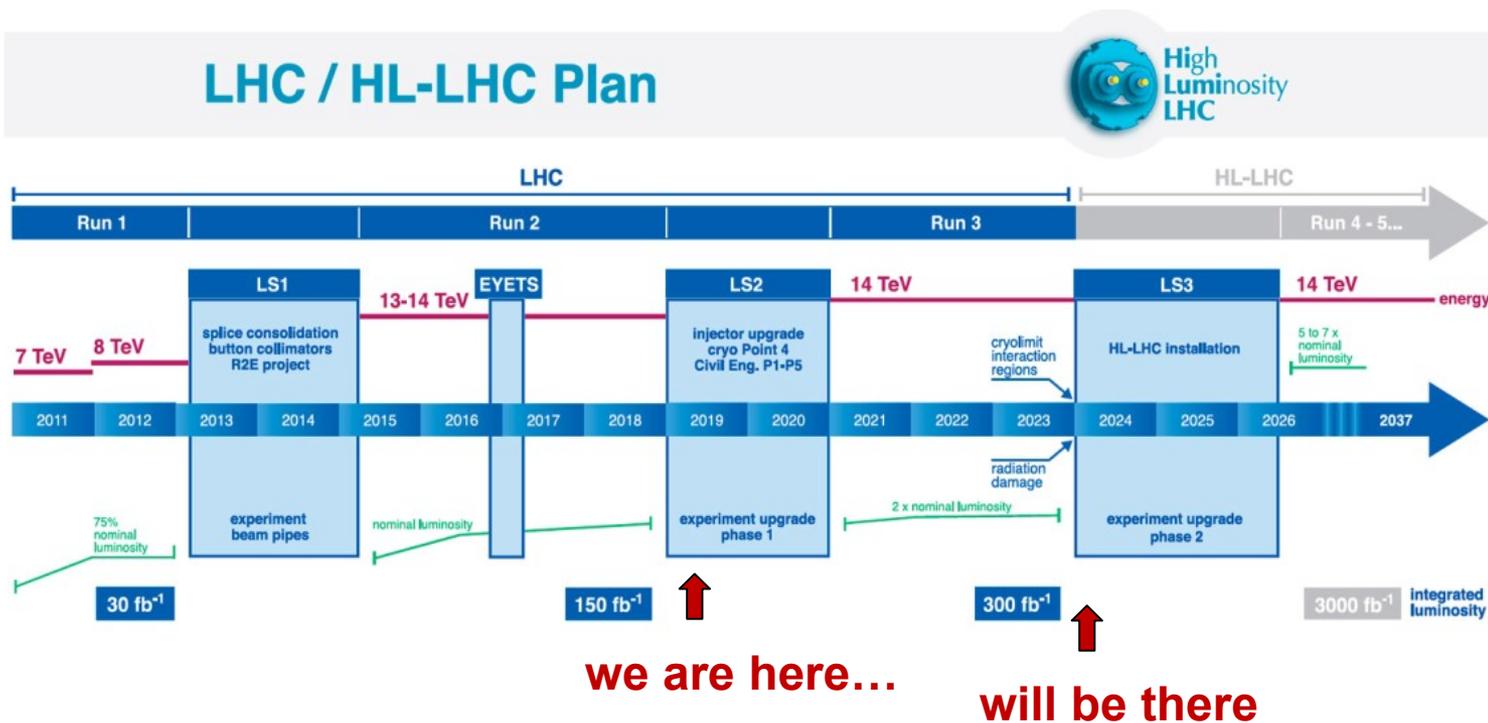
- исследование процессов рождения струй для исследования механизмов адронизации, уточнения величины бегущей константы КХД и распределений структурных функций кварков и глюонов (PDF)



Основные результаты за 2017-2019 гг.

и

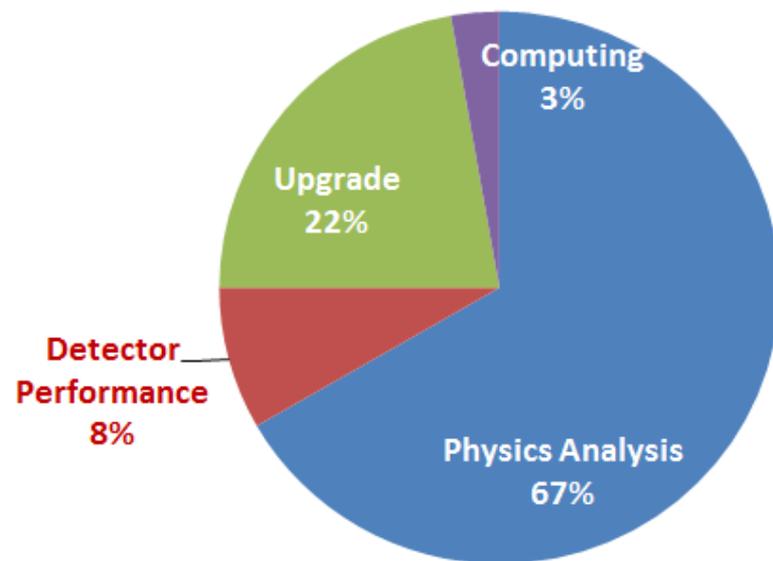
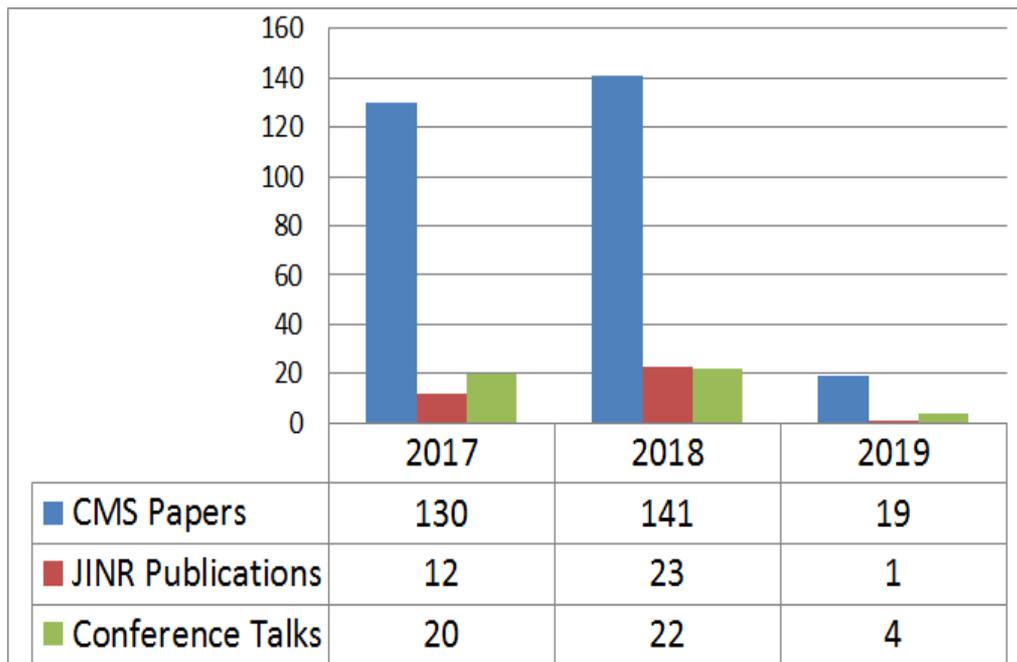
ожидаемые результаты в 2020-2023 гг.





Публикации

В период 2017-2019 гг. сотрудниками ОИЯИ опубликовано 35 научных работ, всего полный список коллаборации CMS включает 290 научные работы



Защищены 1 докторская, 1 кандидатская и 2 магистерские диссертации

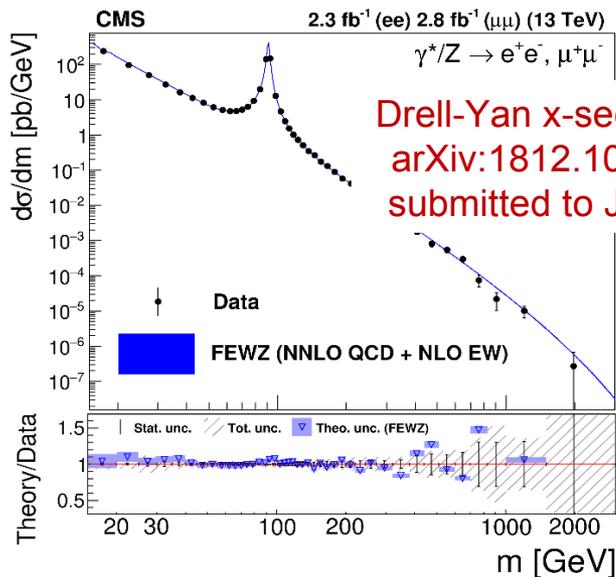
Полный список публикаций по проекту CMS представлен в письменном отчете



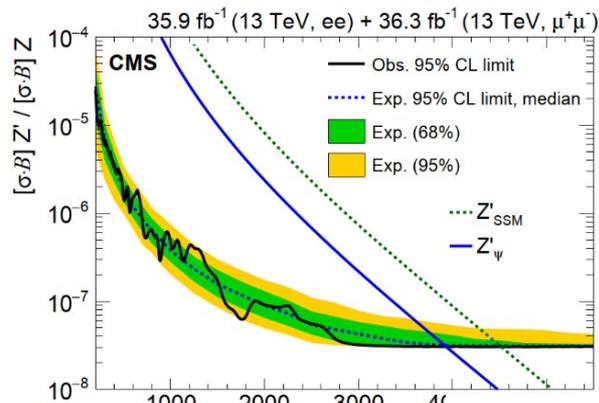
Процессы парного рождения мюонов

Проверка СМ (NNLO КХД и NLO ЭС)

Поиск новой физики



Drell-Yan x-sections
arXiv:1812.10529,
submitted to JHEP



Extended Gauge Models

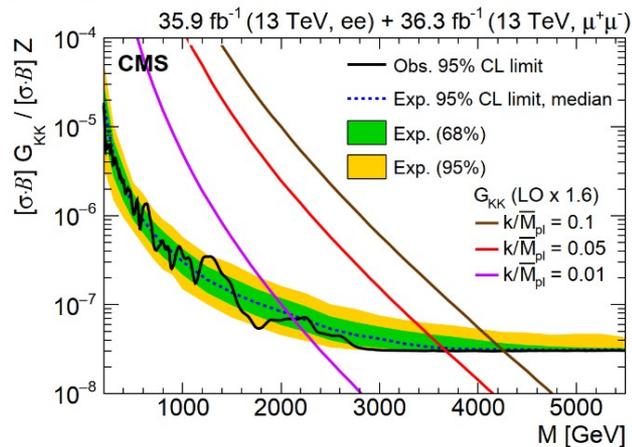
$M(Z'_{SSM}) > 4.5$ ТэВ

$M(Z'_{ψ}) > 3.9$ ТэВ

Включены в PDG

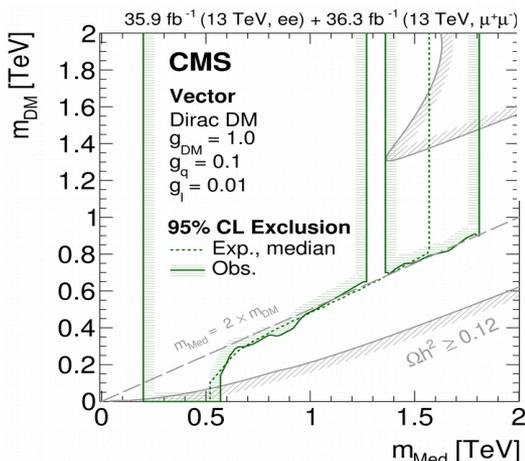
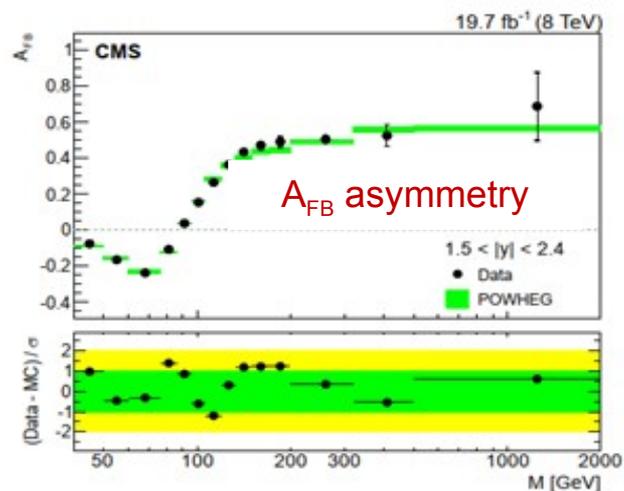
Low-energy Gravity (RS1)

$M(G_{RS1}) > 2.1 - 4.25$ ТэВ
($c = 0.01-0.10$)



Dark Matter (ограничение на
массы частицы DM и
векторного переносчика)

JHEP 06 (2018) 120
PLB 768 (2017) 57



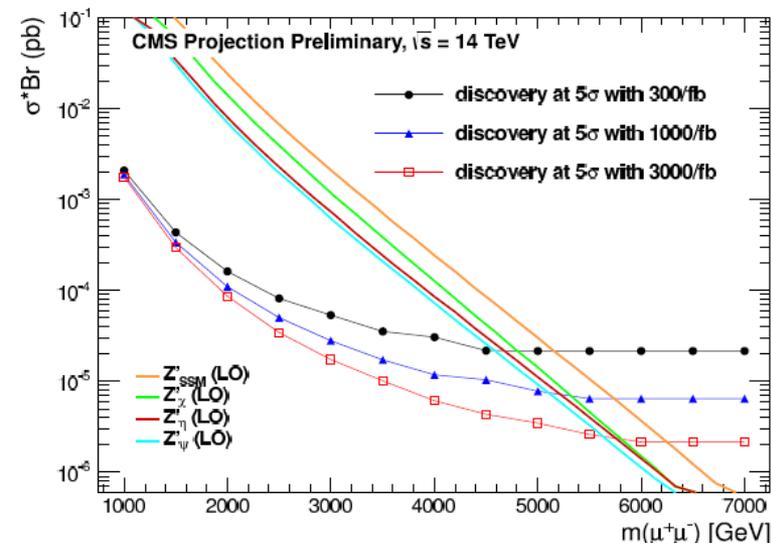
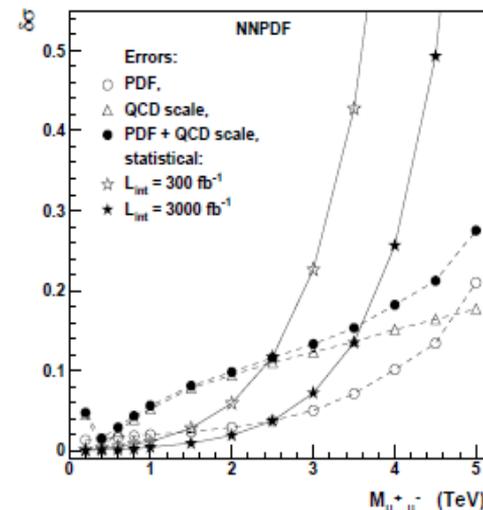
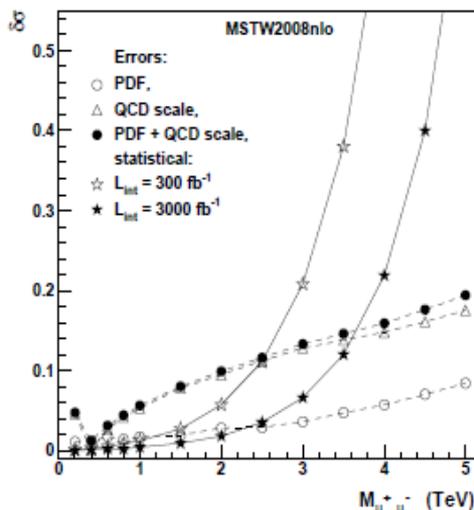


Процесс Дрелла-Яна при 300 фбн⁻¹

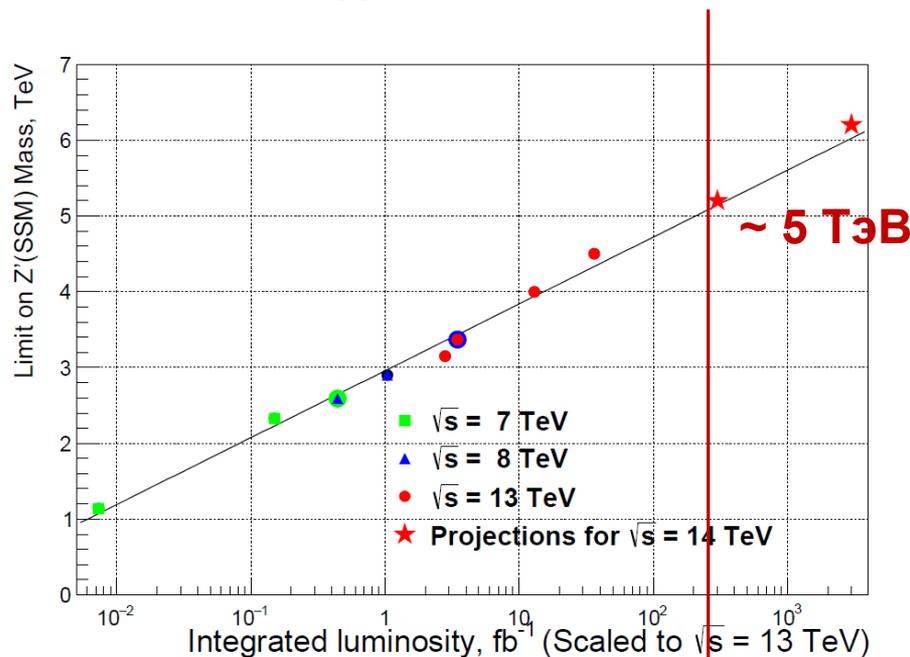
Измерение сечений

Теор. ошибки доминируют в области масс до 1.8-2.5 ТэВ и 3-3.5 ТэВ для 300 фбн⁻¹ и 3000 фбн⁻¹ соответственно

Новая физика



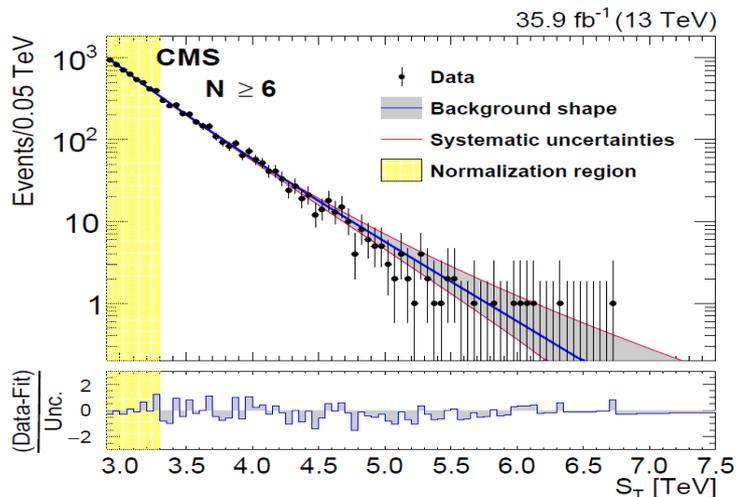
$$\int L dt = 300 \text{ fb}^{-1} \quad 4.6 - 5.2 \text{ TeV}$$



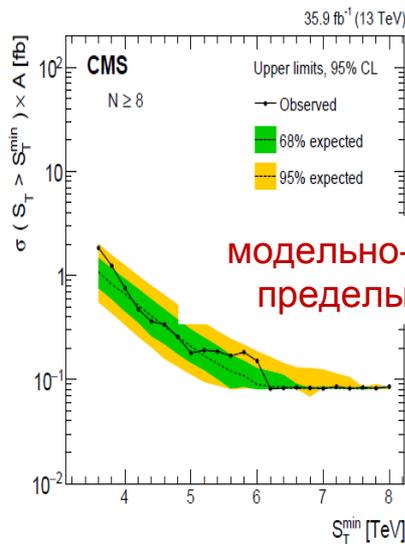
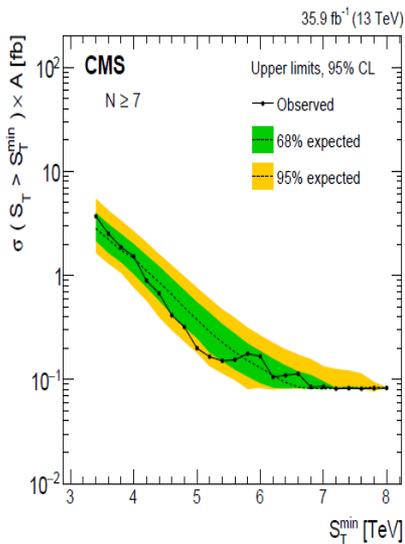
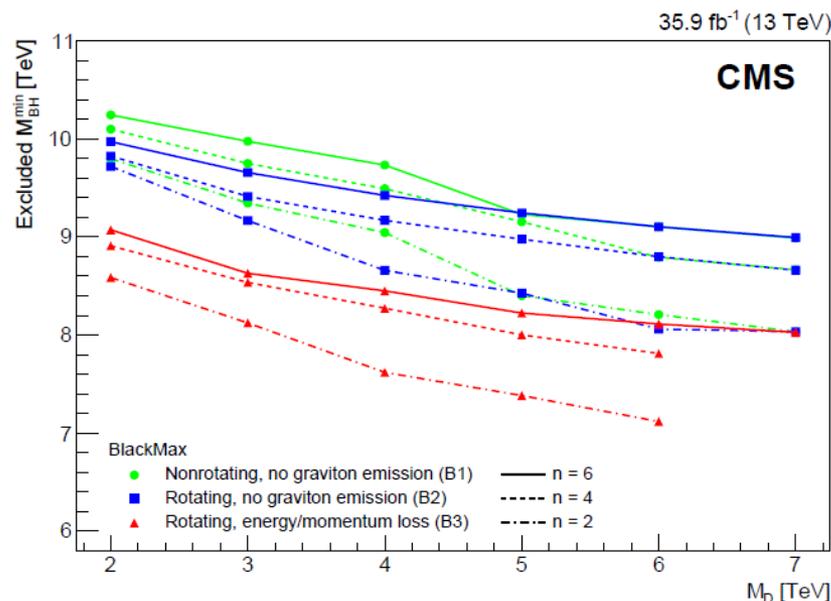


Процессы множественного рождения частиц

Проверка СМ (НО КХД)



Поиск новой физики (микроскопические черные дыры)



модельно-независимые пределы на сечения

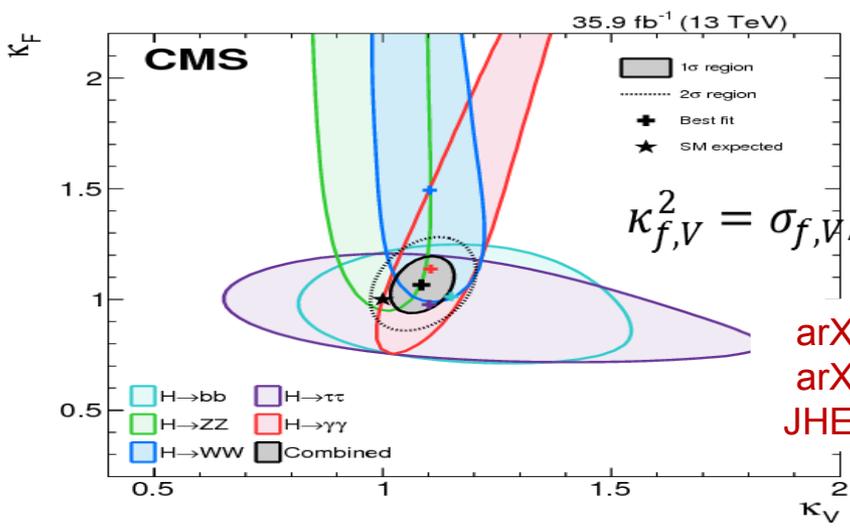
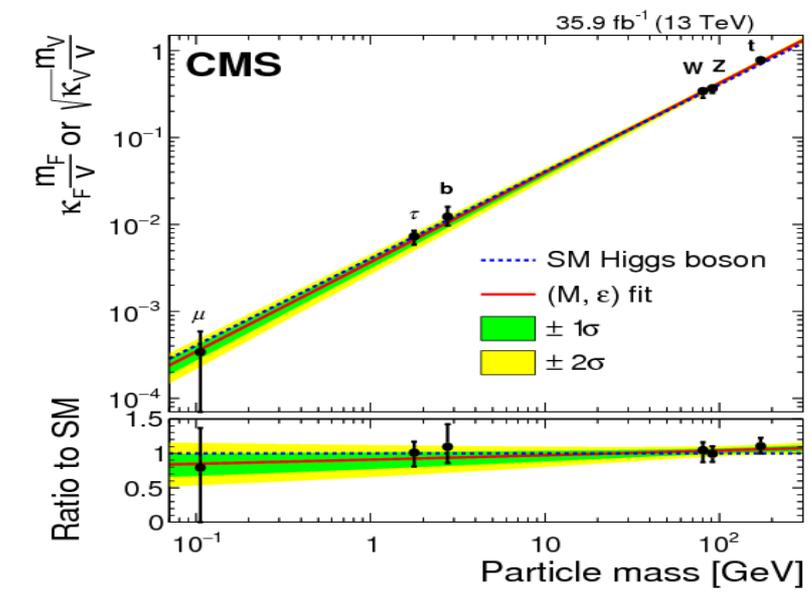
Модельно-зависимые пределы на массу МЧД и фундаментальный планковский масштаб:
до $m_{\text{MBH}} > 7-10.2$ ТэВ при $M_D = 2-7$ ТэВ

JHEP 11 (2018) 042
PLB 774 (2017) 279



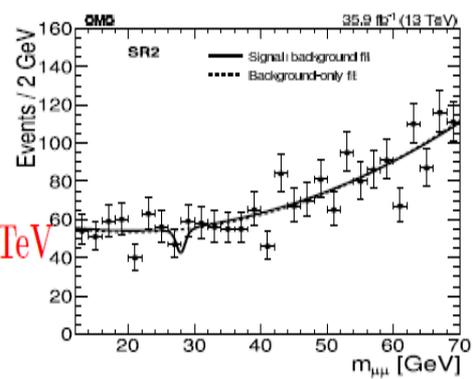
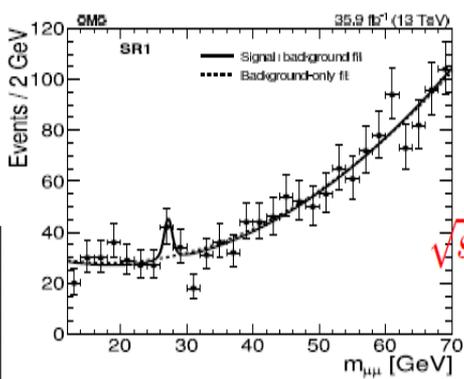
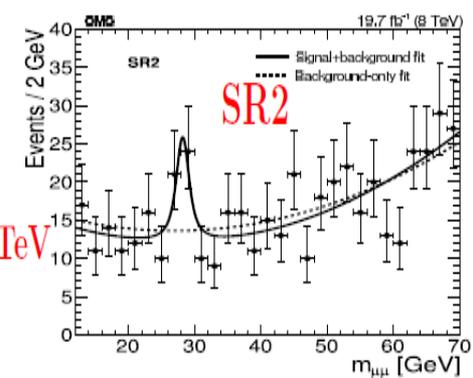
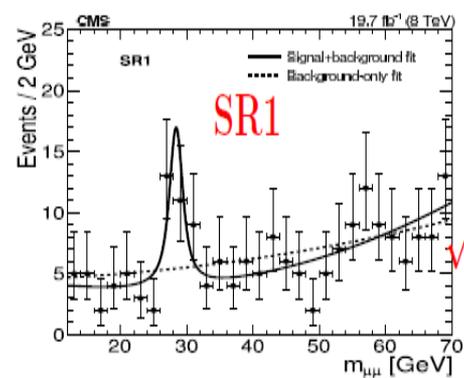
Свойства бозона Хиггса и поиск новых скаляров

Свойства бозона Хиггса



arXiv:1901.00174
 arXiv:1809.10733
 JHEP 1711 (2017)

Поиск новых скалярных состояний



	SR1	SR2
Signif. (8 ТэВ)	4.2	2.9
Signif. (13 ТэВ)	2.0	-1.4

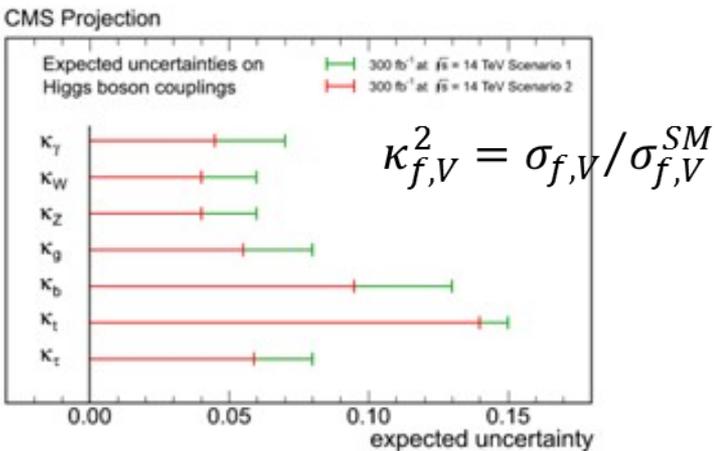
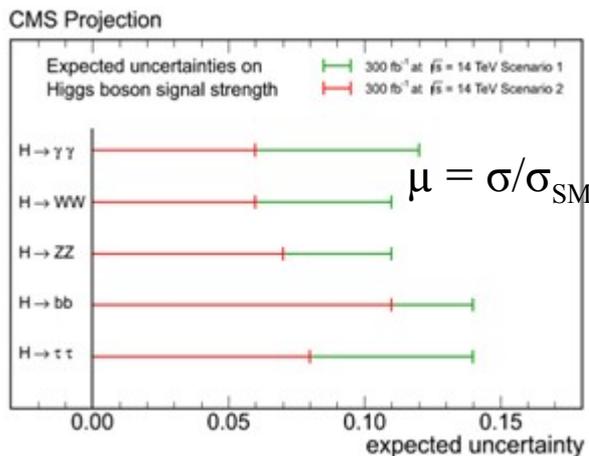
необходимо увеличение статистики!

JHEP 1811 (2018) 161

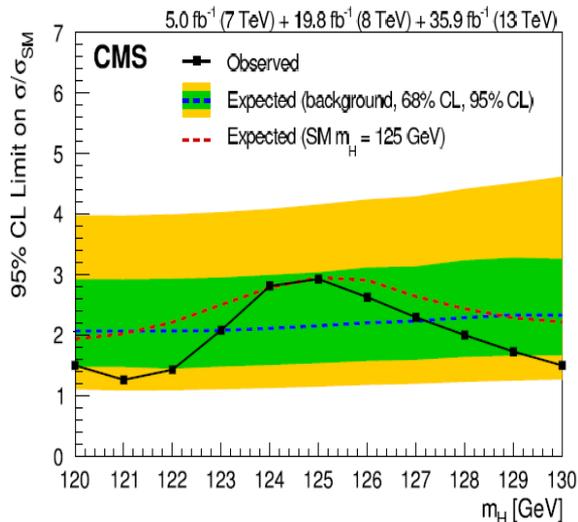


Бозон Хиггса при 300 фбн⁻¹

Интенсивность и константы



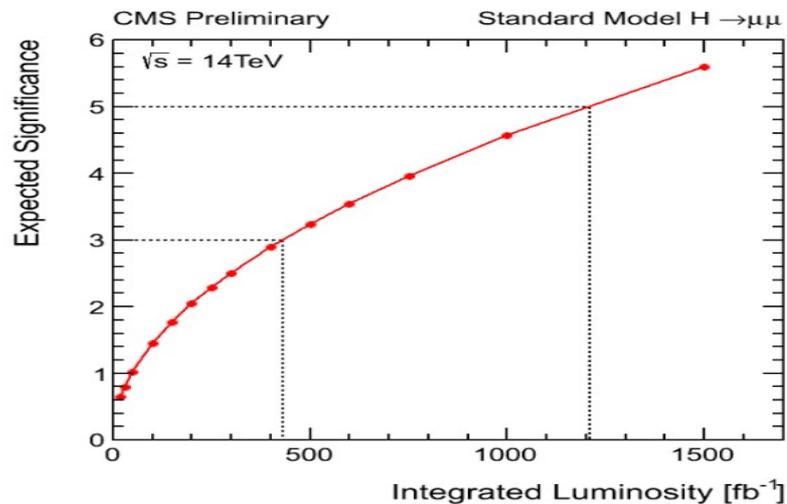
Редкие распады



$$\mathcal{B}_{SM}(H \rightarrow \mu\mu) = 2.2 \times 10^{-4}$$

PRL122 (2019) 021801

$$\mathcal{B}_{SM}(H \rightarrow \mu\mu) < 6.4 \times 10^{-4}$$





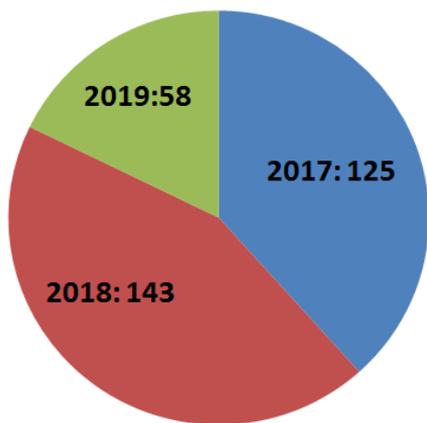
Обеспечение работы CMS и набор данных

Обеспечение работы CMS во время набора данных при 13 ТэВ и участие в сменах как в ЦЕРН, так и в удаленном региональном центре CMS в ОИЯИ (JINR CMS ROC)

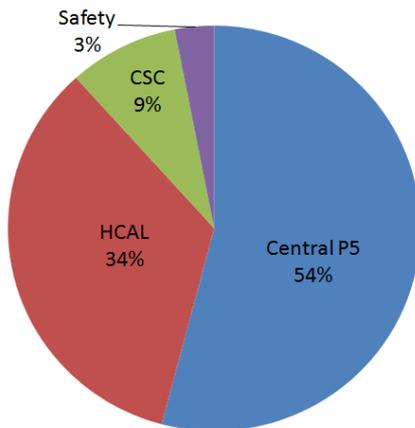
2017-2018 гг.: сеансы по набору данных, на пучках протонов при светимости до $2.1 \times 10^{34} \text{ см}^2\text{с}^{-1}$

2019 гг.: сеансы по набору данных на космике

Число смен по годам
(всего - 326)

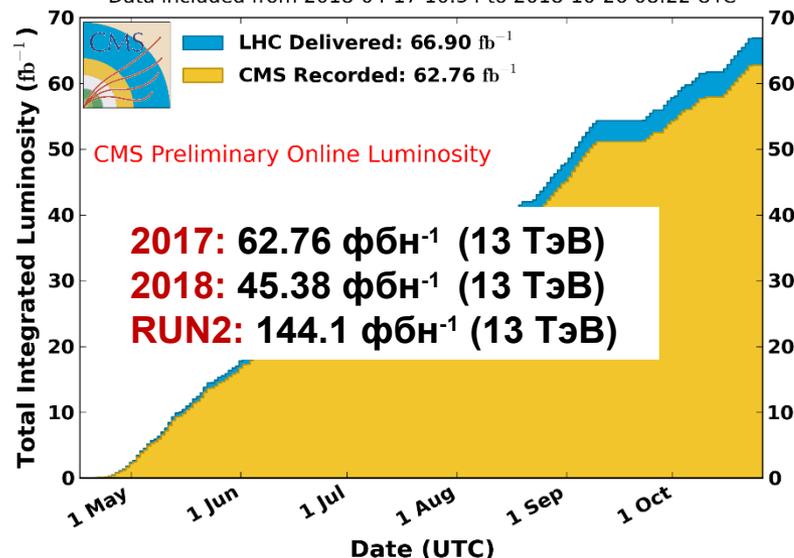


По типу смен:



CMS Integrated Luminosity, pp, 2018, $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$

Data included from 2018-04-17 10:54 to 2018-10-26 08:22 UTC



Эффективность работы торцевого адронного калориметра HE ~ 97%, торцевых мюонных станций CSC – свыше 98.5%, набора данных – 92%



Характеристики детекторных систем CMS и реконструкция физических объектов

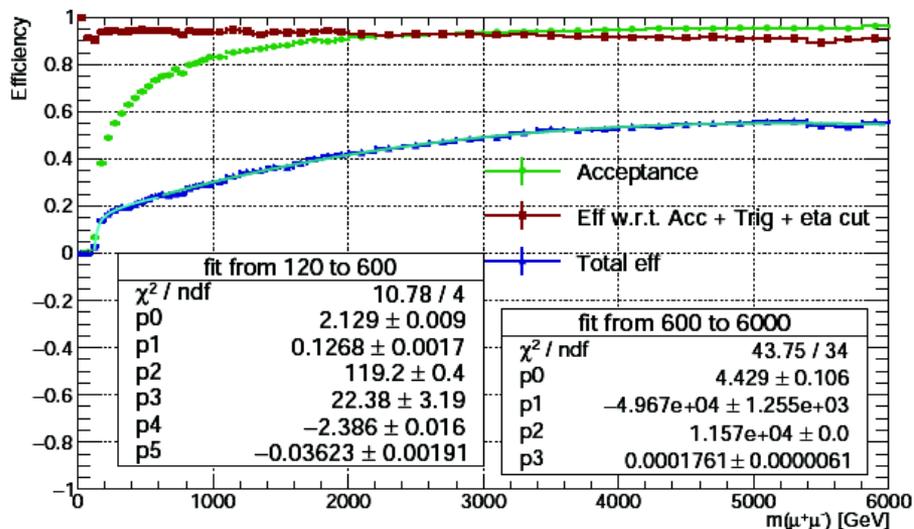
Контроль качества экспериментальных данных и изучение характеристик детекторных систем CMS (в ЦЕРН и JINR CMS ROC)

- ✓ Характеристики торцевой калориметрической системы CMS
- ✓ Характеристики передней мюонной станции ME1/1

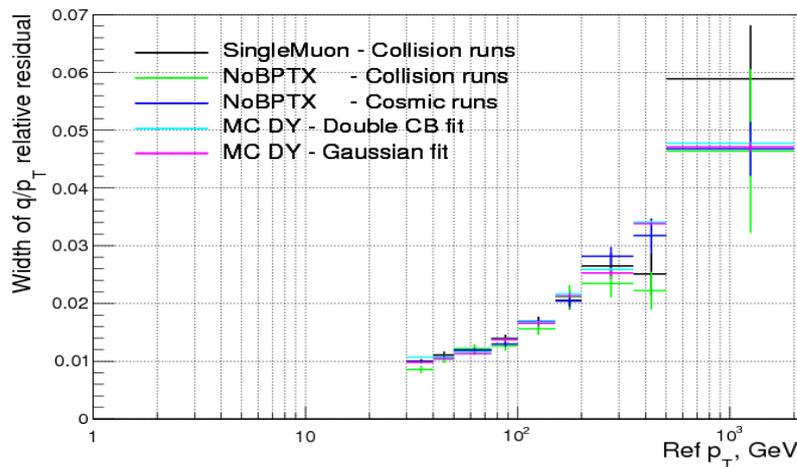
Реконструкция физических объектов

- ✓ Развитие алгоритмов реконструкция и отбора мюонов и пар мюонов

Эффективность отбора и реконструкции мюонных пар



Точность реконструкции пар мюонов



- ✓ Разработка методики измерения характеристик струй



Развитие сценария обработки и анализа данных на основе Grid-технологий

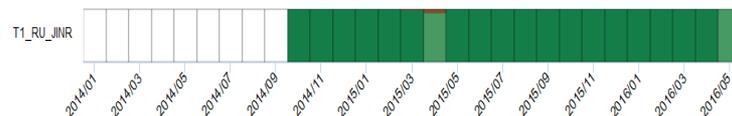
Эксплуатация и развитие системы обработки и анализа экспериментальных данных

- ✓ Развитие и надежное функционирование комплекса центров Tier-1/Tier-2 в ОИЯИ (100% надежность и доступность)
- ✓ Эксплуатация и развитие регионального удаленного центра ОИЯИ (JINR CMS ROC)

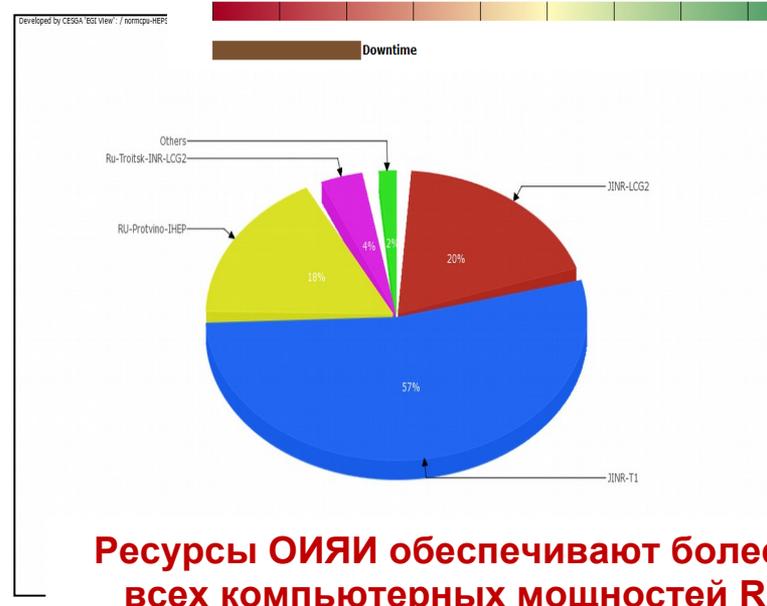
[Link to data](#)

Site Availability using CMS_CRITICAL

From 2014/10 to 2016/05



Тier-1 ОИЯИ обеспечивают ~7% компьютерных мощностей Tier-1 CMS



Ресурсы ОИЯИ обеспечивают более 77% всех компьютерных мощностей RDMS

На комплекс Tier-1/Tier2 ОИЯИ возложена координация участия центров RDMS-CMS в обработке и анализе данных эксперимента CMS



Развитие систем в рамках ответственности ОИЯИ при большой светимости

- В 2017-2019 гг. произведена модернизация детекторных систем CMS в рамках ответственности ОИЯИ – передней мюонной станции ME1/1 и торцевого адронного калориметра HE (проект ОИЯИ “Модернизация детектора CMS до 2020” в 2013-2020 гг.). Вклад ~1 MCHF.
- R&D, необходимое для модернизации установки для работы в режиме очень высокой светимости до $5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ интегральной светимости до 1–3 абн⁻¹
 - ✓ Система торцевых калориметров CMS
 - изучение радиационных повреждений компонент адронных торцевых высокогранулярных калориметров, включая кремниевые фотоумножители, сцинтилляторы и отражатели и исследования зависимости светового выхода сцинтилляторов для различных отражателей
 - разработка и исследование прототипа сцинтилляционного модуля
 - исследование и оптимизация программного обеспечения для реконструкции физических объектов на новом торцевом калориметре высокой гранулярности установки КМС
 - оптимизация поперечной сегментации адронного калориметра
 - ✓ Торцевая мюонная система CMS
 - изучение эффектов «старения» катодно-стриповых камер (КСК) торцевой мюонной системы CMS на установке GIF++
 - изучение деградации характеристик КСК камер при работе с газовой смесью с пониженным содержанием CF₄ (2%).



Запрашиваемые ресурсы в 2020–2023 гг.

Форма № 29

Смета затрат по проекту CMS. КОМПАКТНЫЙ МЮОННЫЙ СОЛЕНОИД НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ

NN пп	Наименование статей затрат	Полная стоимость, тыс. долл.	2020 (1 год)	2021 (2 год)	2022 (3 год)	2024 (4 год)
	Прямые расходы на Проект					
1.	Материалы	40	10	10	10	10
2.	Оборудование	40	10	10	10	10
3.	Взнос по эксплуатации установки CMS	908	227	227	227	227
4.	Командировочные расходы, в т.ч.	1220				
	а) в страны нерублевой зоны		287	307	307	307
	б) в города стран рублевой зоны		3	3	3	3
	в) по протоколам					
	Итого по прямым расходам:	2208	537	557	557	557

Комментарий: расходы включают все затраты по взносам в эксперимент на обслуживание детекторных систем согласно M&O по категории А и В, затраты на материалы, оборудования, R&D по модернизации детектора и командировочные расходы.

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

А.В. Зарубин

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

В.Д. Кекелидзе

ВЕДУЩИЙ ИНЖЕНЕР-ЭКОНОМИСТ ЛАБОРАТОРИИ

Г.Г. Волкова



План-график на 2020–2023 гг.

Форма № 26

Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления проекта CMS. КОМПАКТНЫЙ МЮОННЫЙ СОЛЕНОИД НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.). Потребности в ресурсах	Предложение лаборатории по распределению финансирования и ресурсов				
			2020 (1 год)	2021 (2 год)	2022 (3 год)	2023 (4 год)	
Затраты	Материалы и основные узлы оборудования, работы по его обновлению, наладке и т.п.	80	20	20	20	20	
	Эксплуатационные расходы установки CMS	908	227	227	227	227	
	Командировочные расходы	1240	290	310	310	310	
Необходимые ресурсы	Нормо-час Ресурсы – конструкторского бюро лаборатории, – опытного производства ОИЯИ, – опытного производства лаборатории, – ускорителя, – реактора, – ЭВМ. Эксплуатационные расходы (FTE)	LHC	LHC	LHC	LHC	LHC	
Источники финансирования	Бюджетные средства	Затраты из бюджета, в том числе инвалютные средства	2208	537	557	557	557
	Внебюджетные средства	Вклады коллаборантов – компенсация взноса за работу в CMS (при условии сохранения позиции) Средства по грантам. Вклады спонсоров. Средства по договорам. Другие источники финансирования и т.д.	360	90	90	90	90

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

А.В. Зарубин



Просим НТС поддержать продление проекта на 2020-2023 гг.

Спасибо за внимание!!!



Программа физических исследований на установке CMS

- Программа исследования физических процессов рождения пар мюонов при 8 и 13 ТэВ
 - Исследование рождения пар мюонов в процессе Дрелла-Яна
 - ✓ измерение дифференциального и дважды дифференциального сечения
 - ✓ измерение асимметрии “вперед-назад”
 - Поиск физики за пределами стандартной модели
 - ✓ дополнительные калибровочные бозоны (Z')
 - ✓ калуца-кляйновские возбужденные состояния гравитона (G_{KK})
 - Исследование свойств бозона Хиггса
- Поиск новой физики в канале множественного рождения струй при 13 ТэВ
 - Поиск микроскопических черных дыр
- Изучение свойств струй при 8 ТэВ
 - Изучение множественности заряженных адронов в струях