

Участие Института в зарубежных экспериментах по физике элементарных частиц

Ю.Тихонов

03.03.2023

- Введение
- Эксперименты на LHC (HL-LHC): ATLAS, LHCb, CMS
- В-фабрики PEP-II, KEK-B, Super KEK-B : Ba-Bar, Belle, Belle-II
- FAIR: PANDA, CBM ??
- Чарм-Тау физика : BES-III, STCF
- Аномальный магнитный момент мюона $g-2$:
BNL, Fermilab, JPARC
- Поиск эффектов нарушения лептонного числа : MEG, COMET
- Подготовка к экспериментам будущего: FCC?

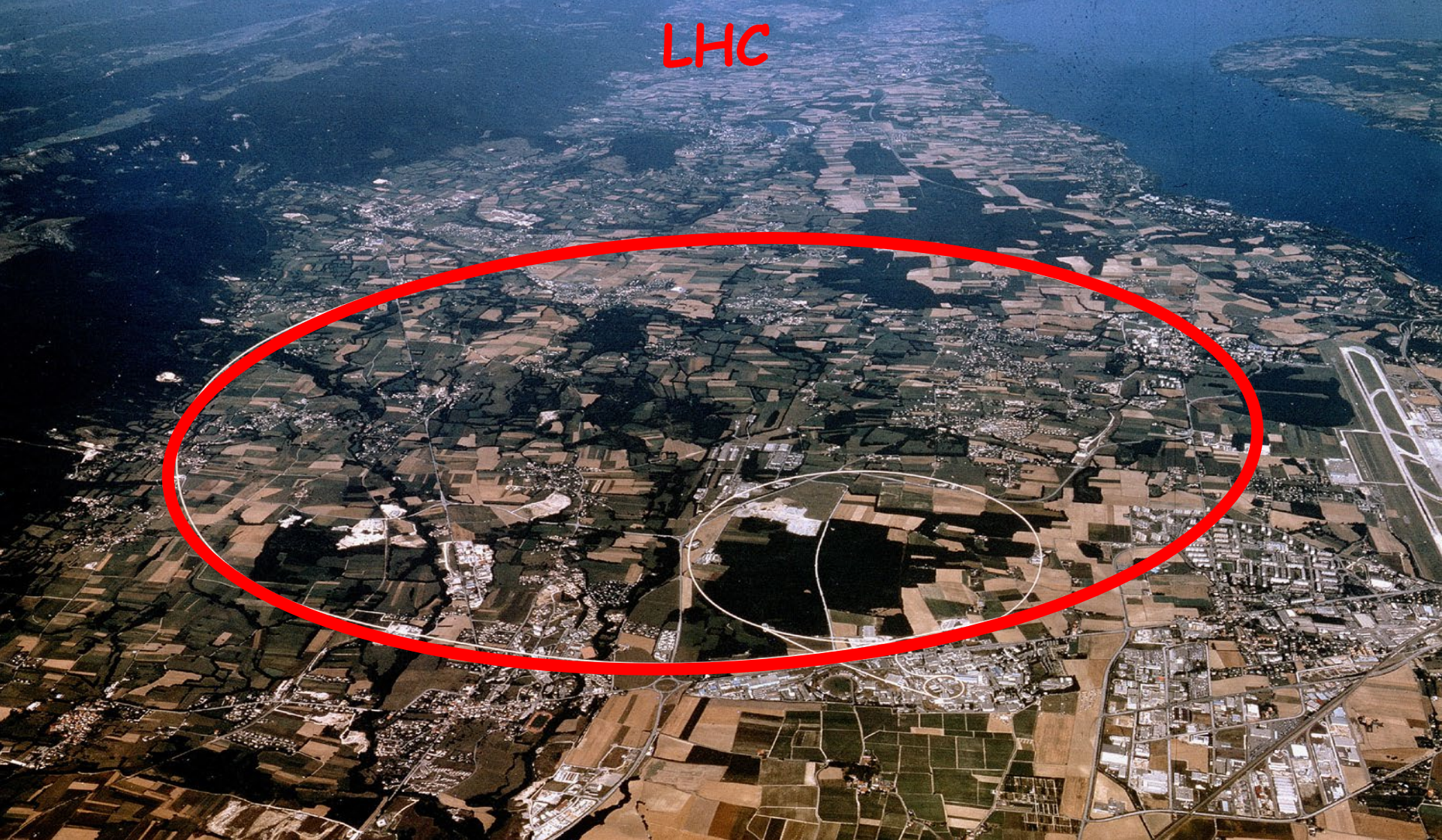
(США, Япония, Китай, Швейцария, Германия и др.)

Мотивация участия в зарубежных экспериментах

- **Участие в наиболее видных экспериментах позволяет Институту вести исследования на переднем фронте физики элементарных частиц.**
- **Участие в зарубежных экспериментах оказывает существенное положительное влияние на уровень наших работ (обмен новыми идеями, технологиями, опытом в организации исследований и др.)**
- **Успешное участие в таких экспериментах очень важно для международного “имиджа” наших физиков и Института в целом (участие в конференциях, доклады от имени коллабораций, представительство в различных организациях и др.).**
- **Такое участие обеспечивает большое количество публикаций и их высокий уровень (лучшие журналы, высокая цитируемость и др.)**

ATLAS ~ 1000 публикаций к наст. времени!

LHC



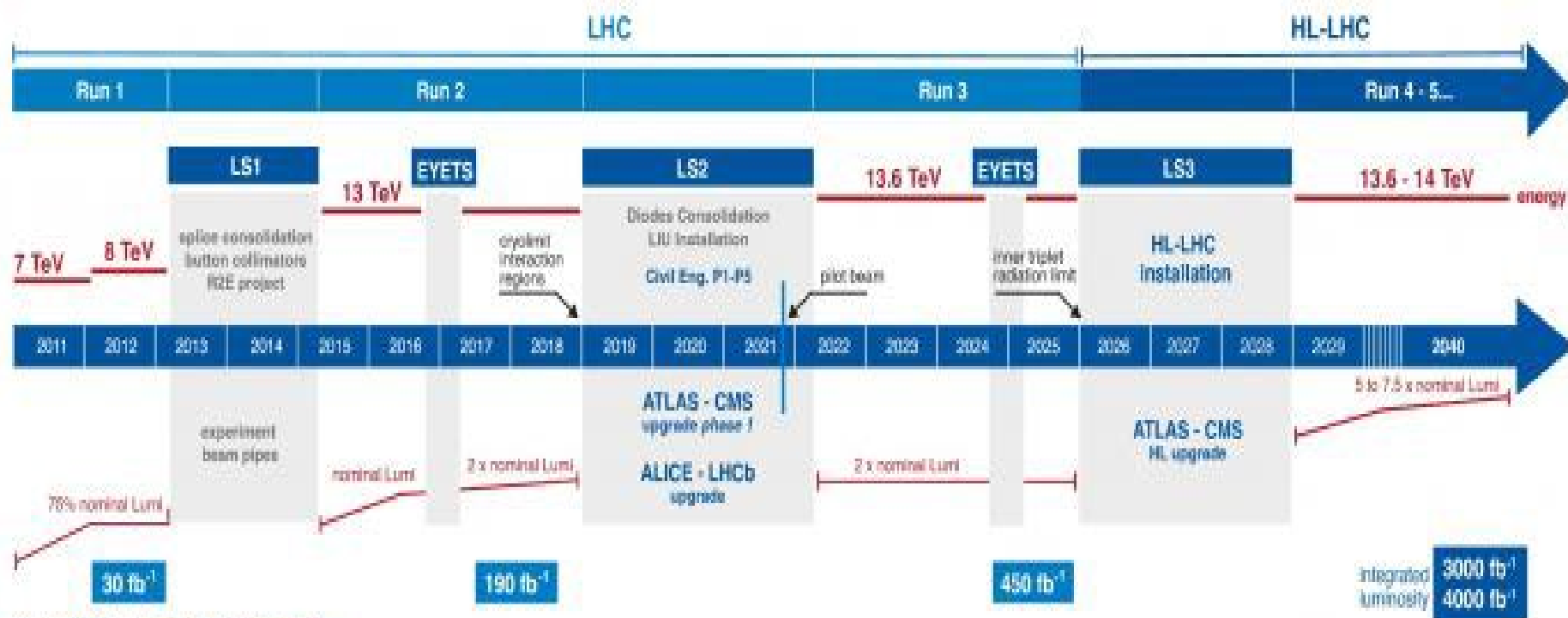
Начало работы - 2011

$D=9$ км ($l=27$ км!)

$2E=14$ ТэВ, $L=2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



LHC / HL-LHC Plan

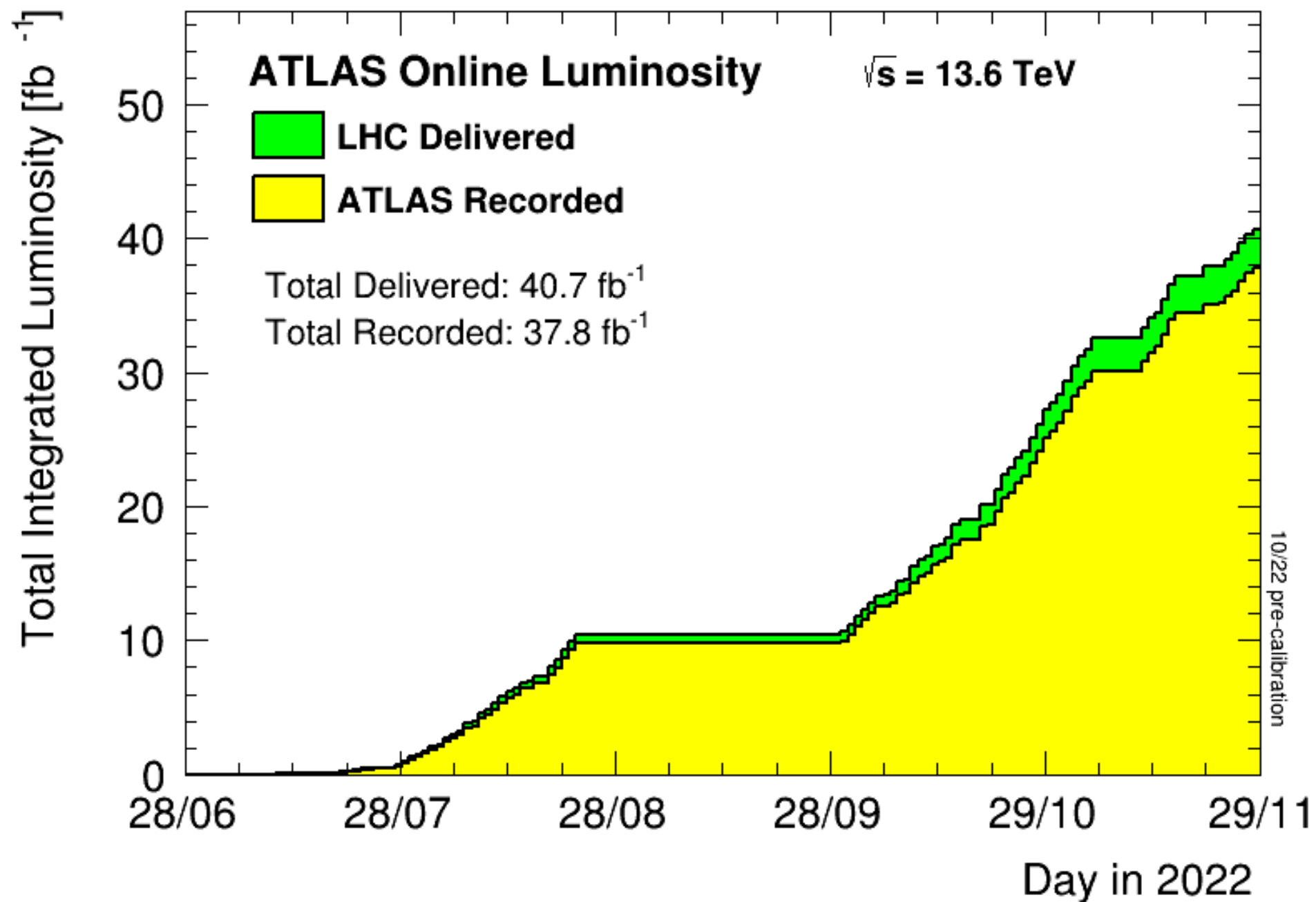


HL-LHC TECHNICAL EQUIPMENT:



HL-LHC CIVIL ENGINEERING:





Вклад ИЯФ СО РАН в проект БАК

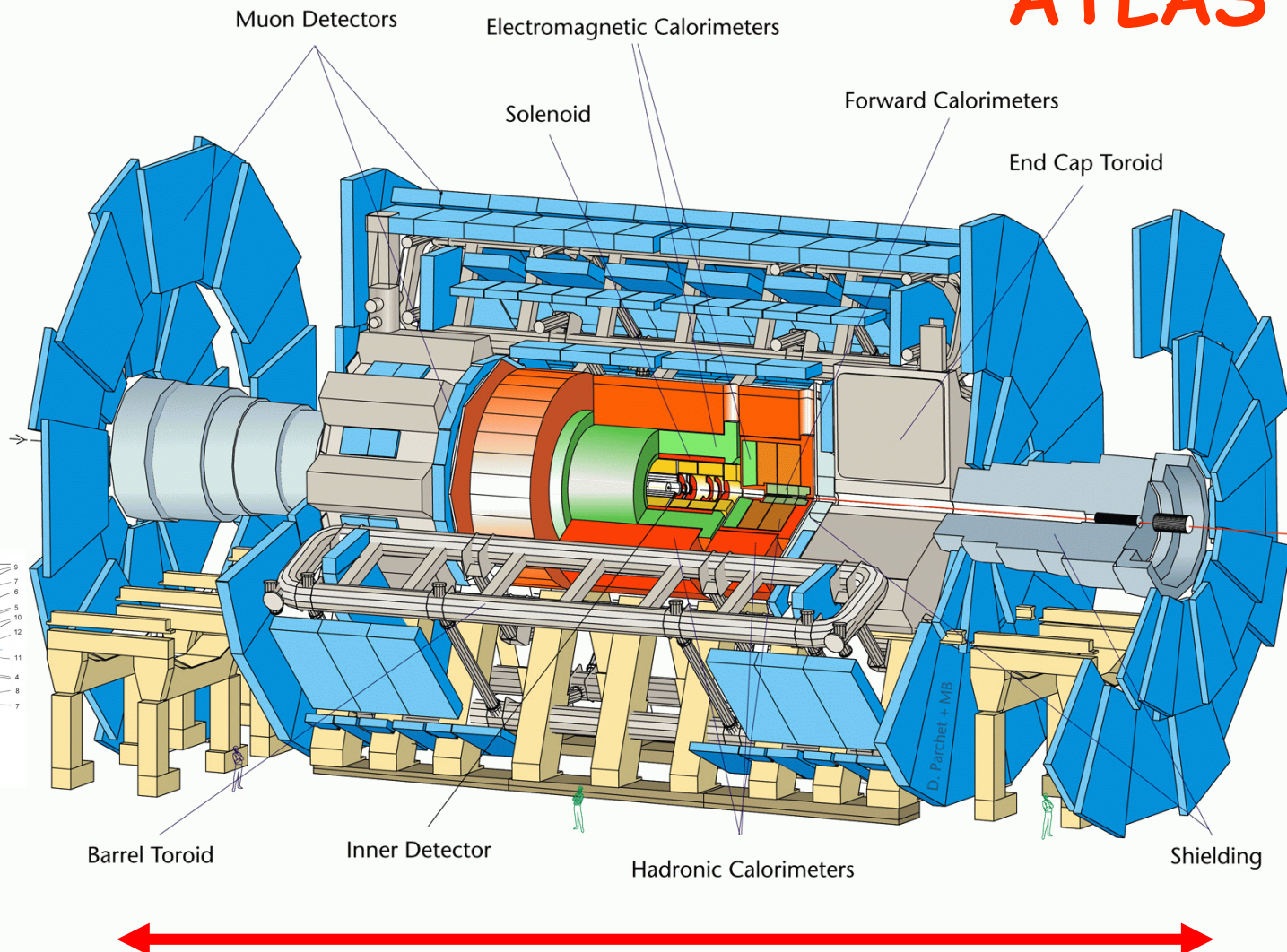
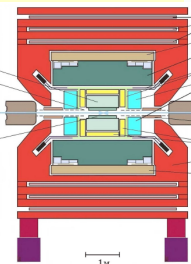
- **Большой интеллектуальный вклад разработку элементов LHC:**
 - Исследования механизмов десорбции под действием СИ при сверхнизких температурах позволили ответить на важнейший вопрос о принципиальной возможности создания LHC
 - Предложена конструкция и разработана технология производства прецизионных теплых магнитов для LHC
 - И многое другое.....
- **Большое количество разработок под “ключ”**
- **Освоение новых технологий в производстве ИЯФ:**
 - Уникальная технология производства сверхпроводящих шин для LHC
 - Технология производства многочисленных вакуумных компонентов
 - И др...
- **Успешная крупномасштабная кооперация с промышленностью РФ:**
 - Чкаловский завод, БЭМЗ, Воткинский завод, завод РТО г.Воткинск, Сибэлектротерм, НИИЭФА и др.
- **Успешное участие в экспериментах на LHC (ATLAS, LHCb, CMS)**
 - Проведение экспериментов
 - Участие в разработке и создании систем детекторов
 - Разработка нового программного обеспечения
 - Анализ данных
- **Система электронного охлаждения тяжелых ионов в LEIR (ключевой элемент для реализации тяжелоионной программы!!)**
- **В 2020-21 гг были подписаны 10 соглашений Институтов РФ с ЦЕРН (из них 7 с ИЯФ) об участии в ФАЗЕ-2 модернизации БАК (HL-LHC) на сумму около 56 Млн.шв.фр. В марте 2022 г планировалось подписание генерального соглашения РФ-ЦЕРН....**

Детектор АТЛАС, начало работы - 2010 г.:
СТОИМОСТЬ=0.5 G\$

A Toroidal LHC Apparatus

ATLAS

KEDR



22 m

44 m

Вклад ИЯФ в АТЛАС

- ❑ Предложена новая конструкция торцевого калориметра на жидком аргоне с постоянной толщиной поглотителя (1996 г), что существенно упростило и удешевило изготовление калориметра.
- ❑ Предложен новый детектор (пресамплер) для улучшения качества калориметра (1997 г.)
- ❑ Разработан изготовлен и установлен целый ряд элементов детектора (1998-2008г.)
- ❑ Участие в сборке и настройке детектора (2006-2009)
- ❑ Разработка программного обеспечения - ГРИД (2009-н/вр)
- ❑ Поддержка TDAQ and ATLAS central computing
- ❑ Проведение экспериментов (2009-н/вр)
- ❑ Участие в модернизации детектора (2007-н/вр)
- ❑ Обработка данных (2009-н/вр) ***$H \rightarrow 4l, Exotics$***

Физика на LHC

Реализуется ли Хиггсовский механизм возникновения масс у частиц?

(поиск Хиггсовского бозона- первейшая задача для LHC!)

Существует ли суперсимметрия?

(если существует, и природа устроена так, как мы сейчас думаем, то суперсимметричные частицы уже были бы открыты на LHC!)

Природа темной материи?

(возможно легчайшая суперсимметричная частица и есть темная материя!)

А может быть существуют дополнительные размерности?

(изменится характер поведения сечений при больших массах ~ 1 TeV!)

Проблемы кварк-глюонной плазмы

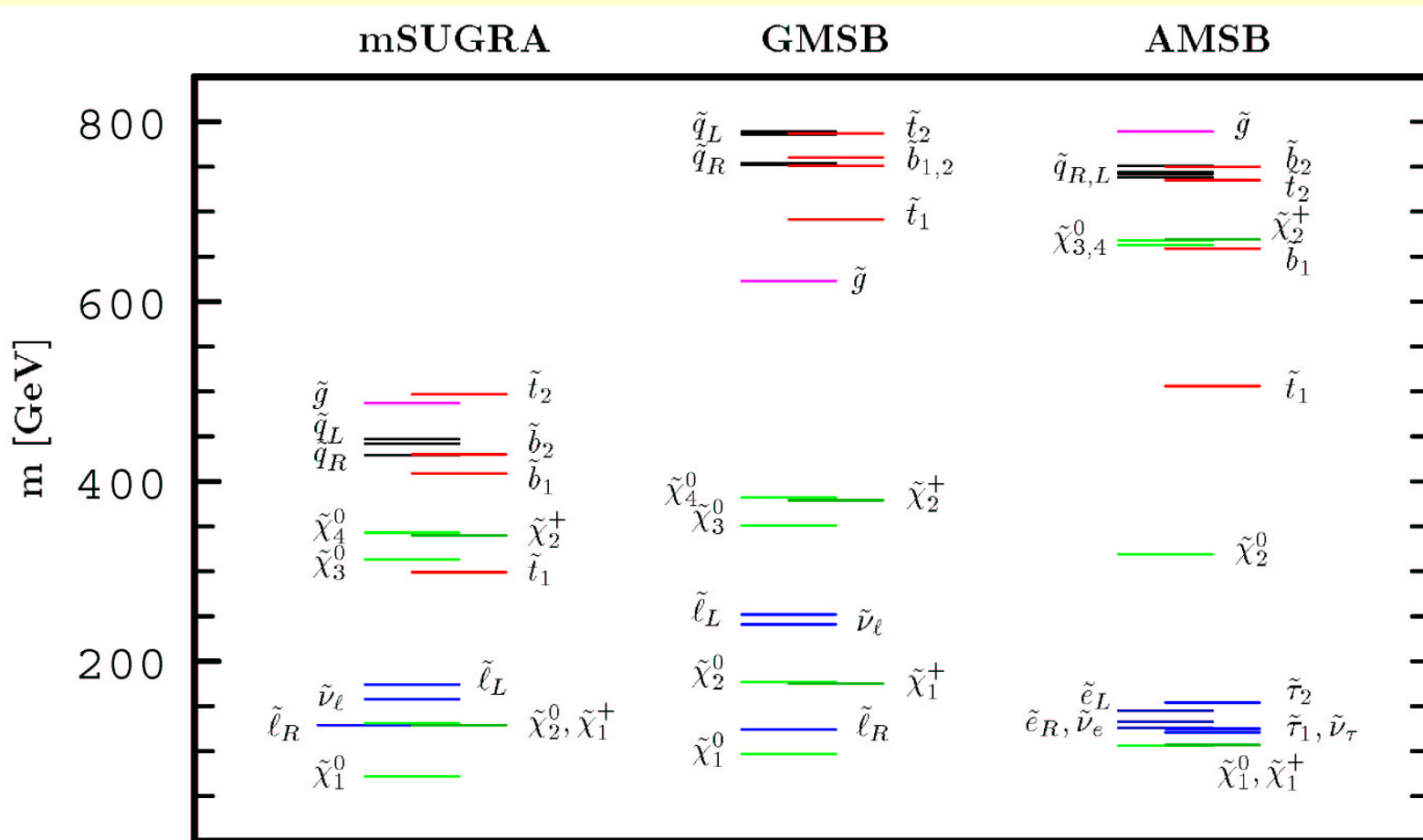
Физика топ кварка

Физика В-мезонов

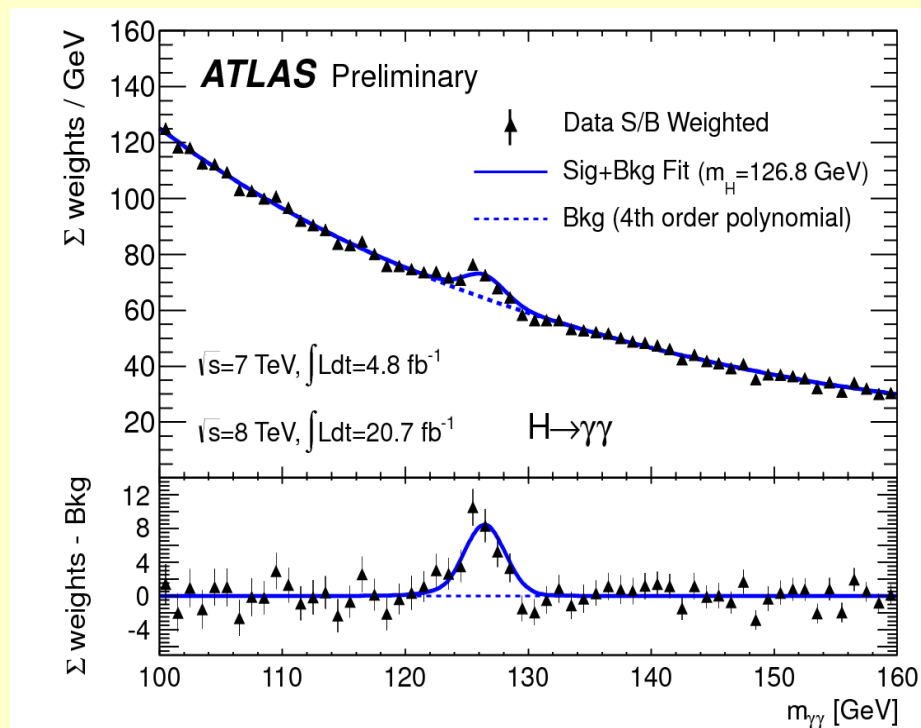
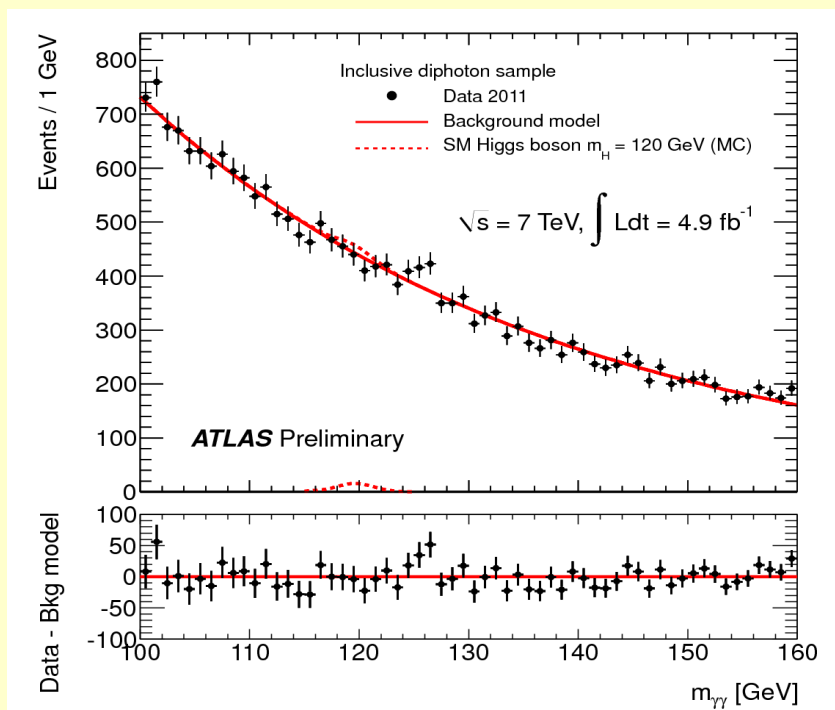
Суперсимметрия

Устранение расходимостей в рад. поправках к массе Хиггса , проблема иерархии масс, унификация констант взаимодействия (сильные =э/магнитные=слабые), темная материя !!!!!!!

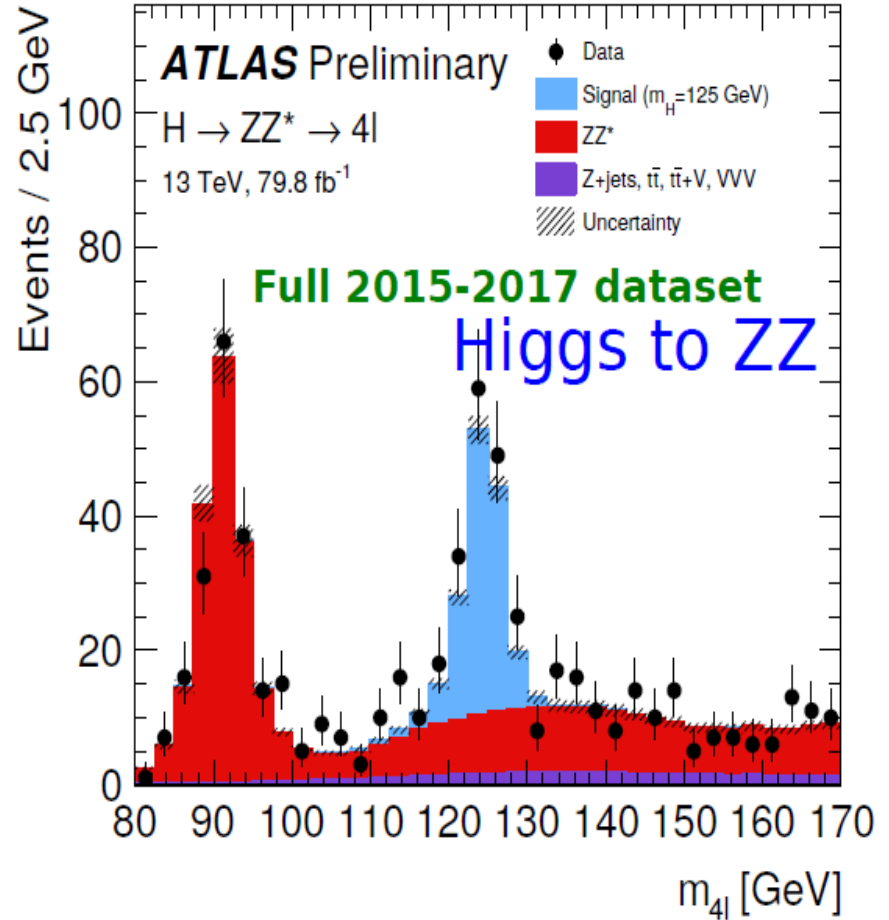
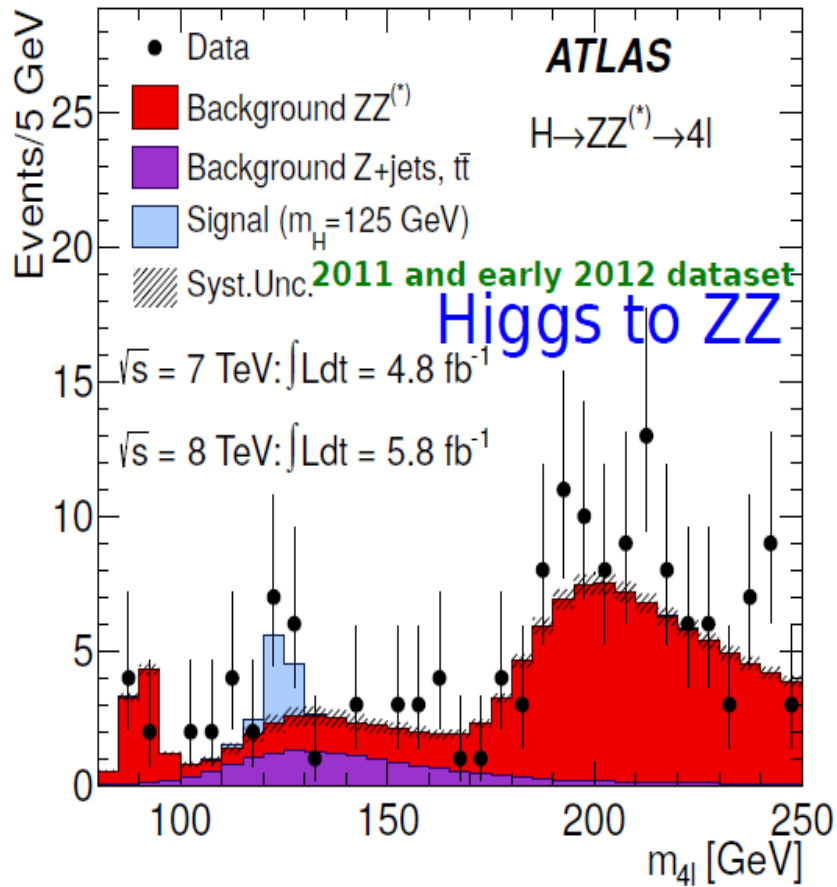
Предсказания



Обнаружение сигнала в канале $H \rightarrow \gamma\gamma$



Распад $H \rightarrow 4l$

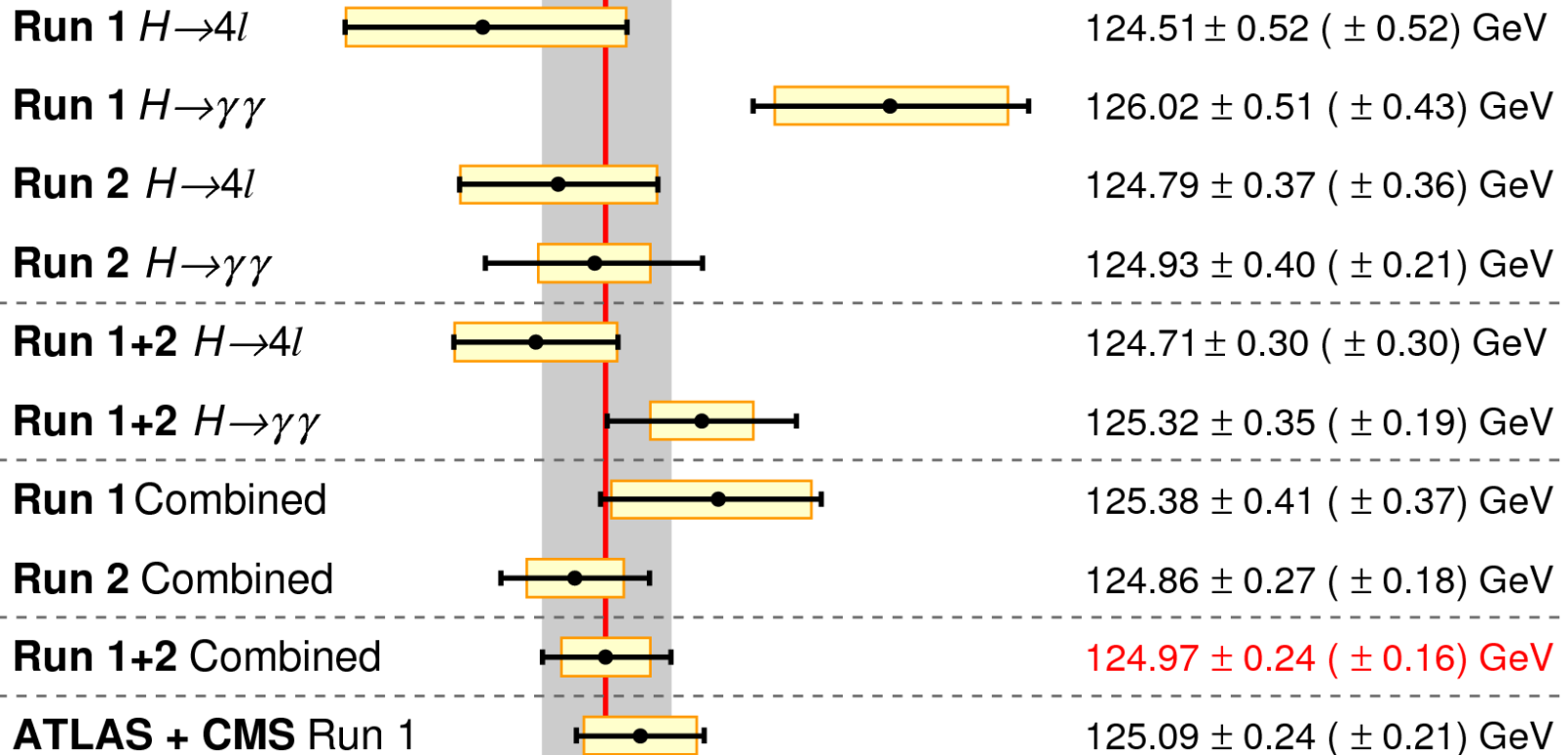


Наблюдение бозона Хиггса - «зеленый цвет» для Нобелевской премии 2013 г.
 П.Хиггсу

ATLAS

Run 1: $\sqrt{s} = 7\text{-}8$ TeV, 25 fb⁻¹, Run 2: $\sqrt{s} = 13$ TeV, 36.1 fb⁻¹

—●— Total □ Stat. only



123

124

125

126

127

128

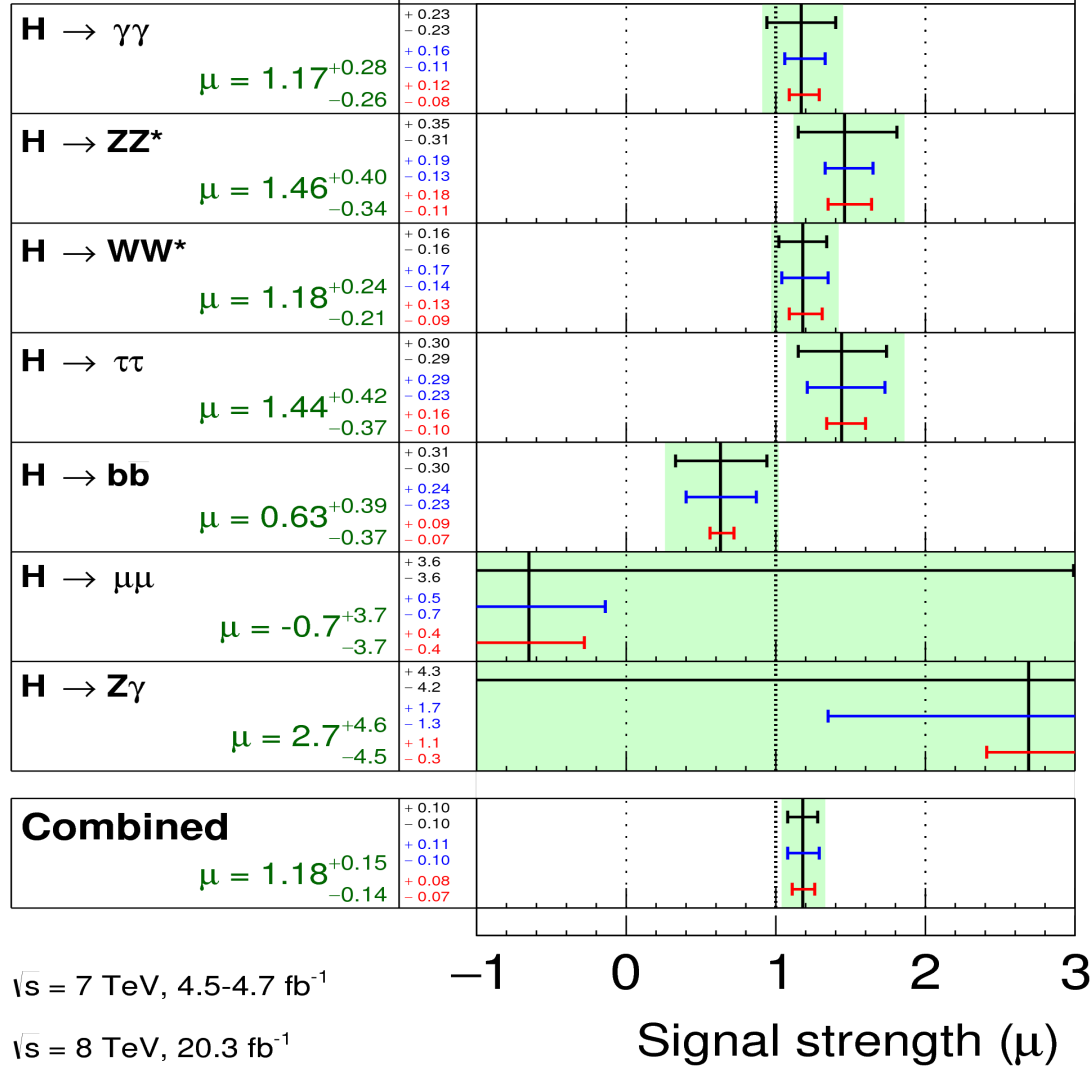
m_H [GeV]

ATLAS

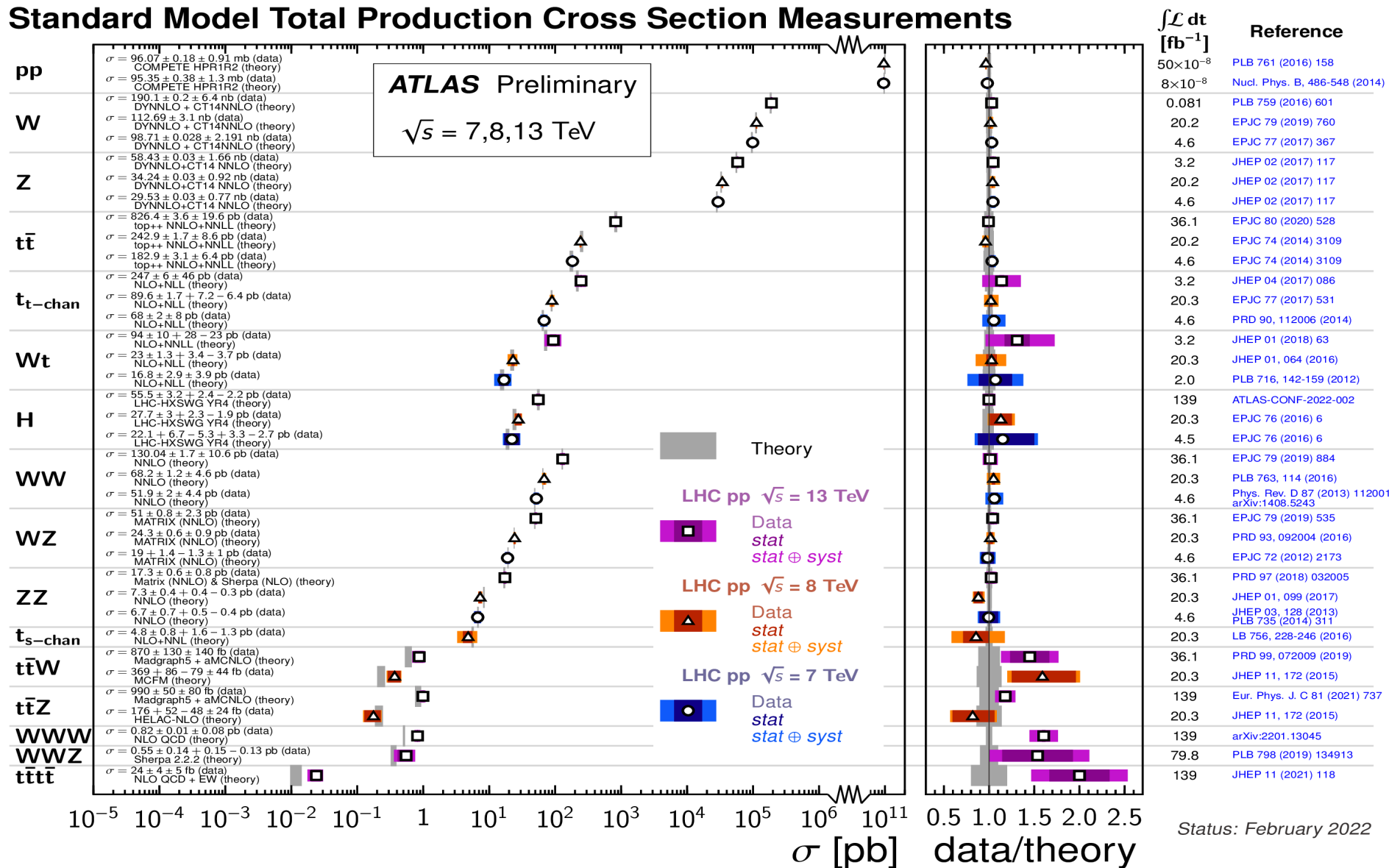
$m_H = 125.36 \text{ GeV}$

$\sigma(\text{stat.})$
 $\sigma(\text{theory})$
 $\sigma(\text{sys inc.})$

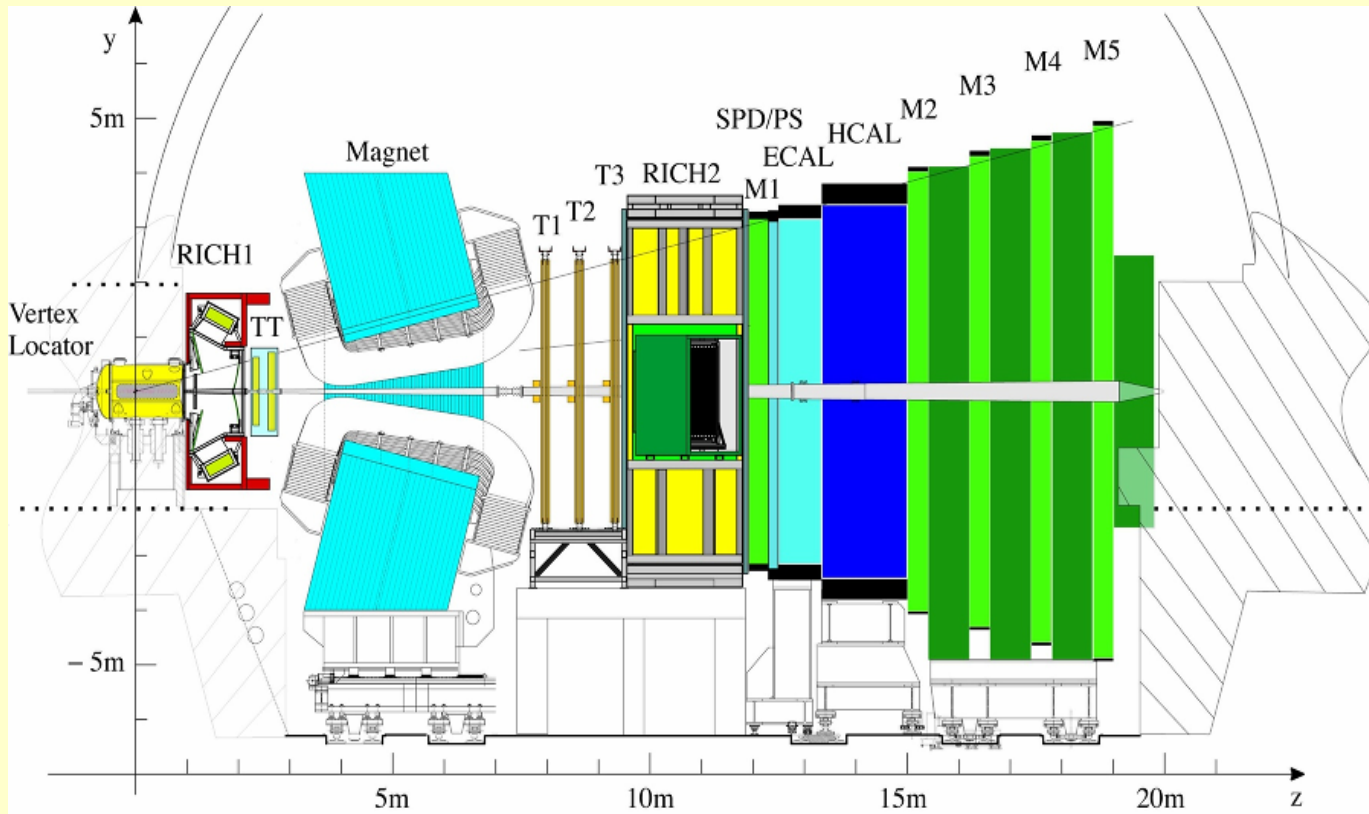
Total uncertainty $\pm 1\sigma$ on μ



Standard Model Total Production Cross Section Measurements



Детектор LHCb



Одноплечевой спектрометр, $2 < \eta < 5$ (15-300 мрад)

Оптимизирован для изучения распадов В-мезонов

Светимость в IP: 2×10^{32} (проектная)

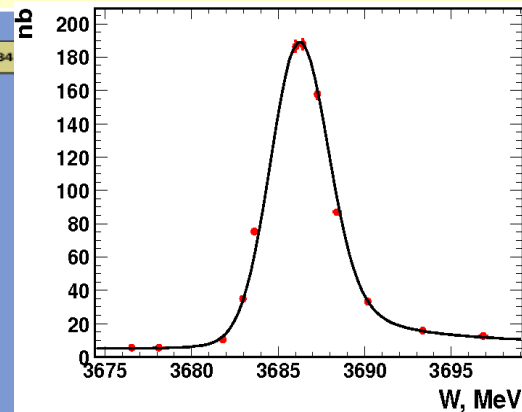
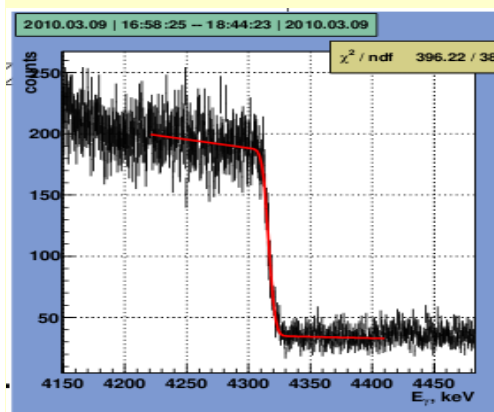
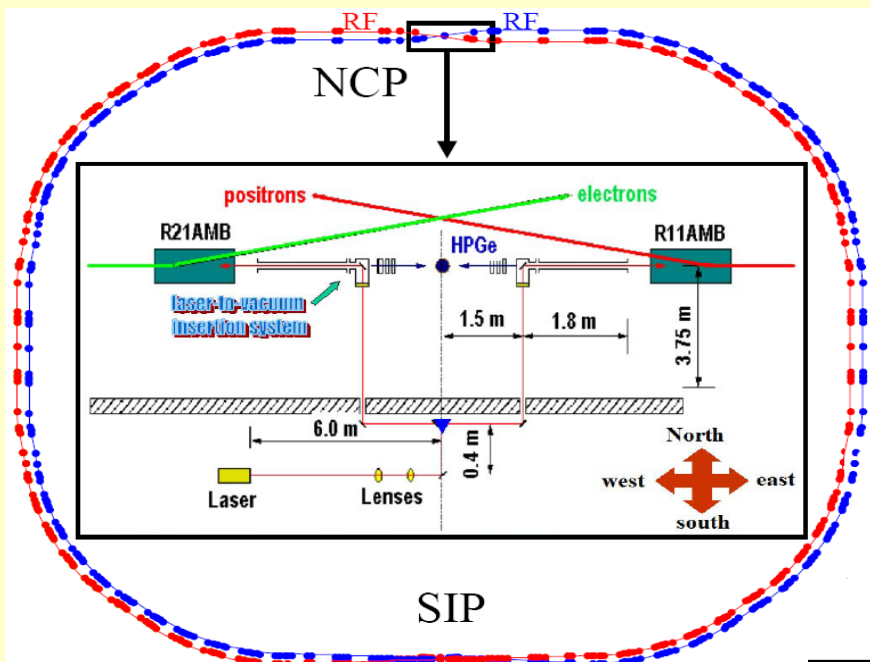
4×10^{32} (фактическая в 2012)

Интеграл светимости: 1.1 fb^{-1} (2011)

2.1 fb^{-1} (2012)

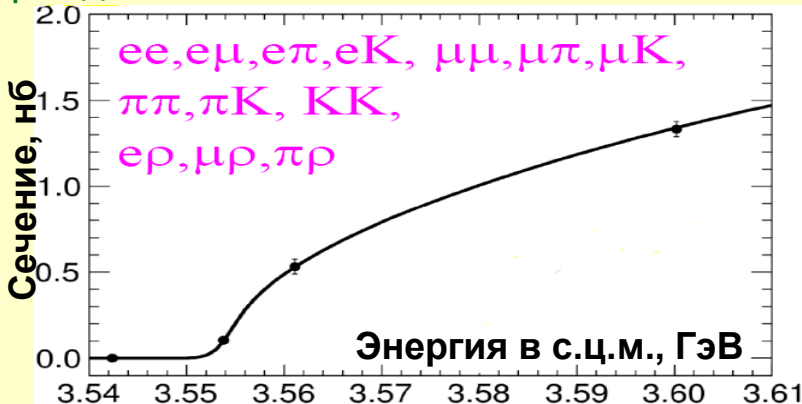
КОЛЛАБОРАЦИЯ BES-III.

Вклад ИЯФ: создание системы измерения энергии ВЕРС-II методом обратного комптоновского рассеяния:



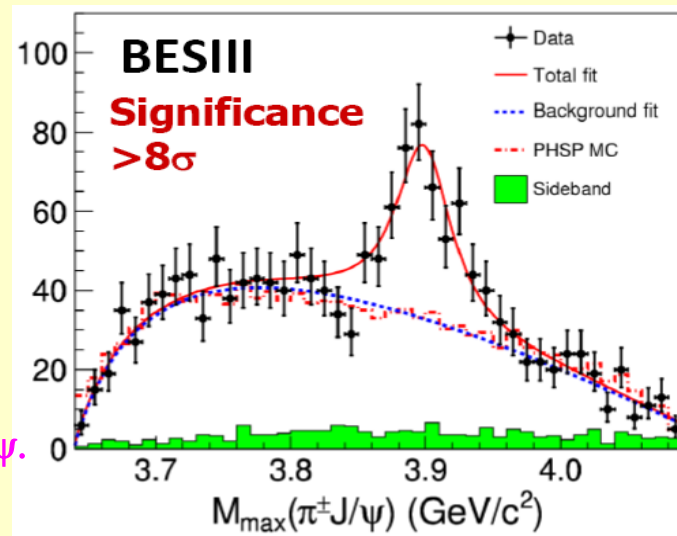
Точность измерения энергии 2×10^{-5} была оценена путём сравнения с положением пика $\psi(2S)$ -резонанса.

В декабре 2011 г. набрано 25 пб^{-1} на пороге рождения τ -летона.



$m_\tau = 1776,91 \pm 0,12 \pm 0,12 \text{ МэВ}$. Предварительно.

В 2013 г. опубликовано 25 статей. «Горячий» результат (более 110 ссылок): Наблюдение структуры $Z_c(3900)$ в процессе $e^+e^- \rightarrow \pi^\pm Z_c^\pm(3900) \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi$.





MEG at PSI

× Поиск распада $\mu \rightarrow e\gamma$ с проектной чувствительностью 10^{-13}

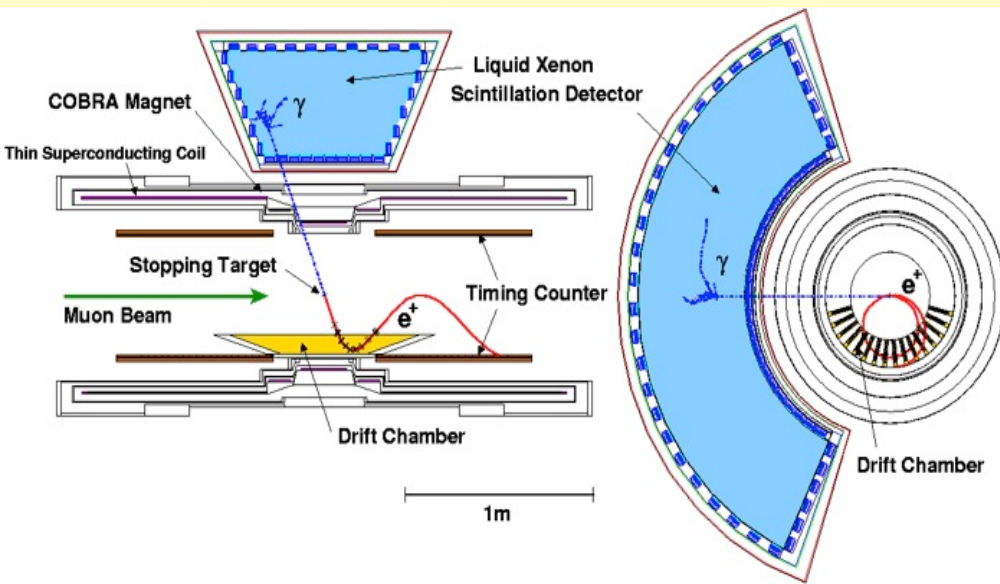
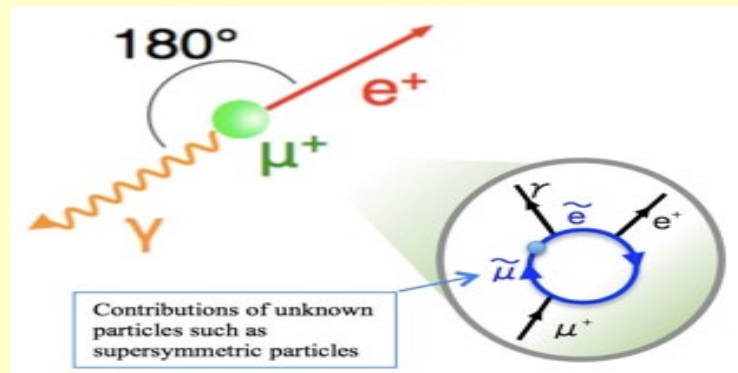
В СМ 10^{-47}

Многие теории вне Стандартной модели предсказывают величину близкую к текущему экспериментально измеренному пределу

× Самый интенсивный в мире мюонный пучок в PSI ($< 10^8 \mu^+ / \text{сек}$)

× Liquid Xe фотонный детектор

× Позитронный спектрометр со специальной конфигураций магнитного поля



$Br < 3 \times 10^{-13}$ 90% C.L.

New Muon g-2/EDM Experiment at J-PARC with Ultra-Cold Muon Beam

Target sensitivity:

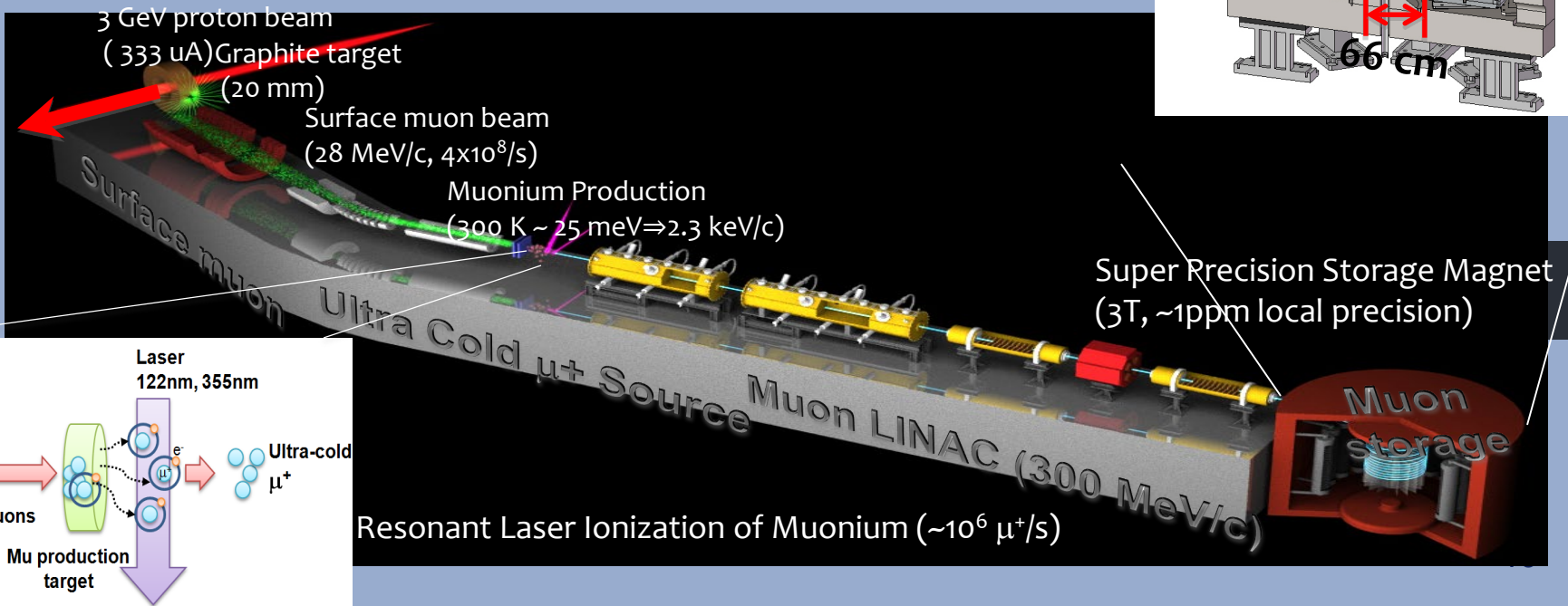
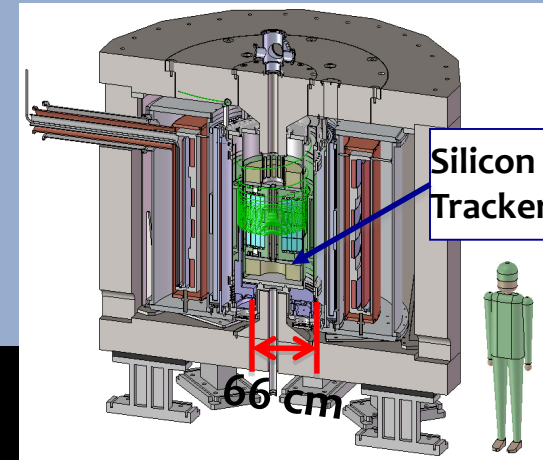
0.1 ppm in a_μ ;

$\sim 10^{-22}$ e \times cm in d_μ

The collaboration

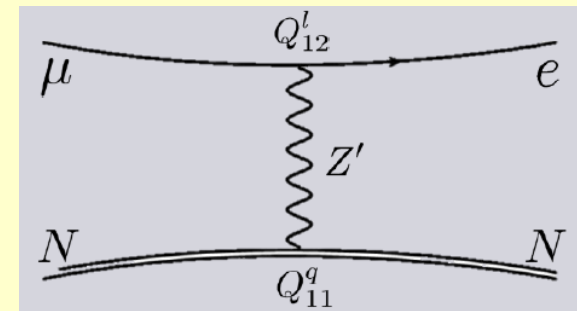
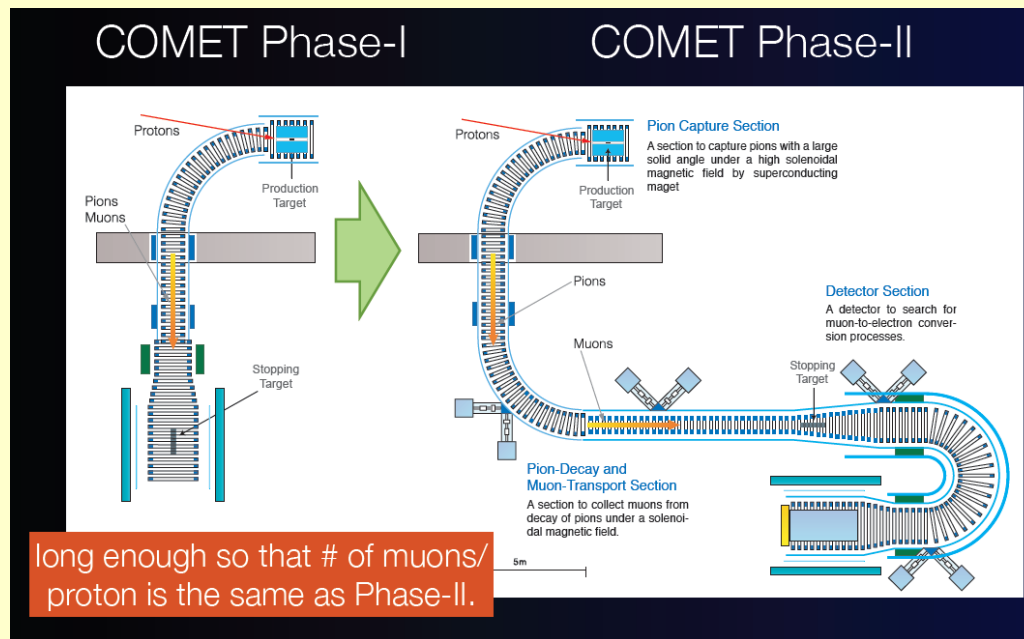
- More than 100 members
- 21 Institutions from 8 countries
- BINP ~ 5 people

Вклад ИЯФ: спиновые ротаторы ???



The COherent Muon to Electron Transition: (COMET) Experiment (безнейтринный переход мюона в электрон в поле атомного ядра)

**Цель: поиск нарушения закона сохранения
лептонного числа в заряженном секторе**



Участие ИЯФ:
Калориметр,
Дрейфовая камера,
Мюонные счетчики.
Всего 9 человек.

Первый этап утвержден и профинансирован. Набор данных начнется в 2016 г. Цель: достичь чувствительности 10^{-14} (на 2 порядка лучше современного предела). Набор данных со вторым этапом планируется начать в 2020 г. с целью достичь чувствительности 10^{-16} .