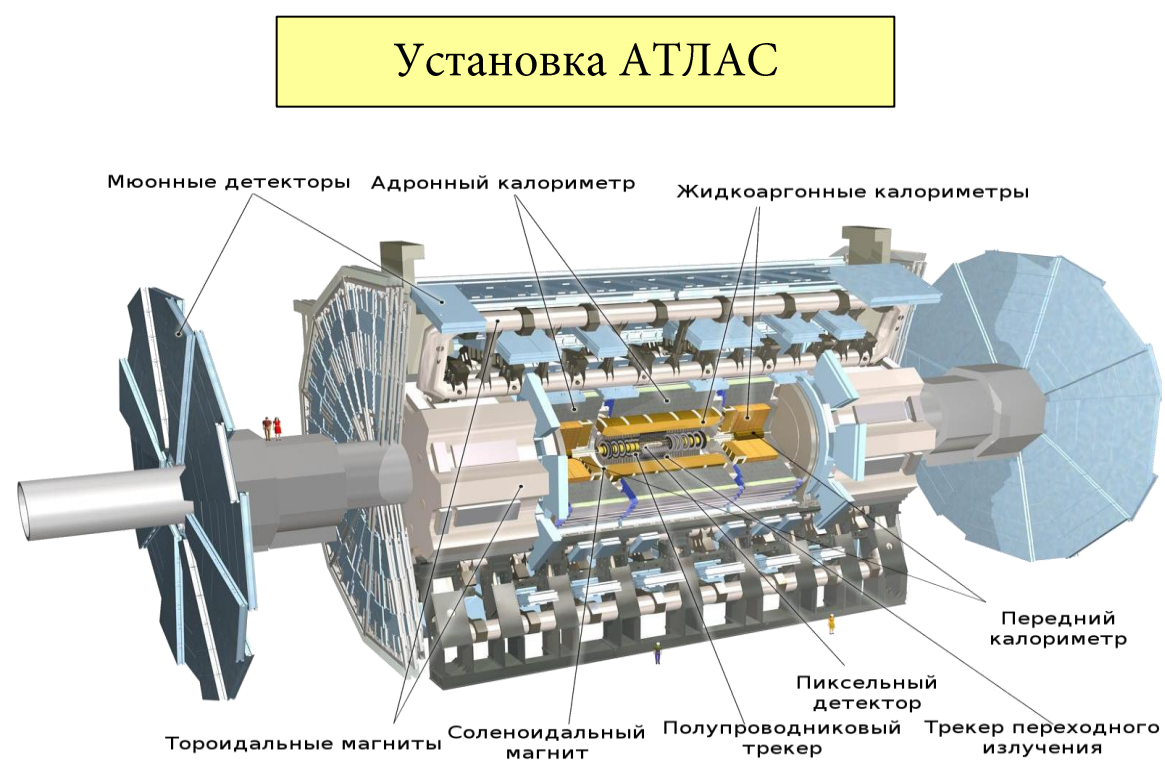




# Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт” Институт теоретической и экспериментальной физики Эксперимент ATLAS



## Эксперимент ATLAS: цели и участники



### Российские участники:

БИЯФ, ИТЭФ, ИФВЭ, МИФИ, НИИЯФ МГУ, ПИЯФ, ФИАН и ОИЯИ (международная организация)  
Вклад России и ОИЯИ: 5% от стоимости эксперимента; 9% оборудования российское.

## ИТЭФ в подготовке и работе ATLAS

Участники группы ИТЭФ-ATLAS (2015 г.): В.Д. Хованский<sup>1,3</sup>, А.А. Артамонов<sup>1</sup>, А.А. Гаврилук, П.А. Горбунов<sup>1</sup>, А.С. Жохов, С.П. Макарычев, И.И. Цукерман<sup>1</sup> (руководитель), В.В. Шаманов, П.Б. Шаталов<sup>1</sup>. Ранее, в состав группы также входили В.Ш. Эпштейн<sup>2</sup>, С.А. Зельдович, В.А. Зайцев, С.П. Кручинин<sup>2</sup>, М.С. Рябинин, В.М. Сережин.

- 1) Автор
- 2) Автор отдельных публикаций
- 3) Почётный руководитель группы

### Вклад ИТЭФ

- Создание переднего калориметра ATLASa (НИОКР, строительство, пучковые тесты, моделирование: 1990 – 2006)
- Материальный вклад ИТЭФ – 30% стоимости всего FCal
- Работы с FCal (диагностика, контроль качества данных, контроль и коррекция положения FCal по реальным данным, мониторинг рабочих параметров)
- Эксплуатация калориметров (дежурства в сменах на пульте управления ATLAS при наборе данных, поддержка базы данных адронного калориметра: 2008 – 2013, поддержание центральной базы данных ATLAS: 2013 - настоящее время)
- Участие в анализе для поиска бозона Хиггса (в составе рабочей группы Higgs WG ATLAS: 2006 – настоящее время.)
- Поддержка компьютеров ATLAS в ЦЕРН: 2008 – настоящее время

Физики ИТЭФ регулярно участвуют в 8-часовых сменах на пульте управления калориметрами ATLAS.

## ИТЭФ и создание переднего калориметра FCal

(A. Artamonov et al, NIM A362 (1995) 386, A. Artamonov et al, NIM A370 (1996) 425, ATLAS Letter of Intent (1992), ATLAS Technical Proposal (2004))

ИТЭФ участвует в эксперименте ATLAS с самого начала этого проекта (1990 г.) Совместно с Аризонским университетом (США), группой ИТЭФ была разработана концепция интегрированного жидкоаргонового переднего калориметра (Forward Calorimeter, FCal) с дрейфовыми трубками для регистрации струй и измерения недостающей поперечной энергии ( $E_T^{miss}$ ) в диапазоне полярных углов  $\theta$  от 0.8-6 градусов ( $3 < |\eta| < 5$ ,  $\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$ )

- FCal располагается в том же криостате, что и торцевой адронный калориметр на расстоянии менее 5 м от точки взаимодействия
- Малый зазор жидкого аргона (от 250 до 500 мкм) предохраняет от накопления ионного заряда
- Калориметр имеет одну электромагнитную секцию (поглотитель – медь) и две адронные секции (поглотитель – вольфрам). Длина – 10λ

Детектор строился в сотрудничестве с канадскими (Торонто, Карлтон) и американским (Аризона) университетами. В течение 1998-2002 гг. ИТЭФ изготовил 32 тысячи прецизионных вольфрамовых электродов общей массой 5.75 т.

## Тестирование и калибровка модулей FCal

В 2003-2005 гг. ИТЭФ участвовал в тестировании и калибровке модулей FCal в пучках электронов и пионов ускорителя SPS ЦЕРН, с решающим (или значительным) вкладом в

### Цель эксперимента:

- изучение Стандартной Модели (СМ) в новом диапазоне энергий на Большом Адронном Коллайдере (БАК) ЦЕРН;
- обнаружение бозона Хиггса — единственной частицы СМ, оставшейся неоткрытой к началу 21 века;
- поиск новой физики за пределами СМ путем обнаружения новых частиц и прецизионного измерения свойств известных частиц и взаимодействий.

Сотрудничество ATLAS: 3000 ученых из 174 институтов из 38 стран, Более 1000 аспирантов.

- оборудование тестовых пучков
- систему набора и архивирования данных
- прототип генератора калибровочных импульсов
- анализ данных
- криогенные испытания собранных торцевых жидкоаргоновых калориметров
- разработку программного обеспечения для физического моделирования

## Физические характеристики FCal

(A. Artamonov et al, JINST 2 P02010 (2008), J.P. Archambault et al, JINST 8 P05006 (2013))

### Требования к передней области в эксперименте ATLAS:

- перекрывание до  $|\eta| < 5$  (герметичность для избежания «хвостов» в распределении по  $E_T^{miss}$  при поиске новых частиц и для других задач)
- высокая эффективность идентификации адронных струй для поиска бозона Хиггса в механизме слияния векторных бозонов
- «умеренное» энергетическое и пространственное разрешение для струй

### Результаты калибровок FCal:

Малозначительные «хвосты» в энергетическом разрешении: вероятность для пиона с энергией 200 ГэВ измерить его с ошибкой более 100 ГэВ – всего  $O(10^{-4})$ . Профили адронных ливней согласуются с расчетными. Постоянный член энергетического разрешения – лучше требуемого.

$$\sigma/E = A/\sqrt{E} (GeV) \oplus B$$

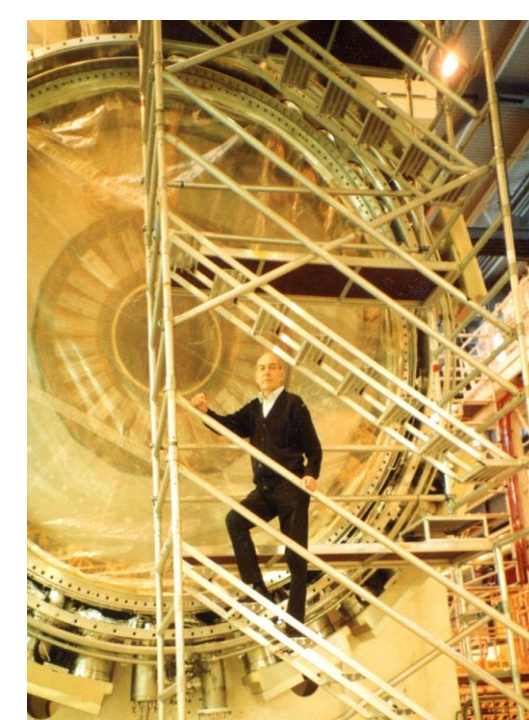
Требования: A=100%, B=10%



Физики ИТЭФ во время тестов FCal на тестовом пучке ЦЕРН в 2003 г. Слева направо: В.Д. Хованский, П.А. Горбунов, П.Б. Шаталов, В.Ш. Эпштейн.

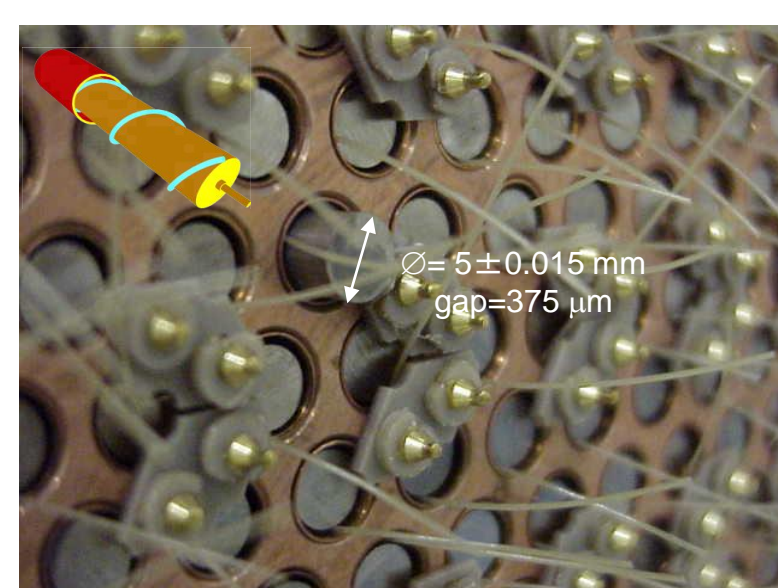


Первые pp-столкновения в ATLAS (пульт калориметров, декабрь 2009 г., внизу слева — И.И. Цукерман за пультом FCal)



Январь 2005, заканчивается сборка калориметра ATLAS. Руководитель группы ИТЭФ В.Д. Хованский.

## Электроды FCal



Вольфрамовые электроды FCal-2. Вставка: схема электрода FCal с намотанной на него кварцевой нитью для удержания ширины жидкоаргонового дрейфового промежутка



Сборка FCal, 2005 г.

## ИТЭФ и поиск бозона Хиггса

Группа ИТЭФ в ATLASе выбрала для себя задачу поиска бозона Хиггса в механизме слияния векторных бозонов (VBF).

**В решении задачи важную роль играет передний калориметр,** поскольку адронные струи (q), сопровождающие рождение бозона Хиггса, летят в основном под малыми полярными углами (большими η)

С 2006 г. вместе с рабочими группами Higgs и Jet/ $E_T^{miss}$  ИТЭФ занимается анализом идентификации адронных струй в событиях с рождением бозона Хиггса по перспективному для поиска каналу  $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$  и в фоновых событиях.

В 2006-2009 г. в составе рабочих групп Higgs и Jet/ $E_T^{miss}$  мы изучали свойства адронных струй в рождении бозона Хиггса по перспективному каналу  $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ . Указанные исследования были полезны также для каналов VBF  $H \rightarrow \tau\tau$ , VBF  $H \rightarrow \gamma\gamma$  и VBF  $H \rightarrow 4\ell$

В 2010-2013 г. ИТЭФ работал над анализом адронных струй в контрольной области для фона к сигналу от  $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$  от процессов типа Дрелла-Яна.

С 2013 г. группа занимается оптимизацией критериев отбора для поиска тяжелого бозона Хиггса в канале  $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ . Мы изучаем кинематические распределения для лептонов и струй в смоделированных событиях сигнала и фона. Здесь рассматривается тяжелый бозон Хиггса в таких модификациях СМ как NWA, EWS, 2HDM и др.

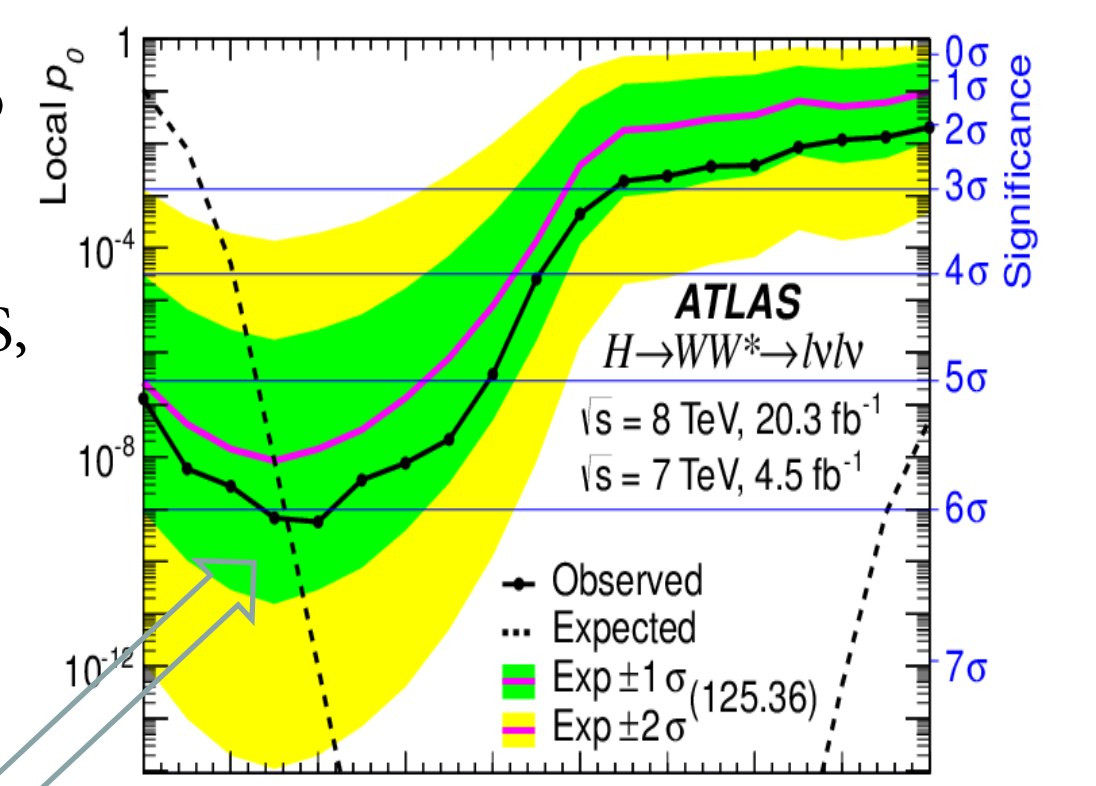
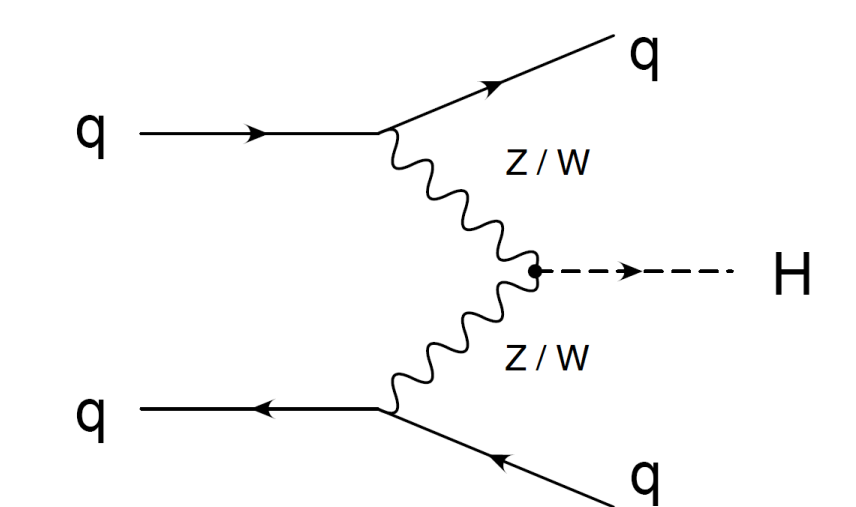
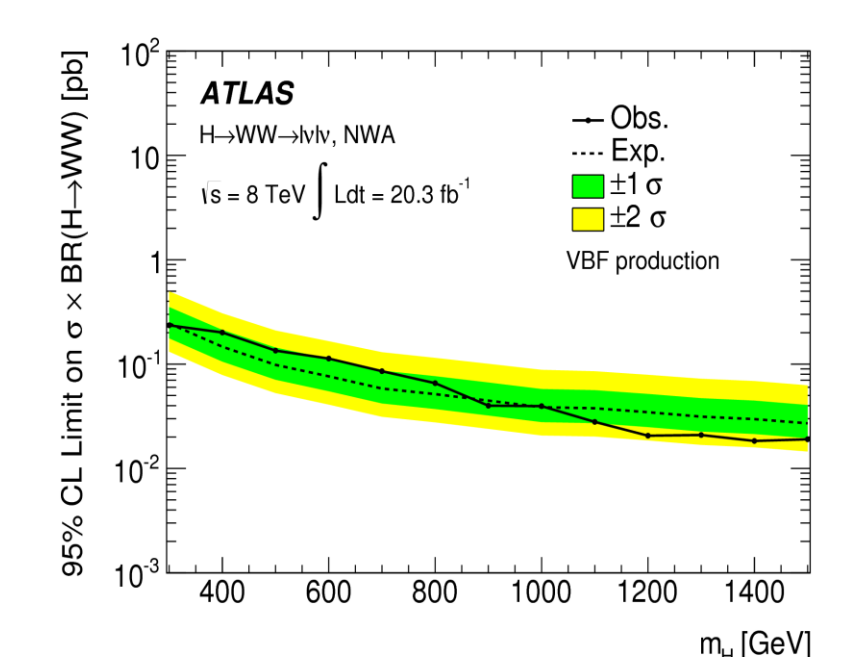
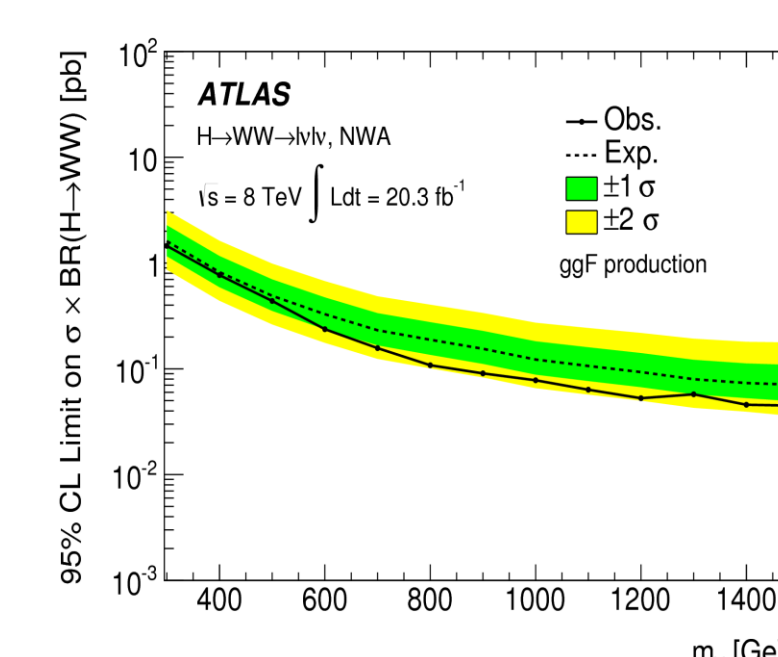
## Открытие бозона Хиггса СМ в ATLASе

Результаты рабочей группы по поискам бозона Хиггса Стандартной Модели:

- открытие бозона Хиггса в моде  $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$
- подтверждение соответствия его характеристик Стандартной Модели
- статистическая значимость сигнала более 6 стандартных отклонений
- $\sigma_H/\sigma_{SM} = 1.16^{+0.24}_{-0.21}$
- В настоящее время продолжаются исследования при энергии пучков 13 ТэВ

## Исключение H в канале $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$

Для главных механизмов рождения бозона Хиггса (слияния глюонов, ggF, и векторных бозонов, VBF) исключаются сечения рождения  $H \rightarrow WW$  40-1500 фб и 20-250 фб соответственно, при массе тяжелого бозона Хиггса в области 300-1500 ГэВ. Для продвижения в область больших масс необходимо повышать суммарную энергию протонов в системе центра масс до 13-14 ТэВ



Вероятность флуктуации фона в наблюдаемое число событий в зависимости от  $m_H$  (левая шкала). Значимость сигнала (правая шкала)