

Прецизионное определение параметров Стандартной Модели на БАК

А.Б. Арбузов, Д.Ю. Бардин, С.Г. Бондаренко,
Л.В. Калиновская, Р.Р. Садыков, П.Х. Христова

Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, ОИЯИ, Дубна

7 декабря 2011

Содержание доклада

- Статус стандартной модели (СМ)
- Проверка СМ на LEP и др.
- БАК: коллайдер
- БАК: основные задачи
- БАК: полученные результаты
- БАК: прецизионная проверка СМ
- БАК: приложения системы SANC
- БАК: что ждать?

Стандартная модель (I)

$$\blacksquare \text{ Физика } = \text{ Эксперимент } \oplus \text{ Теория }$$

Стандартная модель (I)

- Физика = Эксперимент $\oplus$ Теория
- Новая физика = Эксперимент $\ominus$ Теория

Стандартная модель (I)

- **Физика** = **Эксперимент** $\oplus$ **Теория**
- **Новая физика** = **Эксперимент** $\ominus$ **Теория**
- **Точность** нужна в обоих случаях

Стандартная модель (I)

- Физика = Эксперимент $\oplus$ Теория
- Новая физика = Эксперимент $\ominus$ Теория
- Точность нужна в обоих случаях
- Основная проблема физики высоких энергий — неопределенность границ применимости СМ

Стандартная модель (I)

- **Физика** = **Эксперимент** $\oplus$ **Теория**
- **Новая физика** = **Эксперимент** $\ominus$ **Теория**
- **Точность** нужна в обоих случаях
- Основная проблема физики высоких энергий — неопределенность границ применимости СМ
- Их определение — основная задача Большого адронного коллайдера

Стандартная модель (I)

- **Физика** = **Эксперимент** $\oplus$ **Теория**
- **Новая физика** = **Эксперимент** $\ominus$ **Теория**
- **Точность** нужна в обоих случаях
- Основная проблема физики высоких энергий — неопределенность границ применимости СМ
- Их определение — основная задача Большого адронного коллайдера
- Уточнение параметров СМ необходимо с самых разных точек зрения. . .

Стандартная модель (II)

Основа **СМ** — принципы симметрии $\Rightarrow$
 $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ и группа Пуанкаре

$\oplus$ минимальность, перенормируемость, унитарность, ...

Статус: слишком хорошо описывает практически все
данные опыта

Но есть проблемы и внутренние, и внешние ...

Много параметров: постоянные связи (калибровочные,
юкавские, Хиггса), углы смешивания и фазы,
всего **одна масса**, Λ_{QCD} ...

Проверка СМ на LEP

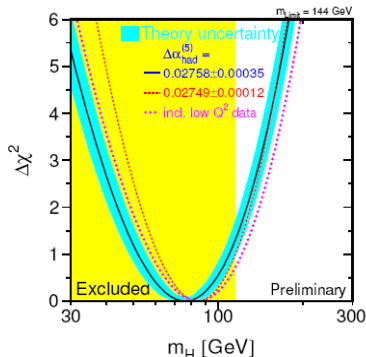


Fig. 24: $\Delta\chi^2 = \chi^2 - \chi^2_{\min}$ versus M_H , from the global fit to the electroweak data. The vertical band indicates the 95% exclusion limit from direct searches [29, 30].

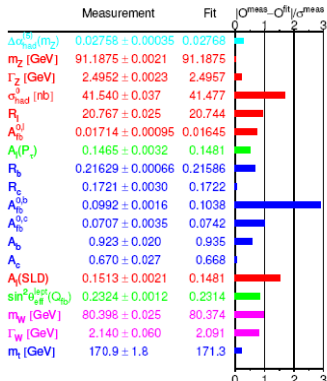


Fig. 25: Comparison between the measurements included in the combined analysis of the SM and the results from the global electroweak fit [29, 30]

Проблемы СМ

- Виды взаимодействий разные
- Объединение с гравитацией?
- Много параметров ...
- Конфанмент КХД
- Бозон Хиггса
- Бариогенезис
- Осцилляции нейтрино
- Аномальный магнитный момент мюона
- много еще ...

Проблемы СМ

- Виды взаимодействий разные
- Объединение с гравитацией?
- Много параметров ...
- Конфанмент КХД
- Бозон Хиггса
- Бариогенезис
- Осцилляции нейтрино
- Аномальный магнитный момент мюона
- много еще ...
- Считаем, что СМ — эффективная теория, т. е.
низкоэнергетическое приближение более общей модели

БАК (I)

Большой адронный коллайдер (БАК, LHC)

Столкновения протонов с протонами (или тяжелых ионов) при суммарной энергии пучков 7 Тэв (14 Тэв с 2014г.)

10 сентября 2008 г. — запуск БАК

19 сентября 2008 г. — авария

осень 2009 г. — отладка ускорителя (E & $\mathcal{L}$)

март 2010 г. — начало работы при 3.5 Тэв на пучок

июнь 2011 г. — ATLAS и CMS набрали 1 фбн⁻¹

30 октября 2011 г. — набрано >6 фбн⁻¹

2012 г. — продолжение работы

2013 г. — остановка на ремонт

- Изучение свойств микромира

Задачи БАК

- Изучение свойств микромира
- Попытка найти фундаментальные законы

Задачи БАК

- Изучение свойств микромира
- Попытка найти фундаментальные законы
- Определение границ применимости СМ

Задачи БАК

- Изучение свойств микромира
- Попытка найти фундаментальные законы
- Определение границ применимости СМ
- Уточнение параметров СМ

Задачи БАК

- Изучение свойств микромира
- Попытка найти фундаментальные законы
- Определение границ применимости СМ
- Уточнение параметров СМ
- Бозон Хиггса

Задачи БАК

- Изучение свойств микромира
- Попытка найти фундаментальные законы
- Определение границ применимости СМ
- Уточнение параметров СМ
- Бозон Хиггса
- Изучение кварк-глюонной материи

Задачи БАК

- Изучение свойств микромира
- Попытка найти фундаментальные законы
- Определение границ применимости СМ
- Уточнение параметров СМ
- Бозон Хиггса
- Изучение кварк-глюонной материи
- Новая физика . . .

Задачи БАК

- Изучение свойств микромира
- Попытка найти фундаментальные законы
- Определение границ применимости СМ
- Уточнение параметров СМ
- Бозон Хиггса
- Изучение кварк-глюонной материи
- Новая физика . . .
- Поиск проявлений суперсимметрии, etc.

Задачи БАК

- Изучение свойств микромира
- Попытка найти фундаментальные законы
- Определение границ применимости СМ
- Уточнение параметров СМ
- Бозон Хиггса
- Изучение кварк-глюонной материи
- Новая физика . . .
- Поиск проявлений суперсимметрии, etc.
- Моделирование ранней Вселенной (???)

СМ на БАК (I)

Два сценария: СМ или НФ

Прецизионные предсказания СМ нужны в ОБОИХ случаях

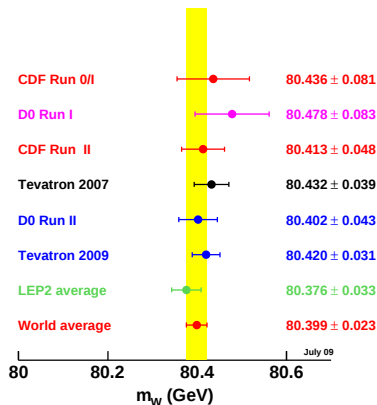
БАК — машина для открытий

НО прецизионная физика на БАК возможна

Tevatron (passed away 30 Sept. 2011) измерил M_W и Γ_W точнее, чем LEP!

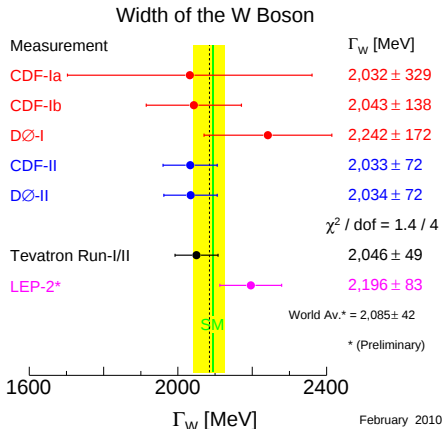
ATLAS, CMS, LHCб, ALICE, Totem, LHCf: (супер)детекторы

Определение M_W на Tevatron



D0: PRL'2009; CDF: PRD'2008, PRL'2007

Определение Γ_W на Tevatron



DØ: PRL'2009; CDF: PRL'2009, arXiv:1003.2826 [hep-ex]

СМ на БАК (II)

Задачи по проверке СМ:

Поиск бозона Хиггса (см. фит данных LEP)

Изучение свойств Z - и W -бозонов

Процессы типа Дрелла-Яна

Изучение свойств топ-кварка

Физика B -мезонов, матрица ККМ

Свойства тау-лептона

Пертурбативная КХД

...

Результаты БАК (I)

Уже более сотни научных статей с результатами БАК

Большая часть - СМ

Другие темы: SUSY, Exotics, Perf., Top, Higgs, B-physics, etc.

Основные новые результаты:

не видят бозон Хиггса

не видят эффекты суперсимметрии

Результаты БАК: бозон Хиггса (I)

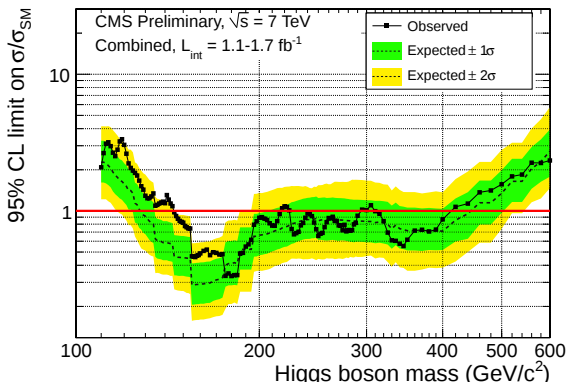
закрит очень широкий диапазон возможных значений массы M_H

На конец лета 2011 г. осталось: (95% C.L.):

114.4 — 145 ГэВ,

288 — 296 ГэВ,

$M_H > 464$ ГэВ



Результаты БАК: бозон Хиггса (II)

13 декабря 2011 состоится

CERN PUBLIC SEMINAR

Update on the Standard Model Higgs searches in ATLAS and CMS

Официальные новые (после лета) результаты по поиску бозона Хиггса на БАК

В объявлении говорится, что никаких определенных результатов (открытия или “закрытия” Хиггса) еще не получено

Результаты БАК: CP-нарушение в распадах D^0

LHCb измерил впервые асимметрию

$$A_{CP}(f) = \frac{\Gamma(D^0 \rightarrow f) - \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow f)}{\Gamma(D^0 \rightarrow f) + \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow f)}, \quad f = KK, \pi\pi$$

D^0 или $\bar{D}^0$ определяется по распаду типа $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$

$$\Delta A_{CP} = A_{CP}(KK) - A_{CP}(\pi\pi)$$

Результат:

$$\Delta A_{CP} = [-0.82 \pm 0.21(\text{stat.}) \pm 0.11(\text{syst.})] \% \quad \sim \mathbf{3.5\sigma}$$

Результаты БАК: SUSY

закрит широкий диапазон возможных значений параметров MSSM

SUSY: много новых частиц — пока не видят

SUSY: новые взаимодействия должны влиять на обычные (SM), в частности, на распады B -мезонов ... — пока не видят

Приложения SANC для БАК

Получены высокоточные теоретические предсказания для различные процессов с участием Z -, W - и H -бозонов и t -кварка, наблюдаемых на БАК. Учтены полные КХД и электрослабые поправки первого порядка (NLO).

Некоторые последние результаты:

D. Bardin, S. Bondarenko, P. Christova et al.,
Standard SANC modules for NLO QCD Radiative Corrections to Single-top Production,
arXiv:1110.3622 [hep-ph]

D. Bardin, S. Bondarenko, L. Kalinovskaya, V. Kolesnikov, W. von Schlippe,
Electroweak Radiative Corrections to Single-top Production,
Eur.Phys.J. C71 (2011) 1533

M. Aharrouché, A. Arbuzov, D. Bardin et al.,
Double differential Z, W cross sections and their ratios in the electron channels,
ATLAS note ATL-PHYS-INT-2011-081

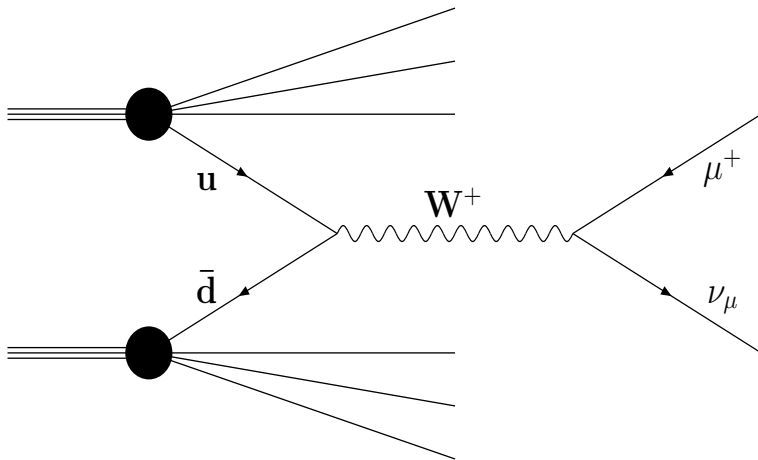
ATLAS Coll.,
Measurement of the inclusive $W^\pm$ and Z/γ^* cross sections in the e and τ decay channels in pp collisions
at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector,

arXiv:1109.5141 [hep-ex], accepted by Phys. Rev. D.

Процессы Дрелла-Яна

- SM single W and Z production at LHC have *large cross sections* and *clear signatures*
- The experimental precision tag is 1%
- CC and NC Drell-Yan processes will be used for
 - luminosity monitoring;
 - W mass and width measurement;
 - extraction of parton density functions;
 - detector calibration;
 - background to many other processes;
 - new physics searches
- Are we ready to provide an adequately accurate theoretical description of Drell-Yan?

Drell-Yan process diagram (CC)



Feynman diagram for Drell-Yan process in Charged Current (CC)

Description of Drell-Yan like processes

Aiming at high precision of DY description we need:

- QCD in LO, NLO and NNLO
- Parton shower and hadronisation effects
- EW radiative corrections in one-loop at least
- Most important higher order effects (resummed where possible)
- Interplay of QCD and EW effects
- Input: coupling constants, hadronic vacuum polarization, and PDFs for the appropriate energy scales and x -values
- All relevant effects to be implemented in a Monte Carlo event generator(s)

Drell-Yan in SANC

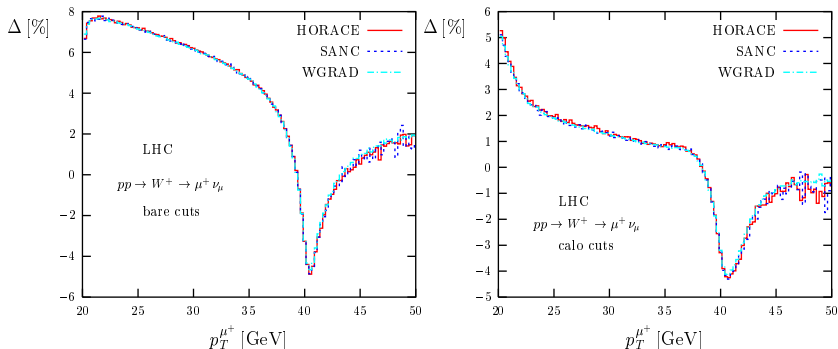
Automatized analytic calculations in SANC provide FORM and FORTRAN modules, which can be downloaded and used in a stand-alone mode (see Comput. Phys. Comm.'09 and the SANC web-site)

For the CC and NC Drell-Yan in SANC we have:

- Complete one-loop EW RC [A.A. et al., EPJC'06 (CC DY); EPJC'08 (NC DY)]
- Photon induced DY processes [A.A. et al., JETP'08]
- Complete one-loop (NLO) QCD [A.Andonov et al., Yad. Fiz.'10; Phys.Part.Nucl.Lett.'07]
- Interface to parton showers in PYTHIA and HERWIG [P.Richardson, R.Sadykov, A.Sapronov, M.Seymour, P.Skands]
- Higher order photonic FSR in LLA
- MC integrator and MC event generator

Tuned comparison of EW RC

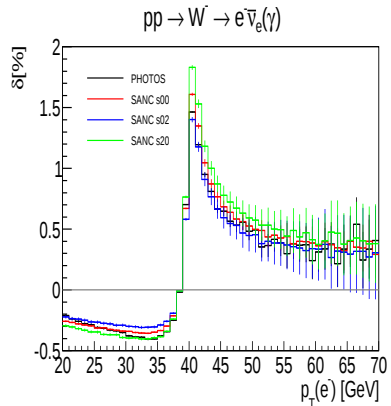
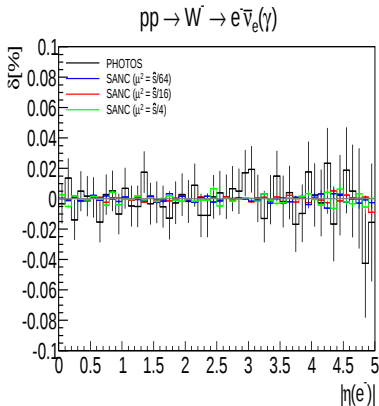
Tuned comparison with results of HORACE and Z(W)GRADE for EW RC to CC and NC DY were performed within *Les Houches* '05, '07 and *TEV4LHC* '06 workshops



- Set-up: $P_T(l, \nu) > 20$ GeV, $|\eta(l)| < 2.5$; $\alpha(0)$ EW scheme; **MRST2004QED**; NLO QED DIS subtraction scheme

Tuned comparison: SANC vs. PHOTOS (FSR)

Multiple FSR photon radiation gives large corrections



Theoretical uncertainty

- Uncertainties in PDF, but after a new fit from LHC data ...
- Treatment of heavy quarks (c and b) ...
- Treatment of s quarks in PDF's (**NEW!**)
- QCD (and QED) factorization scheme and scale dependence, effects of parton k_T
- pure QCD higher order terms $\Leftarrow$ recent NNLO results
- pure EW higher order terms:
 - EW scheme dependence: $\alpha(0)$ vs. G_F vs. $\alpha(M_Z)$
 - resummation of higher order EW Sudakov logs
 - other unknown EW higher order terms (should be small?)
 - hadronic vacuum polarization
 - top and Higgs mass dependence
- Interplay of EW and QCD effects: multiplicative vs. additive treatment
- All this to be quantified within working groups

Что ждать от БАК?

- БАК быстро (!) набирает статистику

Что ждать от БАК?

- БАК быстро (!) набирает статистику
- Обработка данных требует времени ...

Что ждать от БАК?

- БАК быстро (!) набирает статистику
- Обработка данных требует времени ...
- Бозон Хиггса откроют через ...

Что ждать от БАК?

- БАК быстро (!) набирает статистику
- Обработка данных требует времени ...
- Бозон Хиггса откроют через ...
- Что точно будет — проверка и уточнение СМ

Что ждать от БАК?

- БАК быстро (!) набирает статистику
- Обработка данных требует времени ...
- Бозон Хиггса откроют через ...
- Что точно будет — проверка и уточнение СМ
- НОВАЯ ФИЗИКА !!!

Что ждать от БАК?

- БАК быстро (!) набирает статистику
- Обработка данных требует времени ...
- Бозон Хиггса откроют через ...
- Что точно будет — проверка и уточнение СМ
- НОВАЯ ФИЗИКА !!!
- ИЛИ новая физика ???

Что ждать от БАК?

- БАК быстро (!) набирает статистику
- Обработка данных требует времени ...
- Бозон Хиггса откроют через ...
- Что точно будет — проверка и уточнение СМ
- НОВАЯ ФИЗИКА !!!
- ИЛИ новая физика ???
- БАК — лицо физики высоких энергий на годы вперед

Что ждать от БАК?

- БАК быстро (!) набирает статистику
- Обработка данных требует времени ...
- Бозон Хиггса откроют через ...
- Что точно будет — проверка и уточнение СМ
- НОВАЯ ФИЗИКА !!!
- ИЛИ новая физика ???
- БАК — лицо физики высоких энергий на годы вперед

Спасибо за внимание!