

# **ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

**2014**

**А.А.Воробьев**

**Сессия Учёного Совета ОФВЭ 26 декабря 2014 года**

Грант Президента РФ  
по государственной поддержке  
ведущих научных школ

**Петербургская школа экспериментальной физики  
высоких энергий**

*Исследование структуры ядер и физики элементарных  
частиц с использованием ускорителей.*

**1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014**

# Участники Школы 2014-2015

- Руководитель Школы

А.А.Воробьев

- Руководители направлений

Алхазов Г.Д., Васильев А.А., Иванов Ю.М., Ким В.Т., Пантелеев В.Н.,  
Самсонов В.М., Федин О.Л., Ханзадеев А.В.

- Молодые члены коллектива (<35 лет)

Андриевский Д.С., Воробьев С.И., Дзюба А.А., Егоров А.Ю.,  
Ежилов А.Е., Иванов А.Е., Ившин К.А., Инглесси А.Г., Котов Д.О., Малаев  
М.В., Морослип А.Э., Мурзин В.А., Орешкин В.А.,  
Соловьёв В.М., Суетин Д.П., Терёхин С.Н.

# *Стратегия научной деятельности ОФВЭ*

Выдержка из сборника “ Main Scientific Activities “ за 1997-2001 гг.

**“Максимальное использование имеющихся в ПИЯФ установок и участие в фундаментальных исследованиях в передовых мировых ускорительных центрах”.**

**Участие в международных экспериментах должно быть с серьезным интеллектуальным и приборным вкладом.**

**Участие в прикладных исследованиях, особенно в ядерной медицине.**

## *Кадровый состав*

Всего **239** сотр.+**14** студентов

Научные сотрудники **134**

Инженеры/техники **73**

Кандидаты наук **69**

Доктора наук **13**

14 студентов	
≤ 35	32 чел
36-50	32
51-60	43
61-70	78
71-80	49
>80	5

**Диссертации в 2014 году:**  
**Нестеренко Д.А. защита в СПбГУ**

# *Структура ОФВЭ*

Лаб. физики элементарных частиц

Лаб. мезонной физики конденс. сред

Лаб. релятивистской ядерной физики

Лаб. короткоживущих ядер

Лаб. мезонной физики

Лаб. малонуклонных систем

Лаб. мезоатомов

Лаб. адронной физики

Лаб. экзотических ядер

Лаб. крио. и сверхпровод.техники

Отдел радиоэлектроники

Отдел трековых детекторов

Отдел вычислительных систем

Отдел мюонных камер

*Г.Д.Алхазов*

*С.И.Воробьев*

*В.М.Самсонов*

*В.Н.Пантелеев*

*В.В.Сумачев*

*С.Л.Белостоцкий*

*Ю.М.Иванов*

*О.Е.Федин*

*Ю.Н.Новиков*

*А.А.Васильев*

*В.Л.Головцов*

*А.Г.Крившич*

*А.Е.Шевель*

*В.С.Козлов*

Опытное производство ОФВЭ

*В.И.Ясюкевич*

## АДМИНИСТРАЦИЯ ОФВЭ

---

Руководитель ОФВЭ	А.А. Воробьев
Зам. по научной работе	Г. Д. Алхазов
Зам. по научной работе	В.Т. Ким
Зам. по научной работе	А.А. Васильев
Зам. по общим вопросам	Л.С. Иванова /И.А. Логинова
Ученый секретарь	В.В. Саранцев
Секретарь семинара	С.И. Манаенков
Главный инженер	Г.Е . Гаврилов
Зам. гл. инженера	Е.А. Филимонов
Помощник по международным связям	Л.Ф. Никитина
Помощник по работе с молодежью	С.И. Воробьев

## Зарплата

Фонд зарплаты	5.0 млн.руб. в месяц
Стимулирующие	0.3 млн.руб. в месяц
Экономия	~ 0.3 млн.руб

### Средняя зарплата (бюджет)

5.0 млн.р./ 239 чел = 20.9 тыс.р. в месяц

реально в ноябре

5.0 млн.р./ 208 чел = 24.0 тыс.р. в месяц

+

контракты и гранты

Итого: **30 466** руб.в месяц

# Финансирование

## Гранты -2014

Ведущая научная школа Президента РФ	400 тыс.руб.
РФФИ-ЦЕРН, ATLAS	500
РФФИ-ЦЕРН, LHCb	600
РФФИ-ЦЕРН, UA9	700
РНФ PolFusion	5 000

## Контракты-2014

Минобрнауки РФ	ATLAS_UPGRADE	16.5 млн.руб.
Минобрнауки РФ	ALICE_UPGRADE	6.5
Минобрнауки РФ	LHCb_UPGRADE	9.48
Минобрнауки РФ	CMS_UPGRADE	19.0
FAIR R3B	HV system	54.15 тыс. Евро.

## НИЦ КИ-2014

Материалы и оборудование	9.5 млн.руб.
Командировки	3.8 млн.руб

## *Командировки*

Все командировки 169 (85 чел)

ЦЕРН 84 (43 чел)

Германия 44 (27 чел)

США 9 (8 чел)

PSI (Швейцария) 14 (8 чел)

Италия 5 (5 чел)

**Всего 255 чел.мес**

# **Научная деятельность ОФВЭ**

Все основные результаты представлены в специальных выпусках

## **<PNPI, High Energy Physics Division>**

- MAIN SCIENTIFIC ACTIVITIES 1971 – 1996 320 стр**
- MAIN SCIENTIFIC ACTIVITIES 1997 – 2001 343 стр**
- MAIN SCIENTIFIC ACTIVITIES 2001 – 2006 340 стр**
- MAIN SCIENTIFIC ACTIVITIES 2007 – 2012 415 стр**

Выставлены на сайте <http://hepd.pnpi.spb.ru>

## **Печатные работы, доклады на конференциях**

<b>Журналы иностранные</b>	<b>211</b>
<b>Журналы российские</b>	<b>6</b>
<b>■ Препринты иностранные</b>	<b>117</b>
<b>Препринты российские</b>	<b>1</b>
<b>■ Доклады на конференциях:</b>	
<b>За рубежом</b>	<b>20</b>
<b>В России</b>	<b>22</b>

# Премии

## Конкурс лучших работ ПИЯФ

- а) Почетная грамота и специальная премия за участие в открытии Хиггс бозона.
- б) 1-ая премия в области ядерной физики и физики элементарных частиц Д.В. Федорову и М.Д. Селиверстову за работу "Измерение первого ионизационного потенциала астата и исследование структуры его атомных уровней".

## Соискание премии им. И.В. Курчатова

Одним из победителей в области инженерных и технологических разработок стал А.Е. Шевель: "Концепция вычислительных микрокластеров + действующий вычислительный кластер ОФВЭ ПИЯФ НИЦ КИ".

## Первая молодежная конференция ПИЯФ

Одним из победителей в конкурсе на лучший доклад в секции "Физика ядра и элементарных частиц" стал Д.А. Нестеренко - 2-ая премия за доклад о работе "Прямые прецизионные измерения масс сверхтяжелых элементов".

# **СЕМИНАРЫ**

**Семинары ОФВЭ - 27**

**Семинары ОФВЭ+ОТФ - 5**



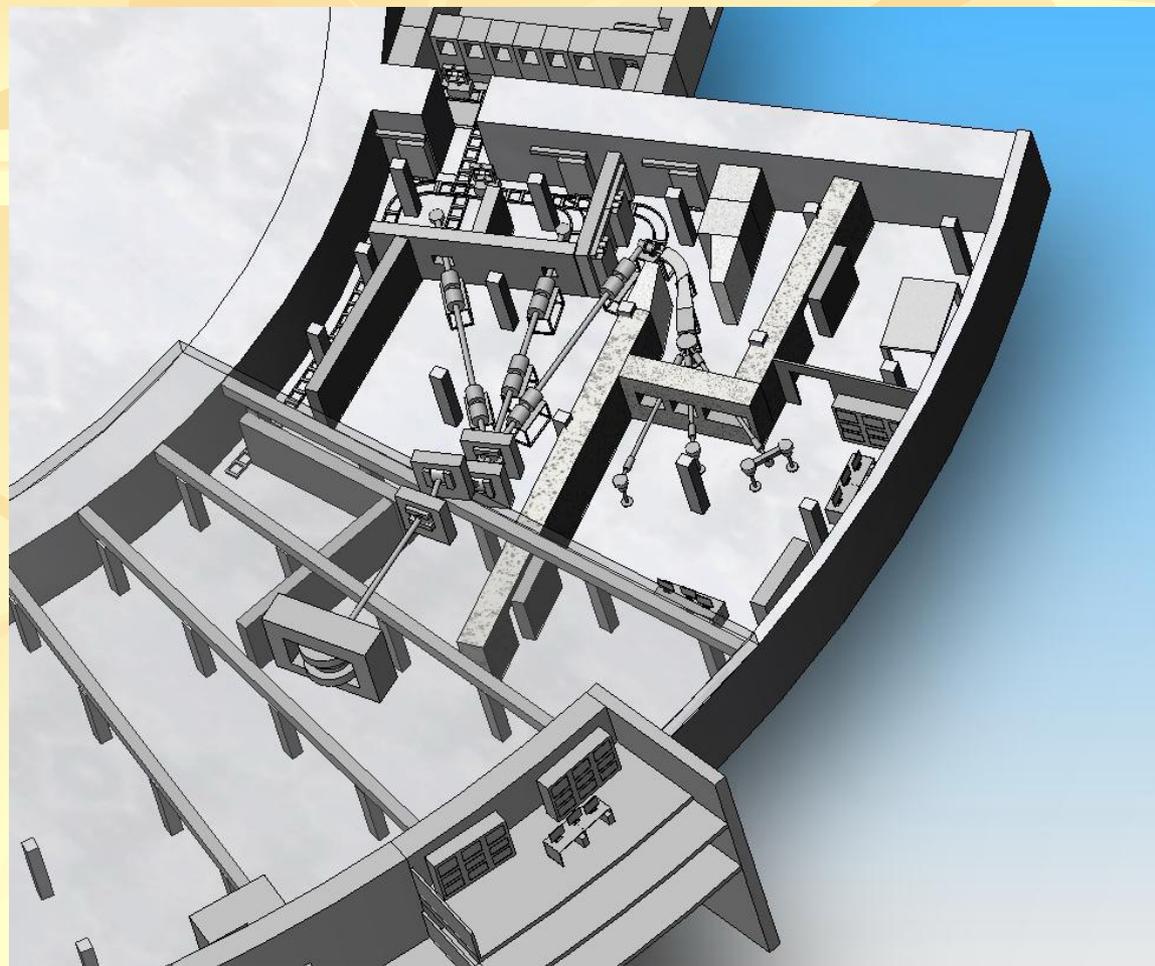
# **Основные результаты**

# Циклотрон Ц-80



# Радиоизотопный комплекс РИЦ-80

А.Воробьев, А.Г.Крившич, В.М,Пантелеев



Первая очередь

800 млн.руб.

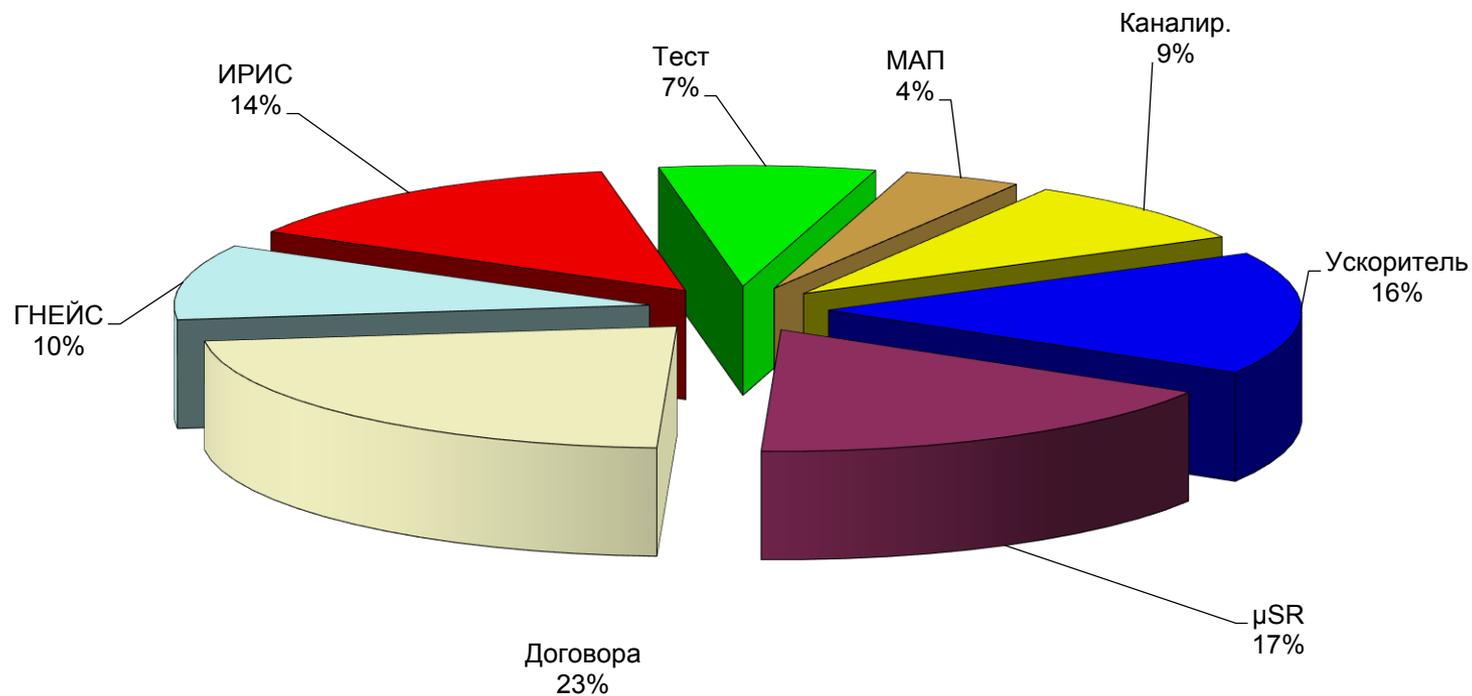
## Радионуклиды, планируемые к получению на РИЦ-80

Радионуклид	T1/2	Мишень	Время облуч. (ч)	Активность в мишени (Ки)	использование
<b>Ge-68</b> пэт калибр.	<b>270.8 d</b>	<b>Ga</b>	<b>240</b>	<b>2</b>	<b>калибровка ПЭТ сканеров, диагностика заболеваний нейроэндокринной системы</b>
<b>Sr- 82 пэт</b>	<b>25.55 d</b>	<b>Rb, Y</b>	<b>240</b>	<b>10</b>	<b>диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы</b>
Mo-99 офэт+тер	2.74 d	Mo	240	7.3	диагностика и терапия различных видов опухолей
In-111 офэт	2.8 d	Cd	25	24.7	Диагностика воспалительных процессов и злокачественных образований
I-123 офэт	13.27 h	Te	5	10.4	диагностика щитовидной железы, локализация опухолей (нейробластома и феохромоцитомы)
I-124 офэт	4.17 d	Te	25	9.3	диагностика щитовидной железы , локализация опухолей, терапия
Tb-149 α-тер	4.1 h	Gd	12	3.5	терапия злокачественных образований на клеточном уровне
Ra-223 α-тер	11.4 d	Th	240	7.3	терапия злокачественных образований

Кроме указанных в таблице радионуклидов, планируется создание линии для выделения **Re-188**, получаемого на реакторе. Имеется также возможность после осуществления 2-го этапа проекта производить **Cu-64, Cu-67, Rb-81, At-211**, а также другие медицинские радионуклиды.

# Синхроциклотрон

2392 час



Три уникальных установки на СЦ ПИЯФ

Установка ИРИС

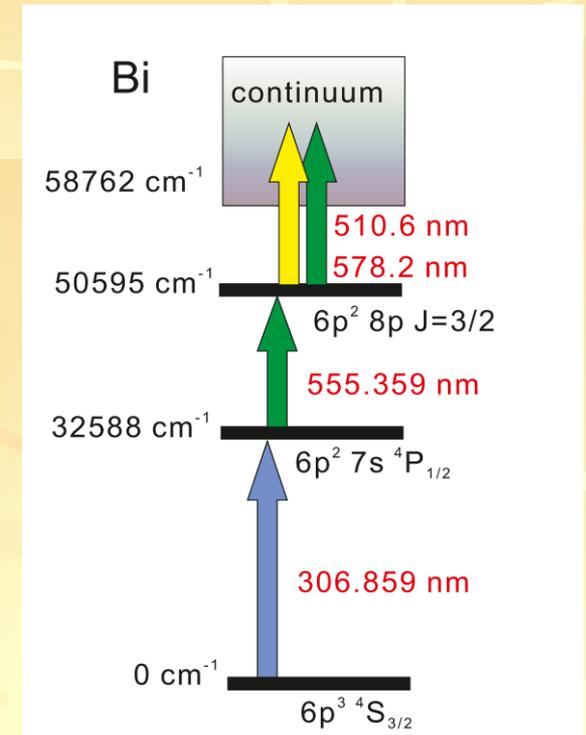
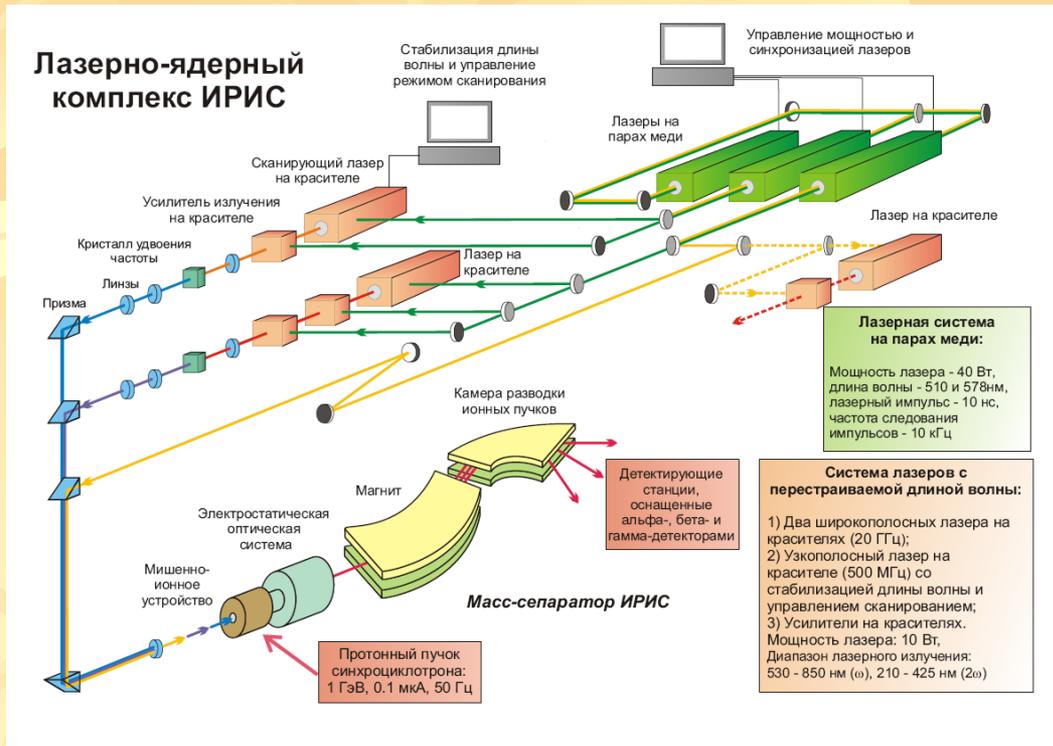
Установка МАП

Установка  $\mu$ SR

И стенд для испытаний детекторов

# Эксперимент ИРИС на СЦ ПИЯФ

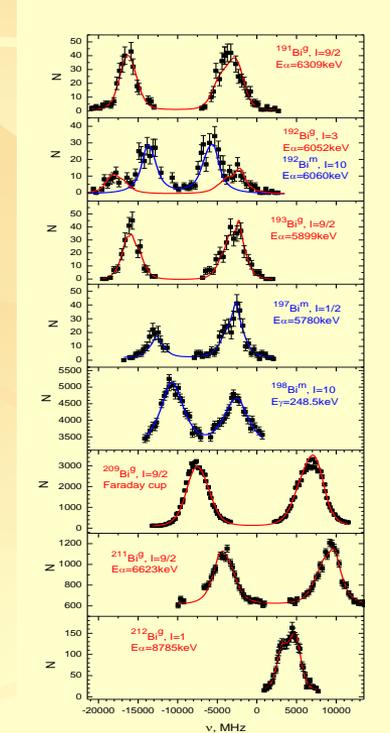
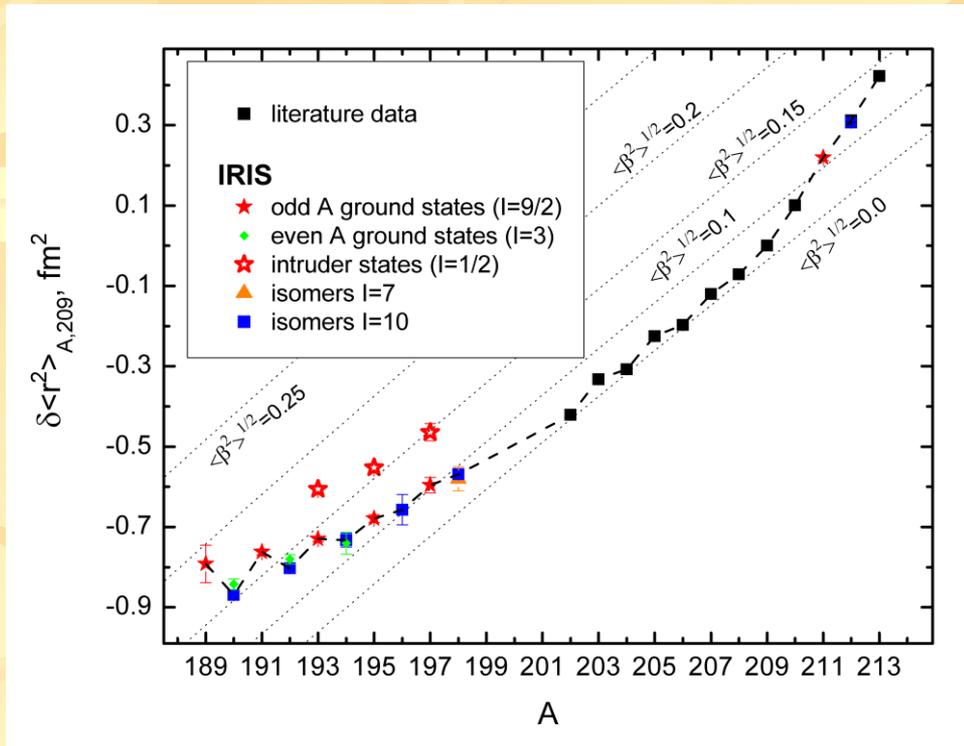
Лаб. В.Н.Пантелеева



## Лазерно-масс спектрометрический комплекс ИРИС

С.к.р. ядер  
Магнитные моменты  
Квадрупольные моменты

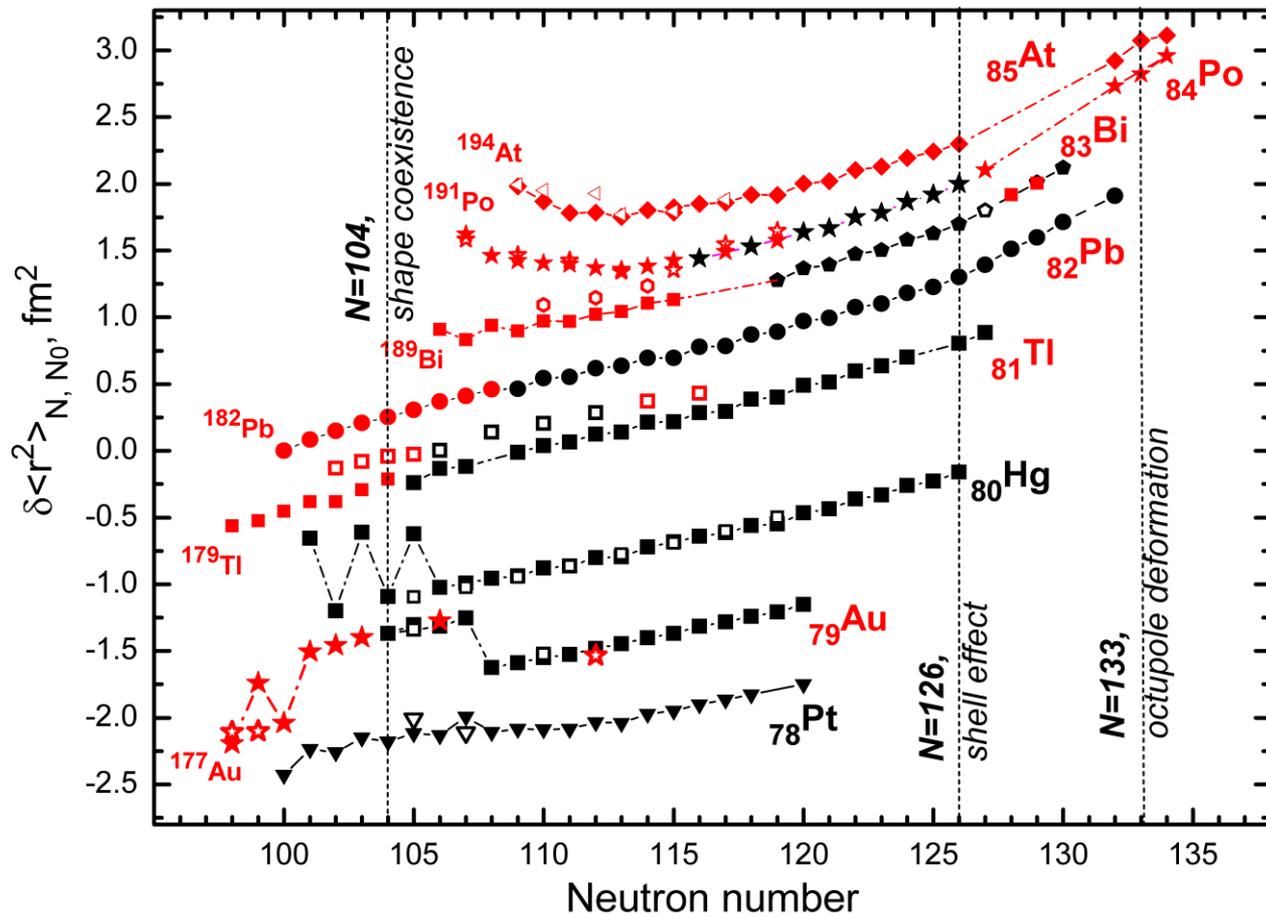
# Получение и исследование изотопов $^{191-212}\text{Bi}$ Эксперимент ИРИС



191  
192g  
192m  
193  
197m  
198m  
209  
211  
212

А. Е. Барзах, Л. Х. Батист, Ю. М. Волков, В. С. Иванов,  
П. Л. Молканов, Ф. В. Мороз, С. Ю. Орлов, В. Н. Пантелеев,  
М. Д. Селиверстов, Д. В. Федоров, А. М. Филатова

# ISOLDE\_IPHC



# Многоканальное запаздывающее деление изотопов $^{194,196}\text{At}$ и $^{202}\text{Fr}$

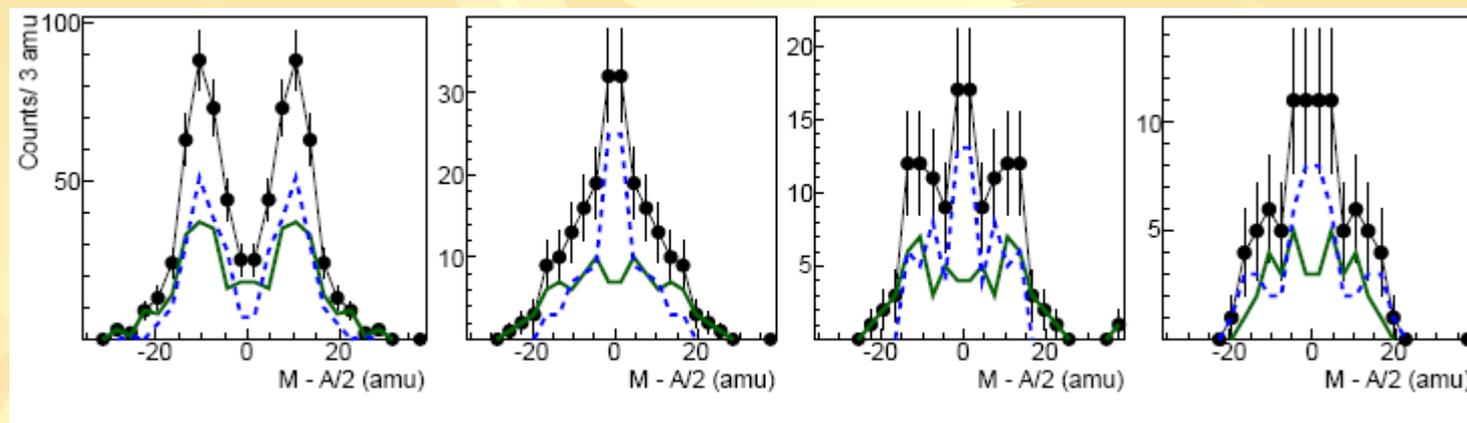
Эксперимент ISOLDE (CERN)

$^{180}\text{Tl}$

$^{194}\text{At}$

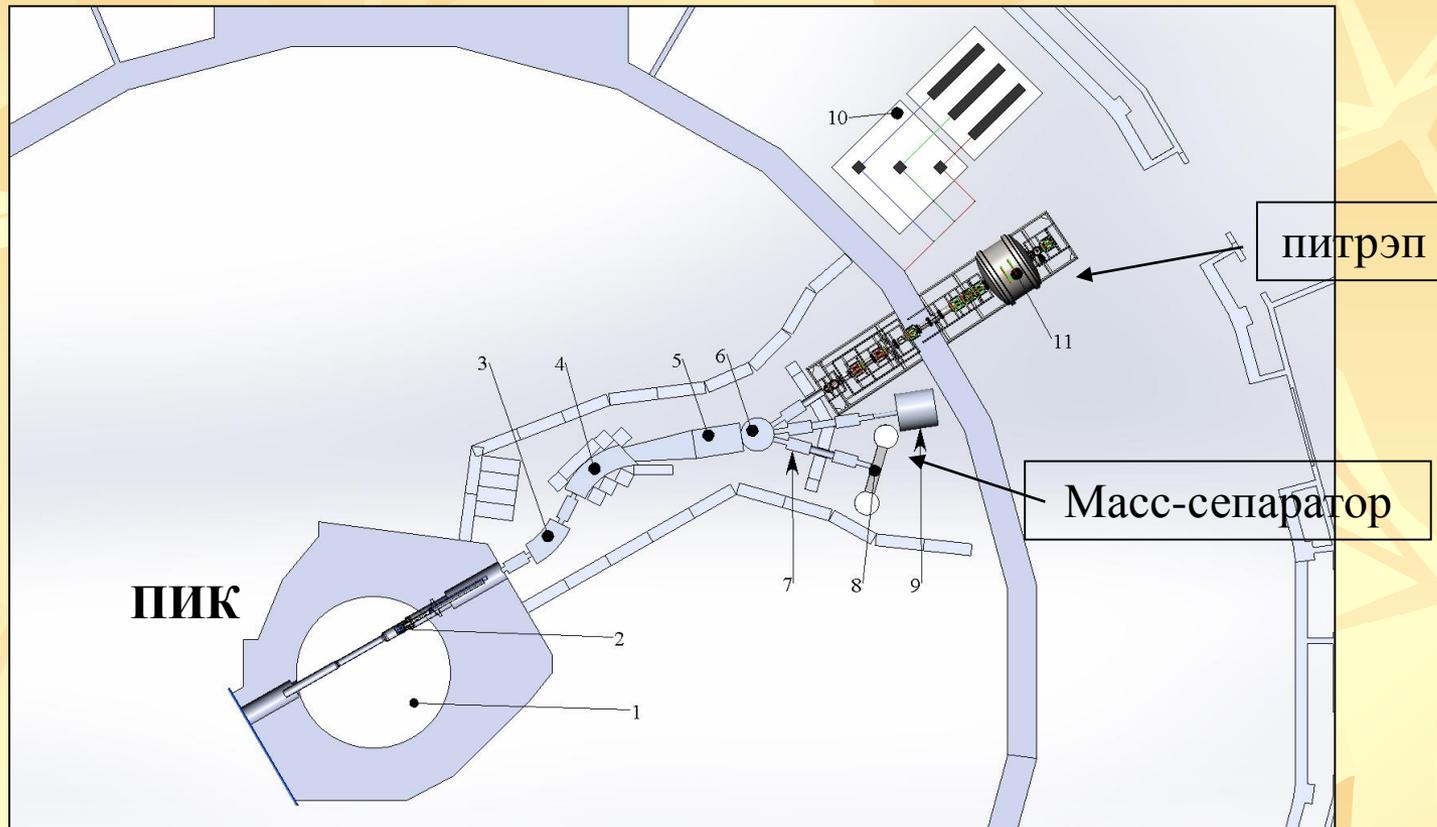
$^{196}\text{At}$

$^{202}\text{Fr}$



L. Ghys, A. Barzakh, D. Fedorov, M. Seliverstov, et al., Phys. Rev. C **90**, 041301(R) (2014).

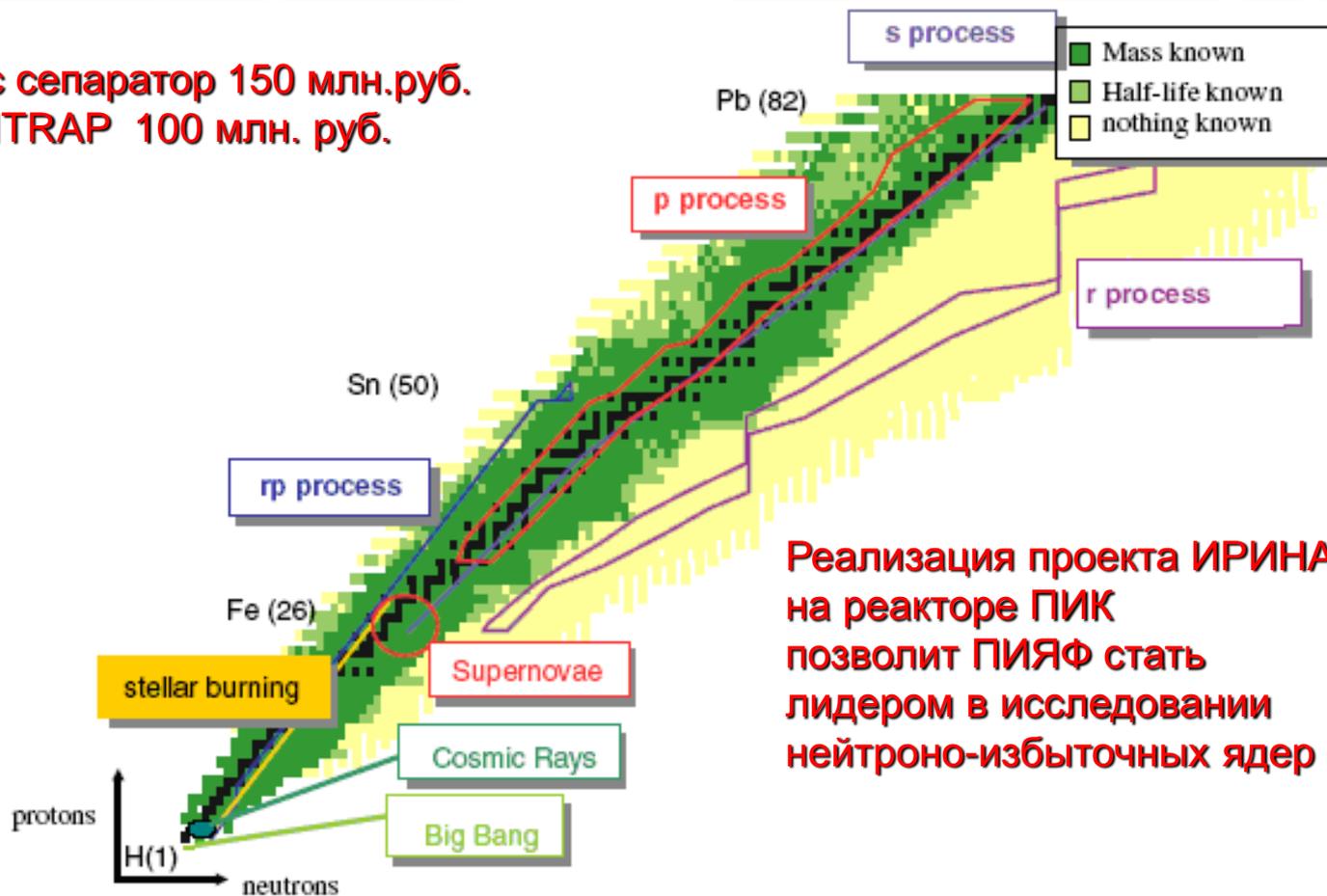
# Проект ИРИНА



# Проект ИРИНА на реакторе ПИК

Лаб. В. Пантелеева

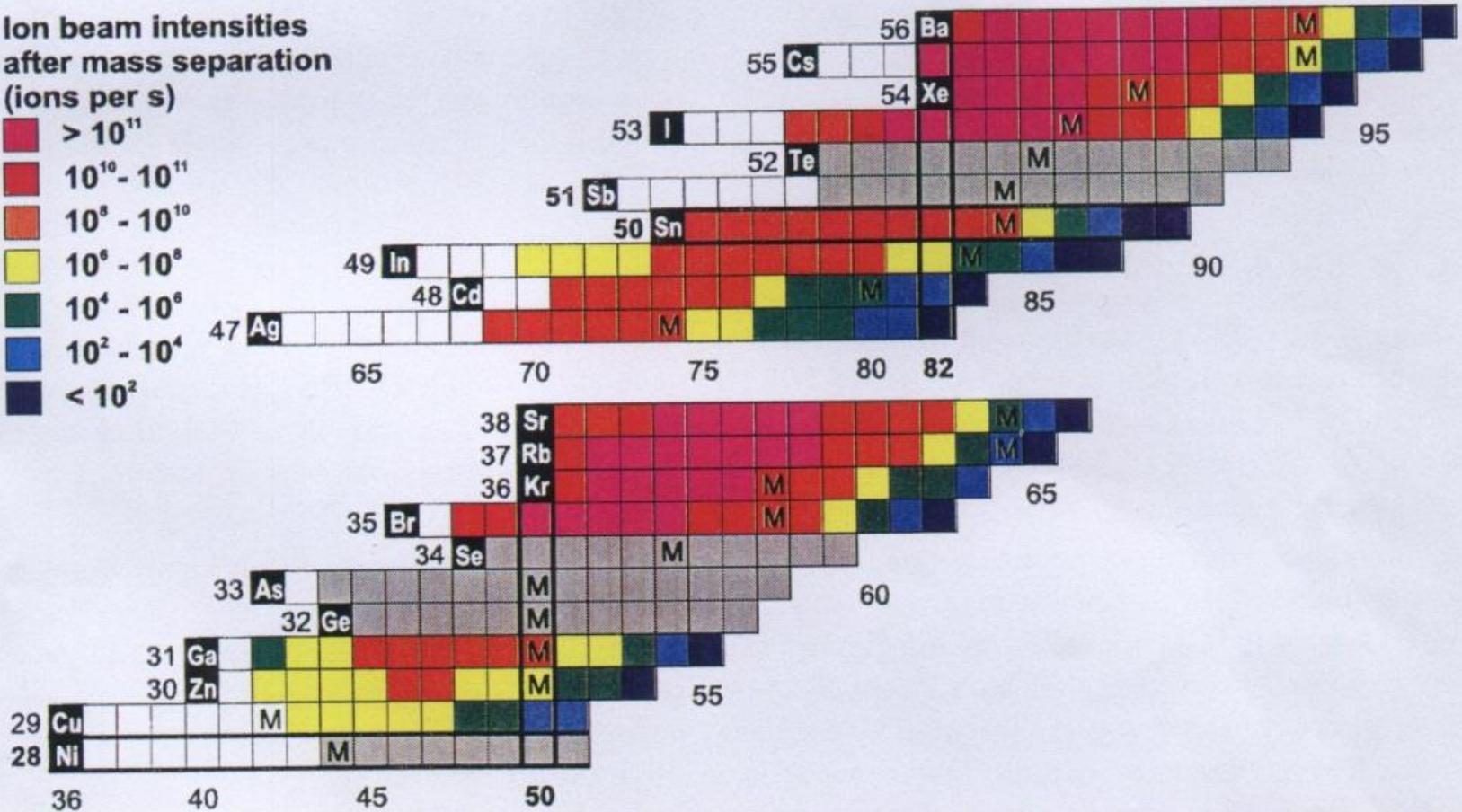
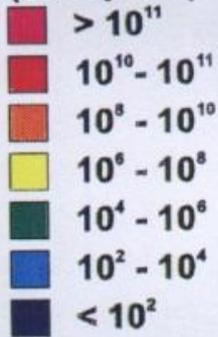
Масс сепаратор 150 млн.руб.  
PNPITRAP 100 млн. руб.



Реализация проекта ИРИНА на реакторе ПИК позволит ПИЯФ стать лидером в исследовании нейтроно-избыточных ядер

# Выходы изотопов на ПИК

Ion beam intensities  
after mass separation  
(ions per s)



# SHIPTRAP

*прецизионное измерение масс короткоживущих ядер*



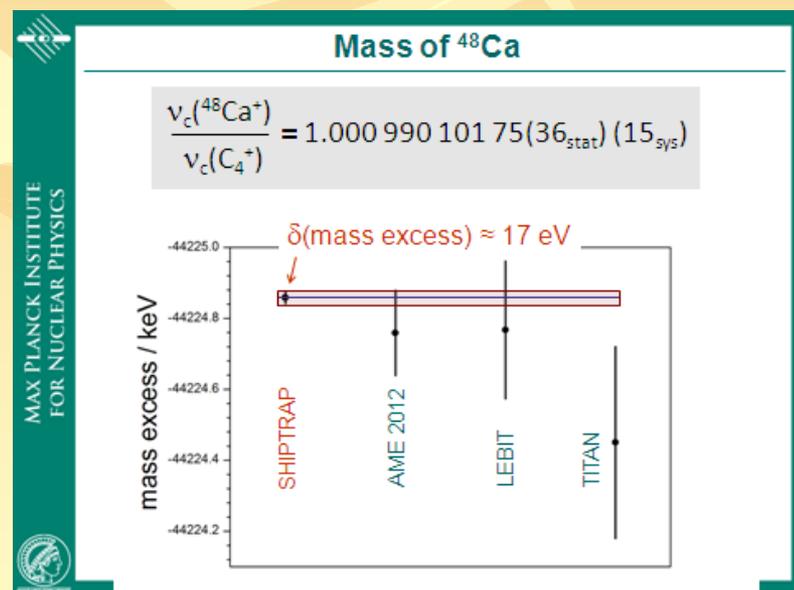
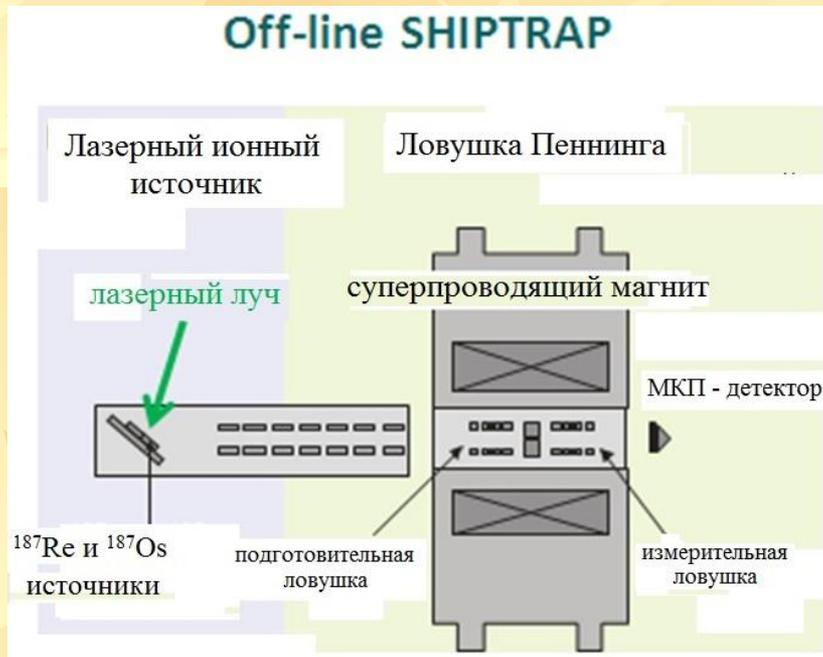
**Относительная точность масс в ловушке SHIPTRAP по годам и физическим задачам**

2006 г.	2008 г.	2011-2012 г.	2014 г.
$2 \times 10^{-8}$	$10^{-8}$	$2 \times 10^{-9}$	$2 \times 10^{-10}$
запуск	массы Сверхтяжёлых	Двойной электронный захват	QED, космохронология, свойства нейтрино

**Новый метод фазовой идентификации резонансной частоты**

# Прогресс в измерении масс в SHIPTRAP

Лаб Ю.Н.Новикова



Масса ядра  $\text{Ca}48$  измерена с точностью  $10^{-9}$

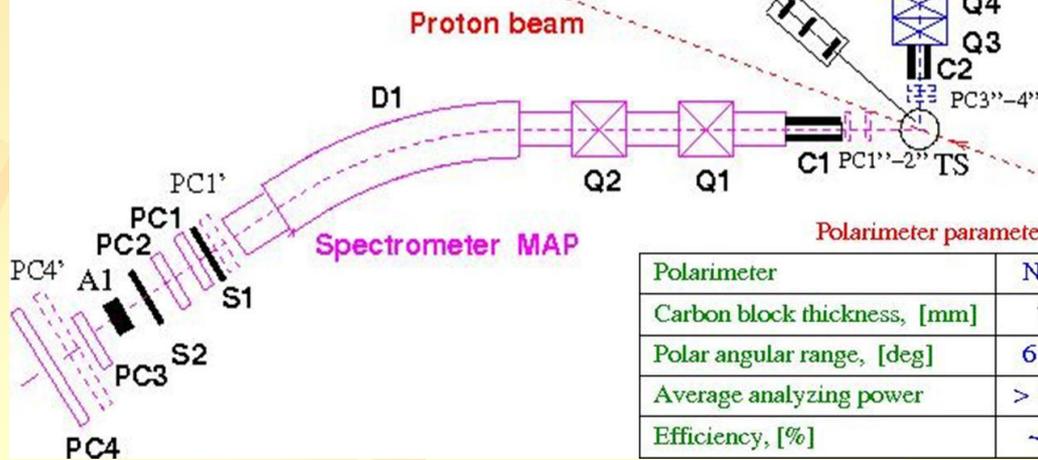
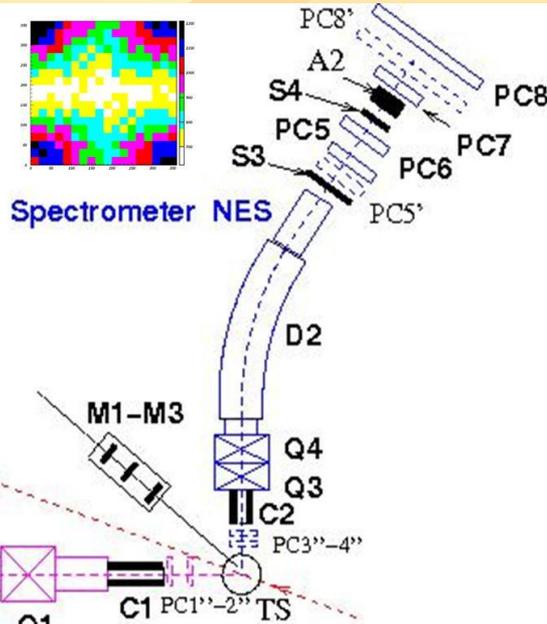
План : построить ПИТРЭП в ПИЯФ на ПИК

# Установка МАП

## О.Миклухо

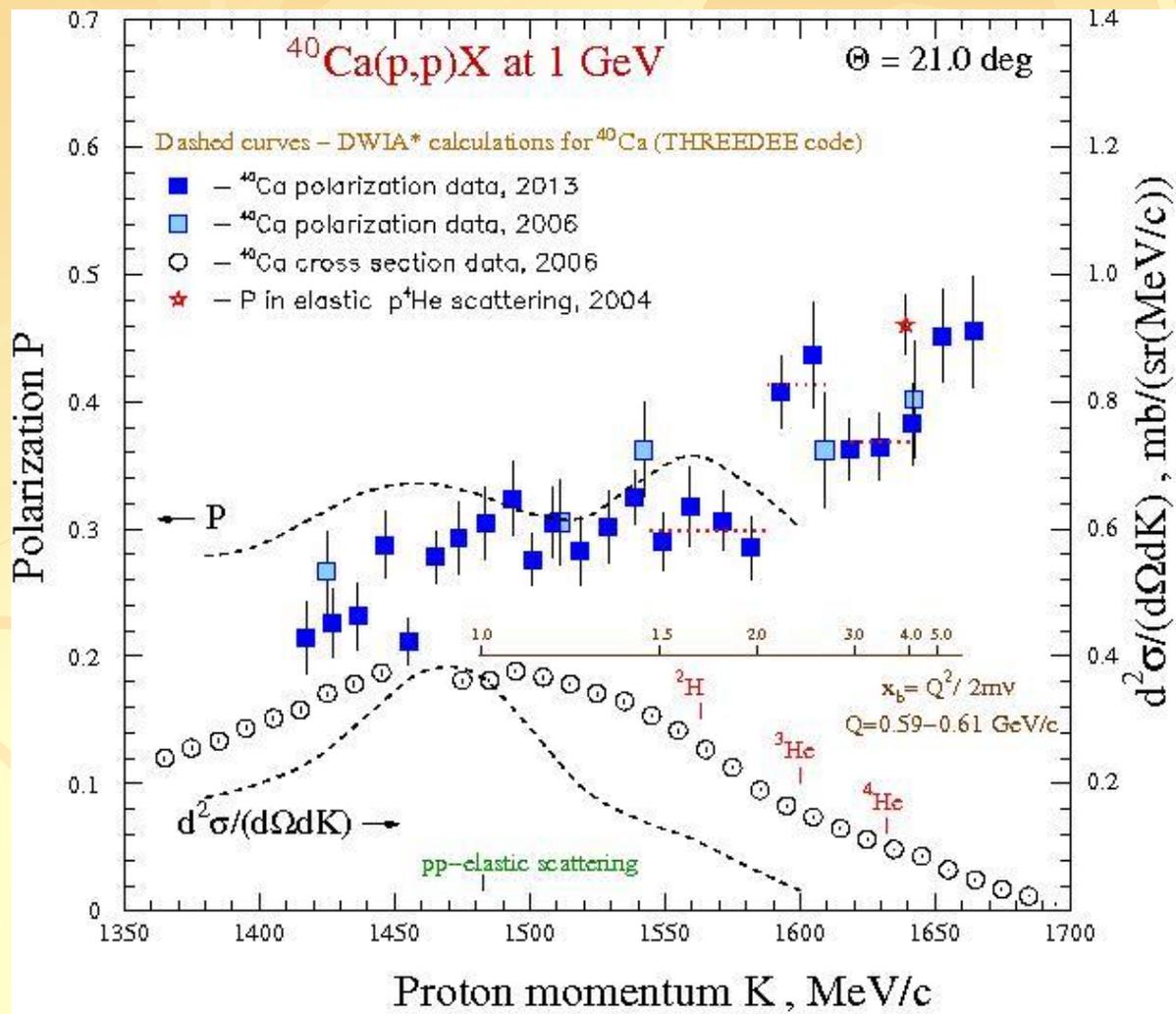
Parameters of the magnetic spectrometers

Spectrometer	NES	MAP
Maximum particle momentum $K$ , [GeV/c]	1.0	1.7
Axial trajectory radius $\rho$ , [m]	3.27	5.5
Deflection angle $\beta$ , [deg]	37.2	24.0
Dispersion in the focal plan $D_f$ , [mm/%]	24	22
Solid angle acceptance $\Omega$ , [sr]	$3.1 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Momentum acceptance $\Delta K/K$ , [%]	8.0	8.0
Energy resolution (FWHM), [MeV]	$\sim 2.0$	$\sim 1.5$

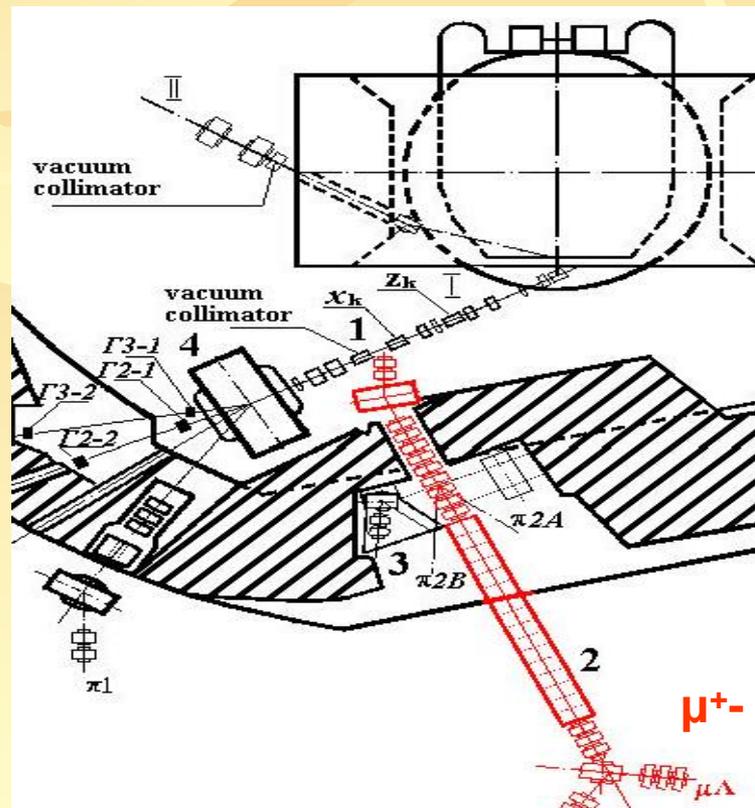


Polarimeter parameters

Polarimeter	NES	MAP
Carbon block thickness, [mm]	79	199
Polar angular range, [deg]	6 – 18	3 – 16
Average analyzing power	$> 0.46$	$> 0.23$
Efficiency, [%]	$\sim 2$	$\sim 5$



# μSR- исследования на СЦ ПИЯФ.



$P_{\mu^+} = 70 \div 130 \text{ МэВ/с}$

Воробьев С.И.    Щербаков Г.В.    Геталов А.Л.  
Комаров Е. Н Котов С. А. Морослип А. Э.



# Продолжался анализ экспериментальных данных

- PHENIX (BNL)
- OLYMPUS (DESY)
- ANKE (Juelich)
- ИТЭФ, Bonn, Mainz (Германия)
- CMS, ATLAS, LHCb, ALICE (ЦЕРН)

The background of the slide features a repeating pattern of stylized, overlapping leaves in various shades of yellow and orange, creating a textured, organic feel.

**ХИГГС    БОЗОН**

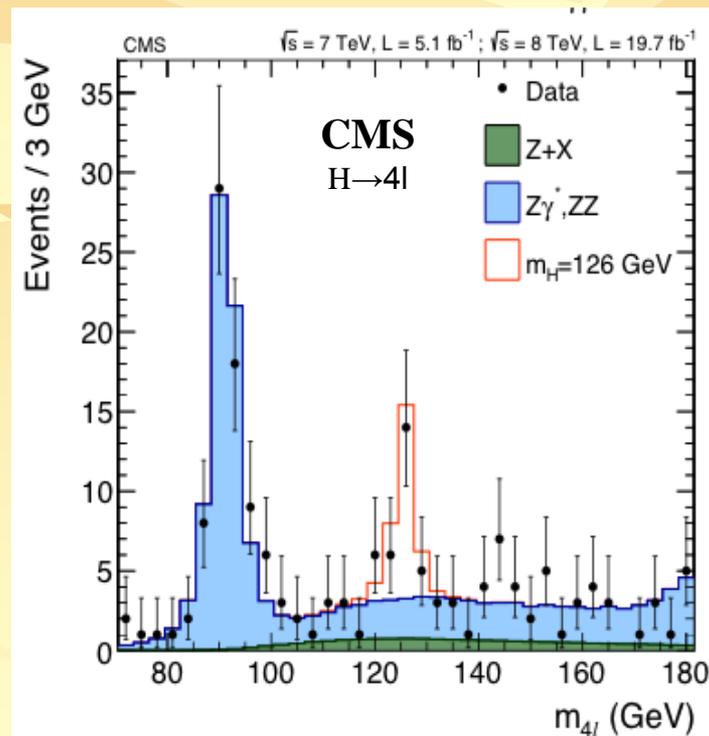
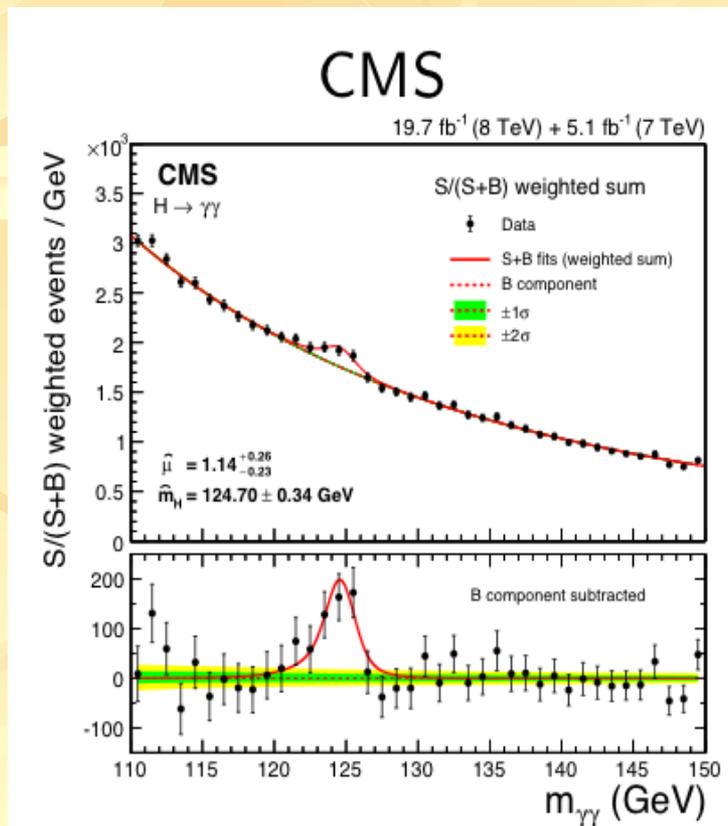
**НОВОСТИ**

**CMS & ATLAS**

# Масса Хиггс бозона

$m_H = 124.70 \pm 0.31(\text{stat}) \pm 0.15(\text{syst}) \text{ GeV}$

$m_H = 125.6 \pm 0.4 \pm 0.2 \text{ GeV}$



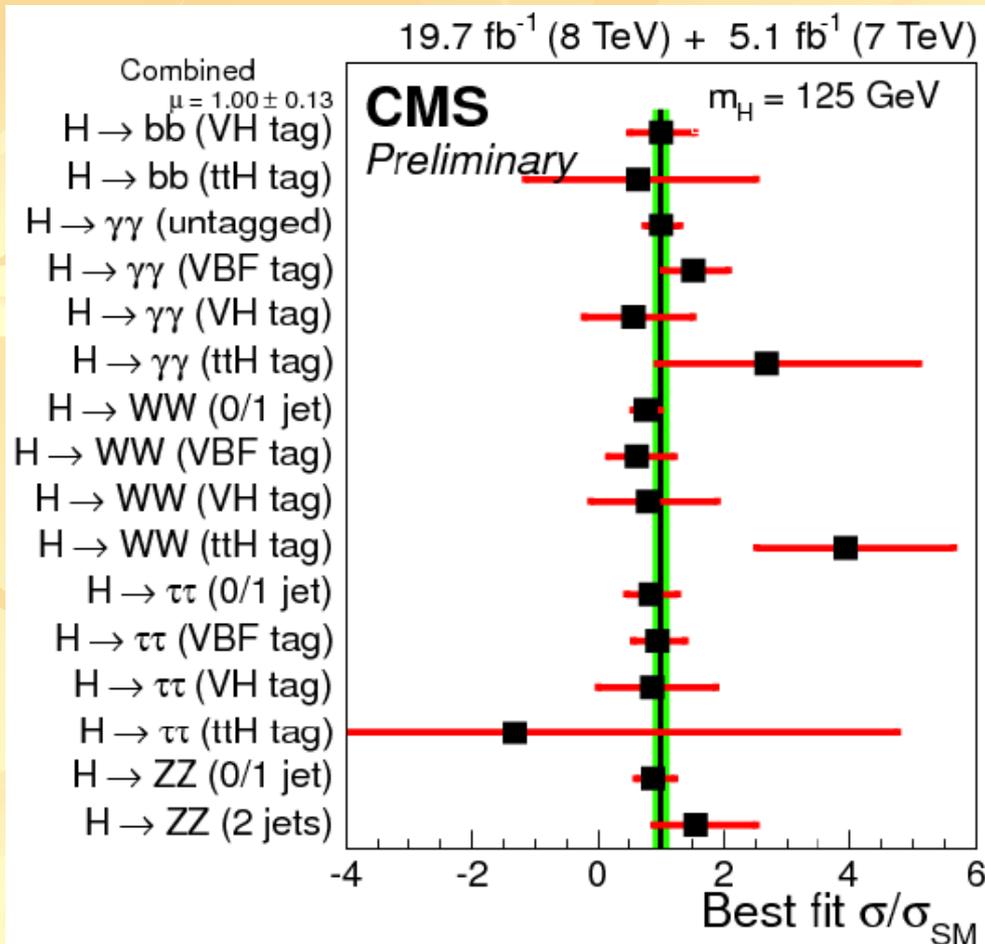
CMS

$m_H = 125.03 \pm 0.26 \pm 0.14 \text{ GeV}$

ATLAS

$m_H = 125.30 \pm 0.37 \pm 0.18 \text{ GeV}$

# Свойства Хиггс бозона



$$\langle \sigma/\sigma_{SM} \rangle = 1.00 \pm 0.13$$

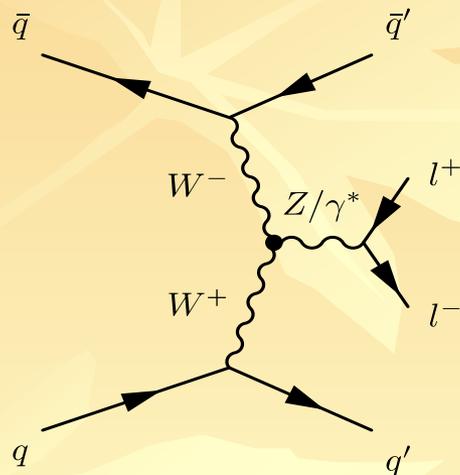
Спин 2 исключен на уровне 99%

Спин 1 исключен на уровне 99.99%

Остается скалярный бозон SM

# Первое наблюдение электрослабого образования Z на ЛHC

CMS



Группа В.Кима

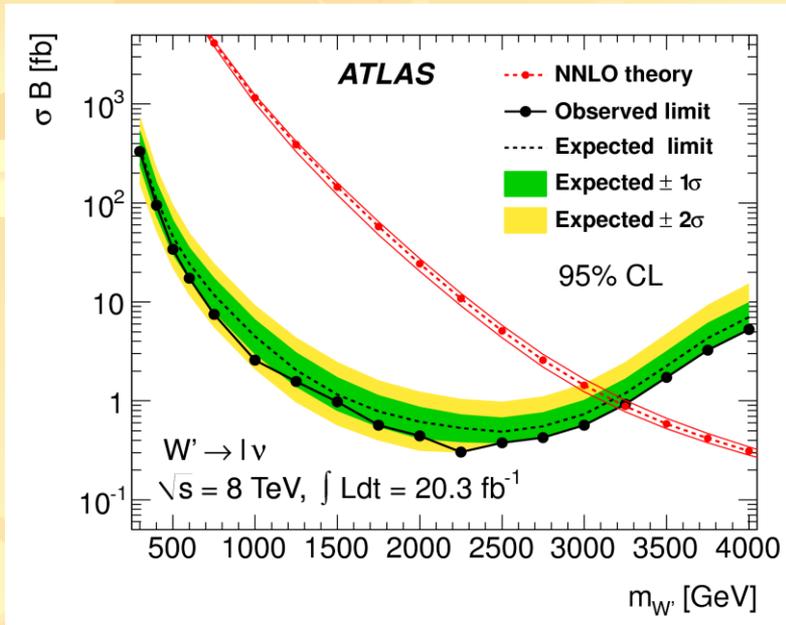
$$\sigma_{\text{meas}, \mu\mu+ee}^{\text{EWK}} = 154 \pm 24(\text{stat}) \pm 46(\text{exp.syst.}) \pm 27(\text{th.syst}) \pm 3(\text{lumi}) \text{ fb}$$

Теория SM:  $\sim 166$  fb (with NLO QCD)

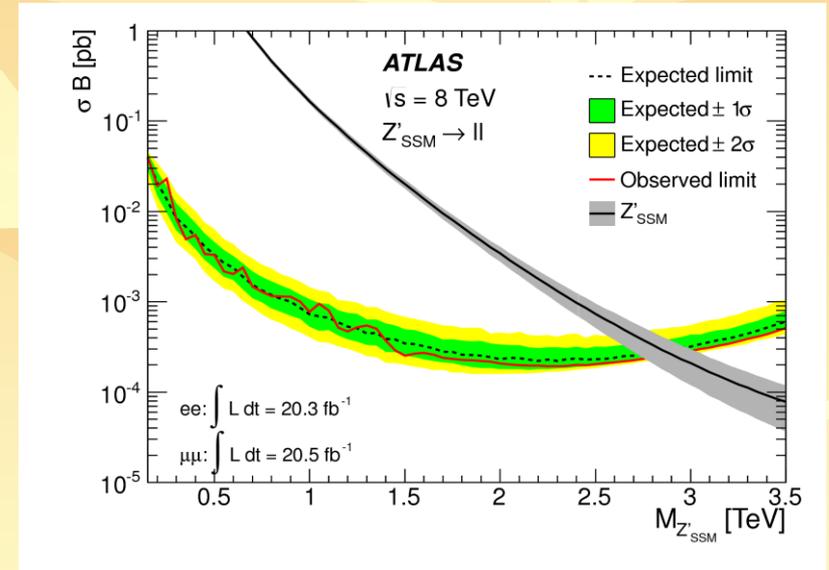
# Поиск тяжелых бозонов $W'$ и $Z'$

## Эксперимент ATLAS

Лаб.О.Федина



$m_{W'} > 3.2 \text{ TeV}$



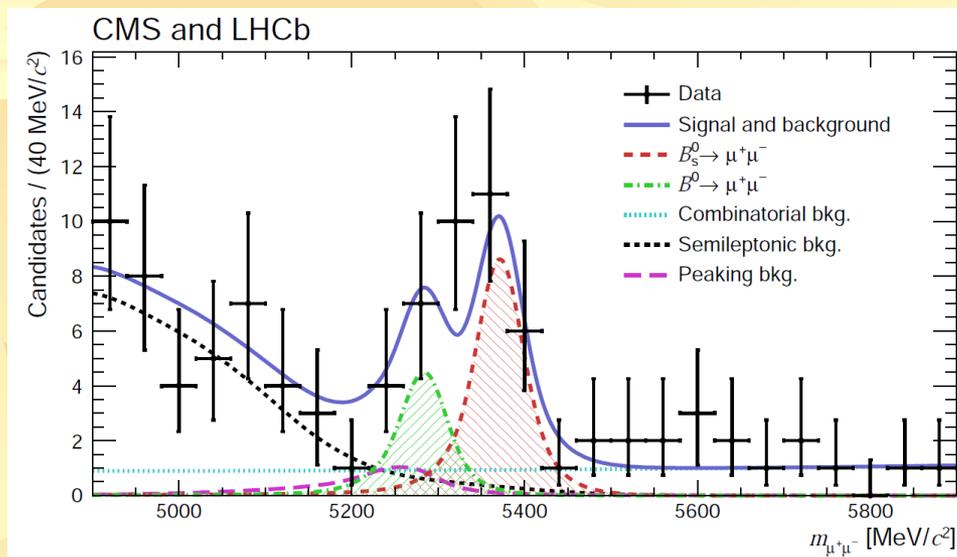
$m_{Z'} > 2.85 \text{ TeV}$

G. Aad, ...[O.Fedin](#), [V.Maleev](#), [V.Solovyev](#),... (Atlas Collaboration), Search for high-mass dilepton resonances in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  with the ATLAS detector, arXiv:1405.4123, Phys. Rev. D 90, 052005 (2014)

G. Aad, ...[O.Fedin](#), [V.Maleev](#), [V.Solovyev](#),... (Atlas Collaboration), Search for new particles in events with one lepto and missing transverse momentum in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  with the ATLAS detector, JHEP 09(2014)037

# Обнаружение распада $B_{s,d} \rightarrow \mu\mu$

Одно из самых сильных ограничений на некоторые Суперсимметричные модели



Стандартная Модель

$$\begin{aligned} \text{Br}(B_s \rightarrow \mu\mu) &= (3.66 \pm 0.23) \times 10^{-9} \\ \text{Br}(B_d \rightarrow \mu\mu) &= (1.06 \pm 0.09) \times 10^{-10} \\ R = \text{Br}(B_s \rightarrow \mu\mu) / \text{Br}(B_d \rightarrow \mu\mu) &= \\ &= 0.0295 \pm 0.0027 \end{aligned}$$

LHCb + CMS

$$\begin{aligned} \text{Br}(B_s \rightarrow \mu\mu) &= (2.8 \pm 0.7) \times 10^{-9} \\ \text{Br}(B_d \rightarrow \mu\mu) &= (3.9 \pm 1.5) \times 10^{-10} \end{aligned}$$

CMS and LHCb Collaborations,

А.Воробьев, А. Дзюба, Н.Сагидова, Ю.Щеглов

*Observation of the rare  $B_{0s} \rightarrow \mu^+\mu^-$  decay from the combined analysis of CMS and LHCb data, arXiv:1411.4413*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛЮОННОЙ ПЛОТНОСТИ В НУКЛОНЕ**

**ПРИ МАЛЫХ  $x$**

**В УЛЬТРАПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ**

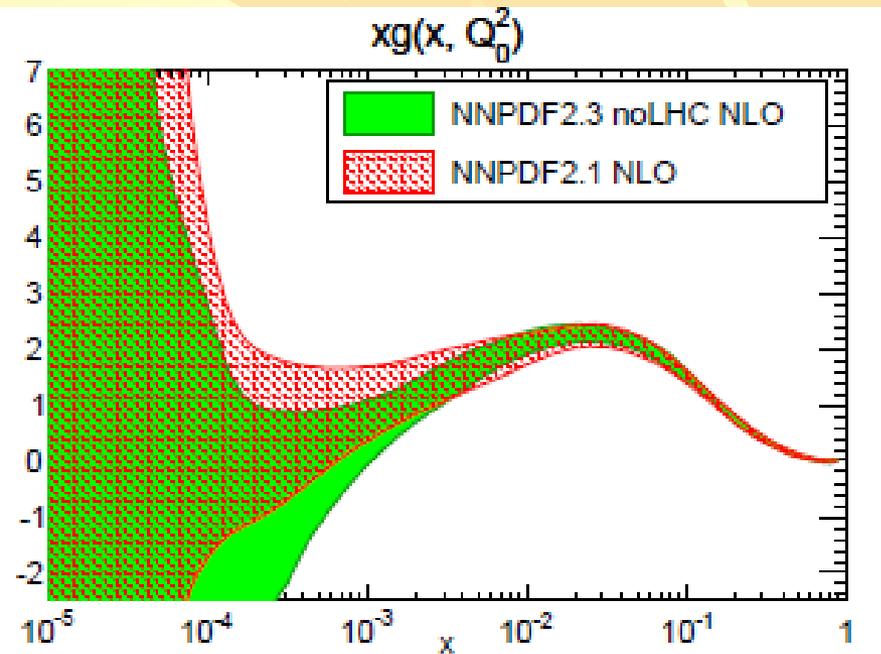
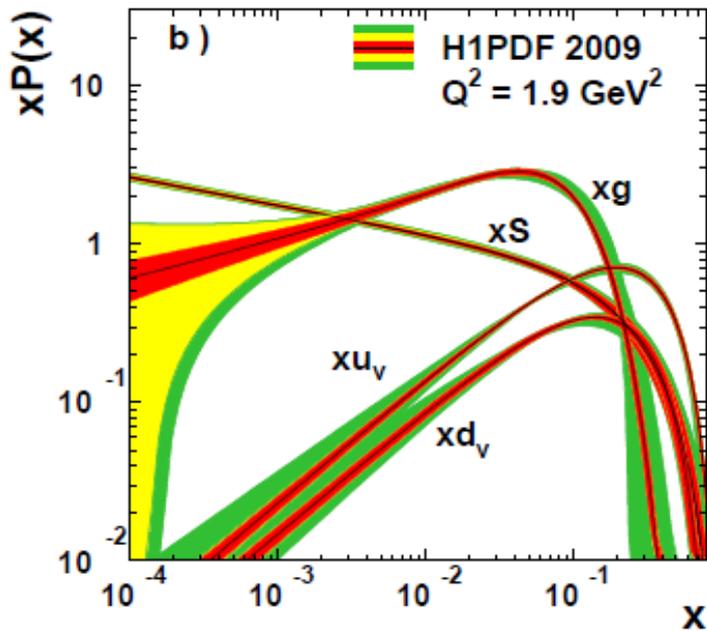
**ALICE & LHCb**

$X$  – доля импульса нуклона, которую переносит партон  
( валентные кварки ( $u, d$ ), морские кварки ( $s, \text{анти}S$ ), глюоны)

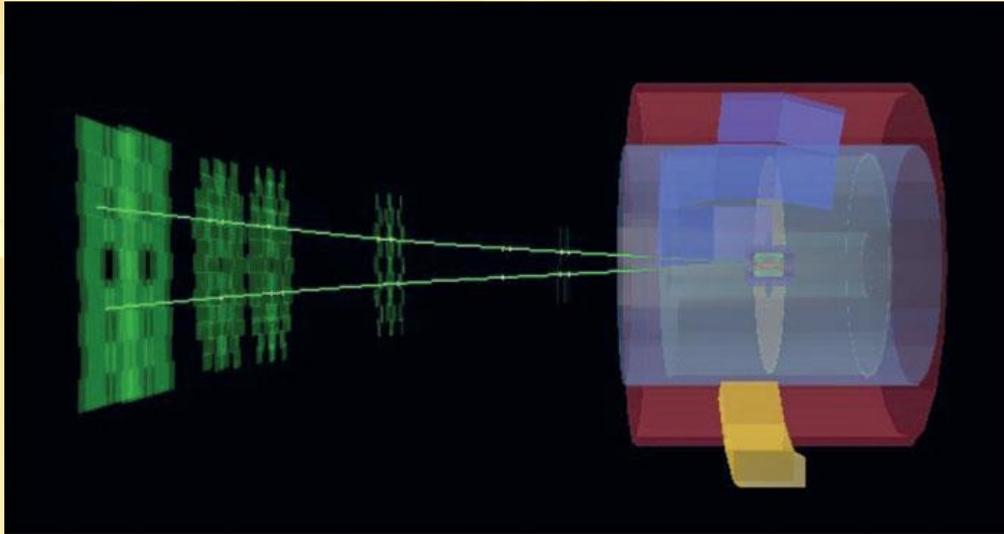
$P(x)$ - вероятность обнаружить партон с  $P_{\text{партон}} / P_{\text{нуклон}} = x$

Измерено до  $x \sim 1 \cdot 10^{-4}$

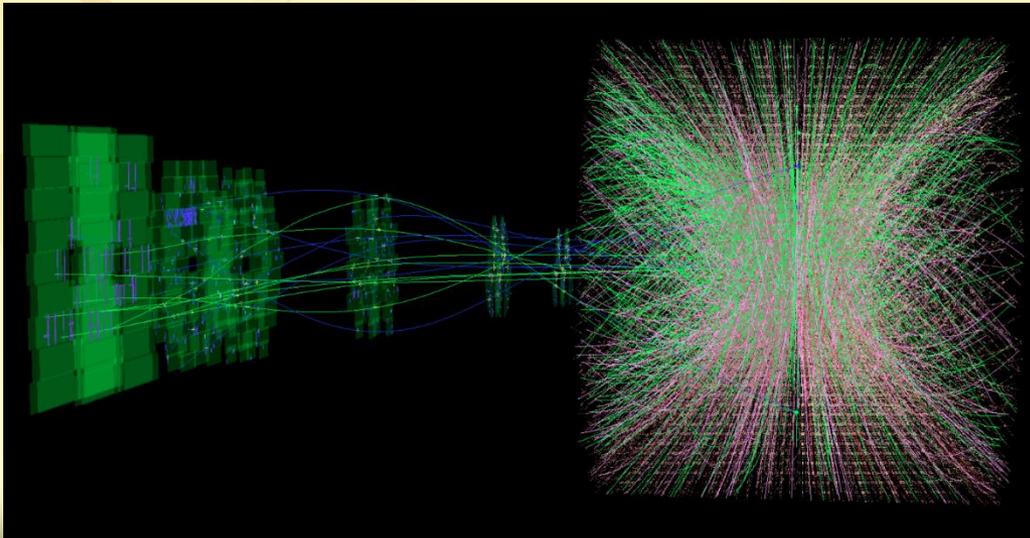
предсказания



# Экспериментальный отбор УПС



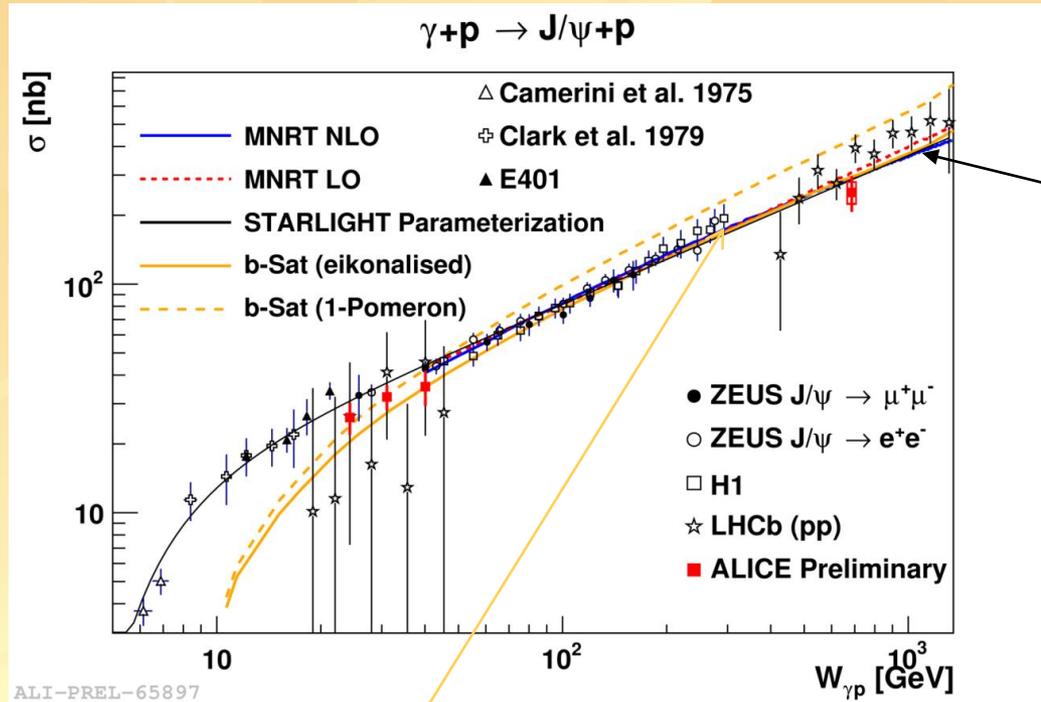
Рождение чармония  
 $J/\psi \rightarrow \mu\mu$   
в УПС на ALICE



Рождение чармония в  
событиях с большой  
множественностью адронов  
на ALICE

# Измеренное сечение фоторождения

Лаб.В.М.Самсонова



Сечение  $\sigma \propto s^{0.4}$

Глюонная плотность

$$xG_p(x, \mu^2 \approx 3 \text{ GeV}^2) \propto x^{-0.2}$$

# Планы ЛНС

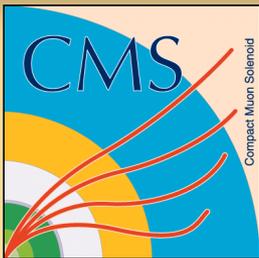
- ЛНС начнет работу в марте 2015 года в режиме ТэВ + 6.5 ТэВ. 6.5
- Конференция **ЛНСР-2015** в С.Петербурге 31 авг.- 5 сент. 2015 г.
- В 2018 году остановка для перехода в режим сверхвысокой светимости.
- Модернизация всех коллайдерных детекторов 2014 -2018 гг. В

# Программа модернизации коллайдерных детекторов

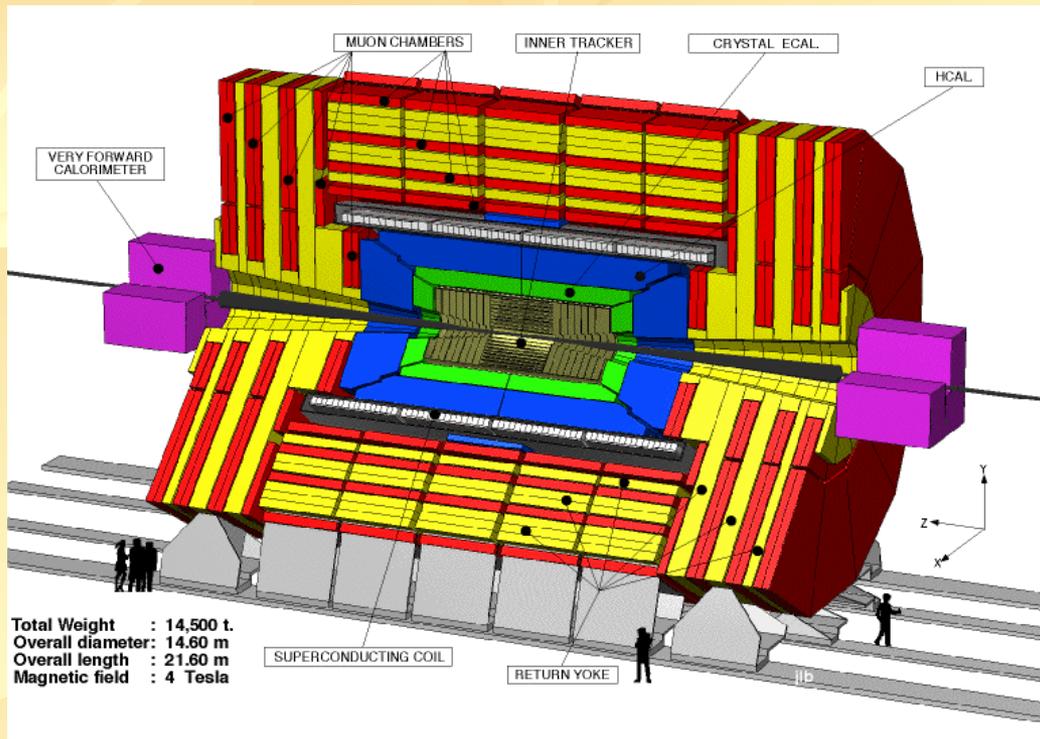
## Контракты 2014-2016

- Минобрнауки РФ ATLAS\_UPGRADE 16.5  
млн.руб.( 2014)
- Минобрнауки РФ ALICE\_UPGRADE 6.5  
млн.руб. (2014)
- Минобрнауки РФ LHCb\_UPGRADE 9.48  
млн.руб.(2014)
- Минобрнауки РФ CMS\_UPGRADE 19.0  
млн.руб. (2014)

Всего ~ 150 млн.руб на три года



# Upgrade мюонной системы CMS



Upgrade phase 1

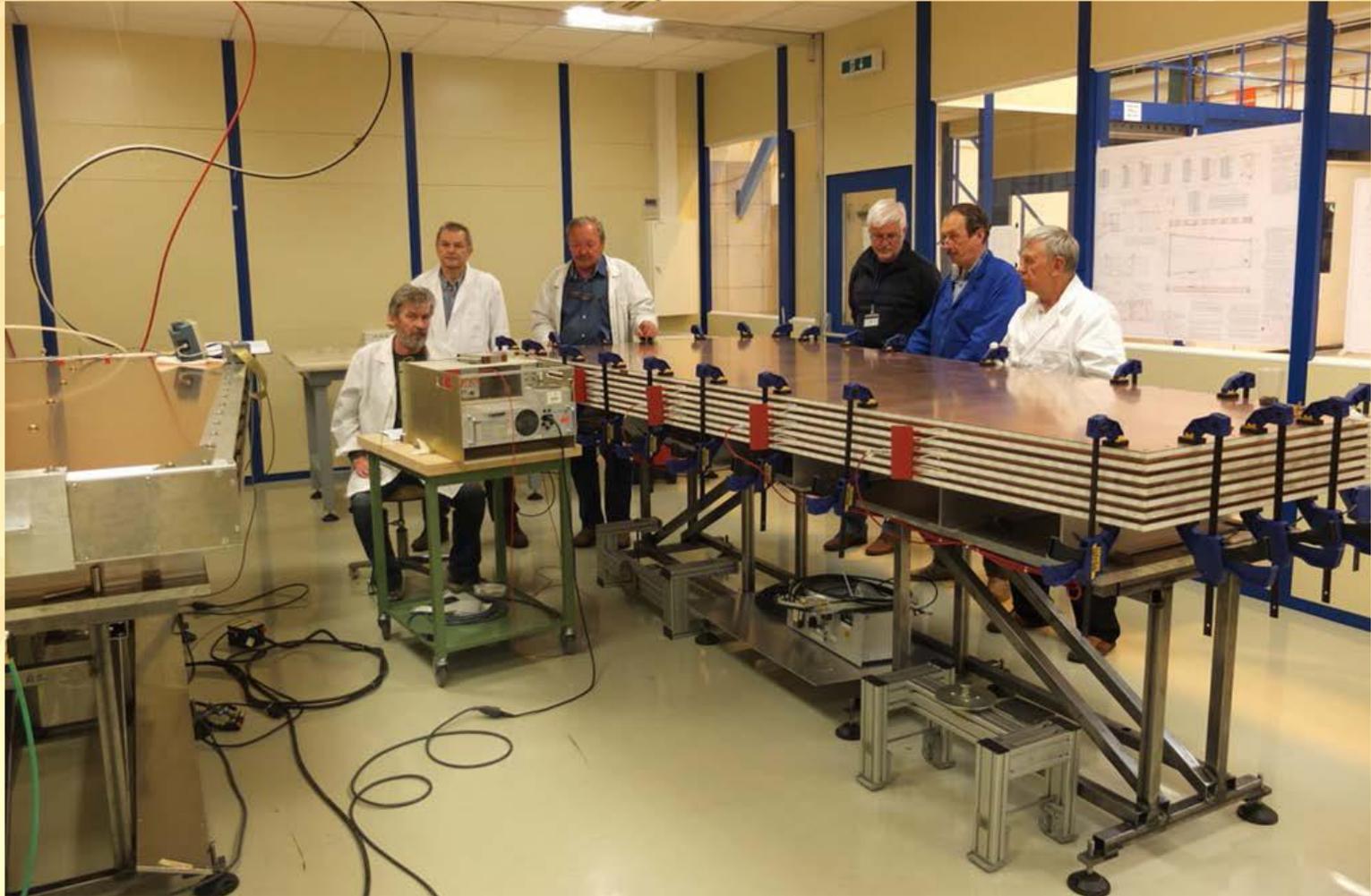
В течение 2012-2014 ПИЯФ совместно с US\_CMS изготовил

**76 Мюонных камер ME4/2**

**и**

**2500 –канальную систему высоковольтного питания**

# Команда ПИЯФ выполняет основную работу по сборке и тестированию мюонных камер в ЦЕРН



Подготовка экспериментов в GSI  
по программе FAIR

~ 12 М Euro

Первый контракт на 530 тыс. евро.

HV –система ОРЭ

# ИТОГИ

Это был напряженный год

Тем не менее

Получен ряд важных физических результатов и  
заложена прочная основа  
для дальнейшей успешной деятельности Отделения  
Физики Высоких Энергий

**Спасибо за внимание**

