

ОФВЭ

статус и планы

А.Воробьев

1 февраля 2012 года



Основные задачи ОФВЭ

Экспериментальные исследования

- на синхроциклотроне ПИЯФ,
- на ускорителях **ведущих** ускорительных центров мира,
- на реакторе ПИК

- *Ядерная физика*
- *Физика элементарных частиц*
- *Прикладные исследования (включая ядерную медицину)*

Численный состав ОФВЭ

2010 год **262** (+ 8 аспирантов)

2011 год **256** (+ 8 аспирантов)

2011 г

150 научных сотрудников, из них

15 докторов наук

73 кандидата наук

8 аспирантов

48 ведущих инженеров

66 инженеров, техников,
рабочих и лаборантов

Структура ОФВЭ в 2012

Лаб. физики элементарных частиц	<i>Г.Д.Алхазов</i>
Лаб. релятивистской ядерной физики	<i>В.М.Самсонов</i>
Лаб. короткоживущих ядер	<i>В.Н.Пантелеев</i>
Лаб. мезонной физики	<i>В.В.Сумачев</i>
Лаб. малонуклонных систем	<i>С.Л.Белостоцкий</i>
Лаб. мезонной физики конденс. сред	<i>С.И.Воробьев</i>
Лаб. мезоатомов	<i>Ю.М.Иванов</i>
Лаб. адронной физики	<i>О.Е.Федин</i>
Лаб. крио. и сверхпров.техники	<i>А.А.Васильев</i>
Лаб. экзотических ядер	<i>Д.М.Селиверстов</i>
Лаб. радиоэлектроники	<i>В.Л.Головцов</i>
Отдел трековых детекторов	<i>А.Г.Крившич</i>
Отдел вычислительных систем	<i>А.Е.Шевель</i>
Отдел мюонных камер	<i>В.С.Козлов</i>
Опытное производство ОФВЭ	<i>В.И.Ясюкевич</i>

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 2002 – 2006 340 стр
- MAIN SCIENTIFIC ACTIVITIES 2007 – 2011 (готовится)

Выставлены на сайте:

http://hepd.pnpi.spb.ru/hepd/publics/bibl_hepd_ru.html

Публикации, семинары

	Публикации		
	2010	2011	
инострантные журналы 80(LHC)	138	211	из них
русские журналы	22	20	
Всего	160	231	

	2010	2011
Семинары ОФВЭ	38	37
Совместно с Теор.отделом	5	5
Видео конференции RDMS_CMS (CERN,ПИАФ.Дубна, ИЯИ.ИФВЭ,Сибирь.Урал...	6	7

Научная сессия ОФВЭ 26-29 декабря 2011

35 докладов

<http://hepd.pnpi.spb.ru>

Синхроциклотрон ПИЯФ

Внесен в список уникальных установок РФ

2900 часов в 2011 году



$E_p = 1000 \text{ МэВ}$

$I_p = 1 \text{ мкА}$

$\delta E_p = 1 \text{ МэВ}$

Duty factor 50 \rightarrow 90%

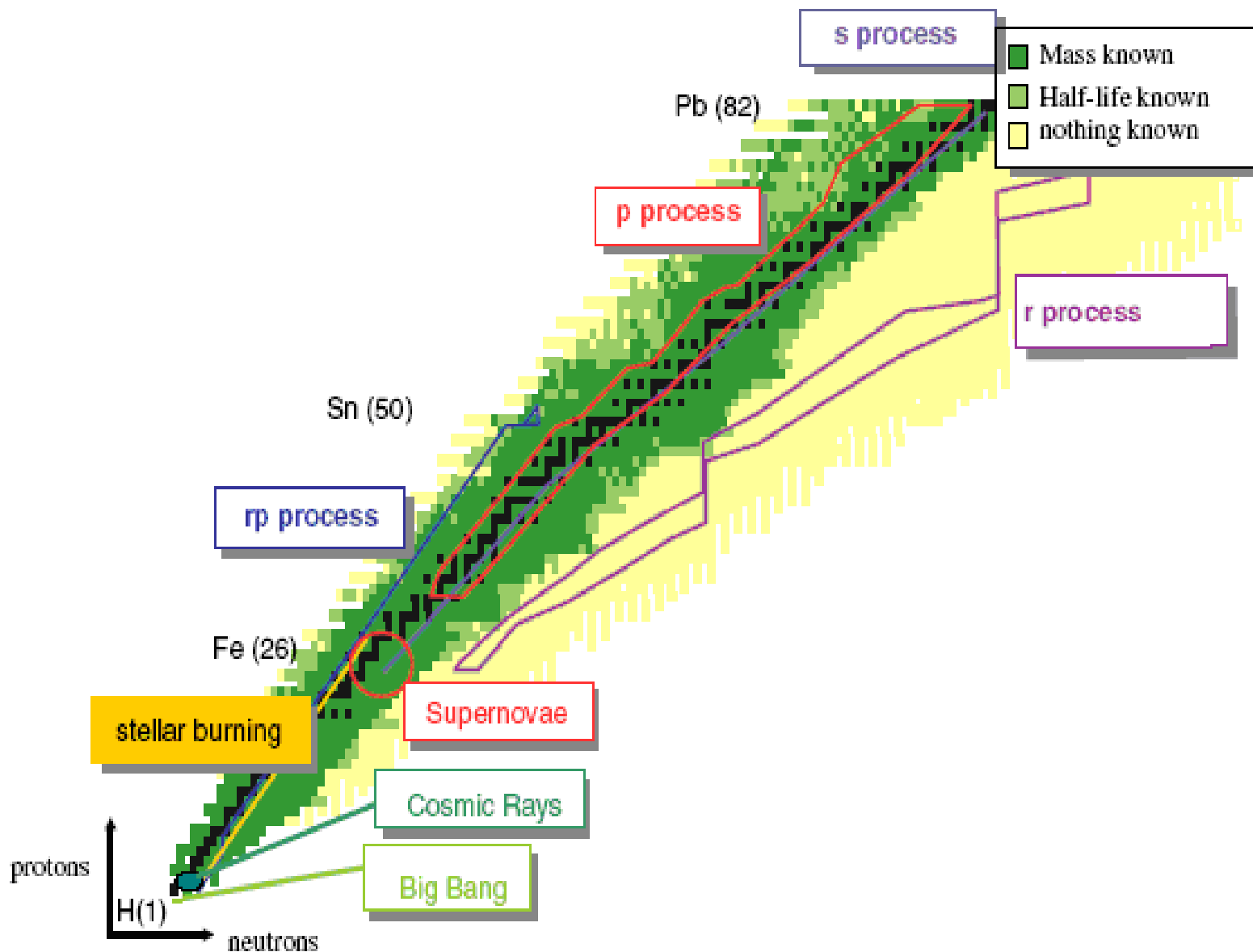
π - мезонный канал
 μ - мезонный канал
нейтронный канал

Медицинский тракт
протоны 1000 МэВ

Ядерная физика, μ SR –исследования , протонная терапия.

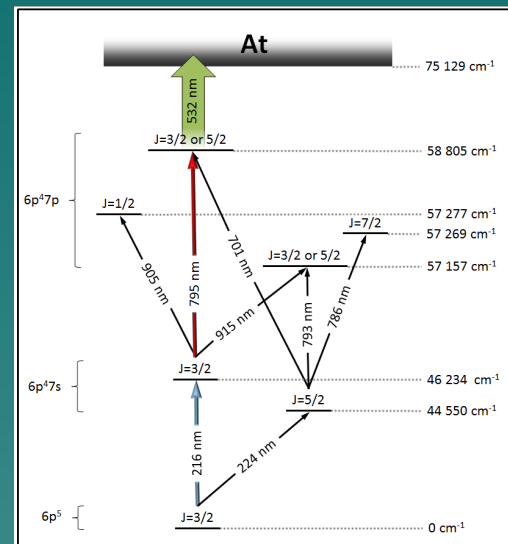
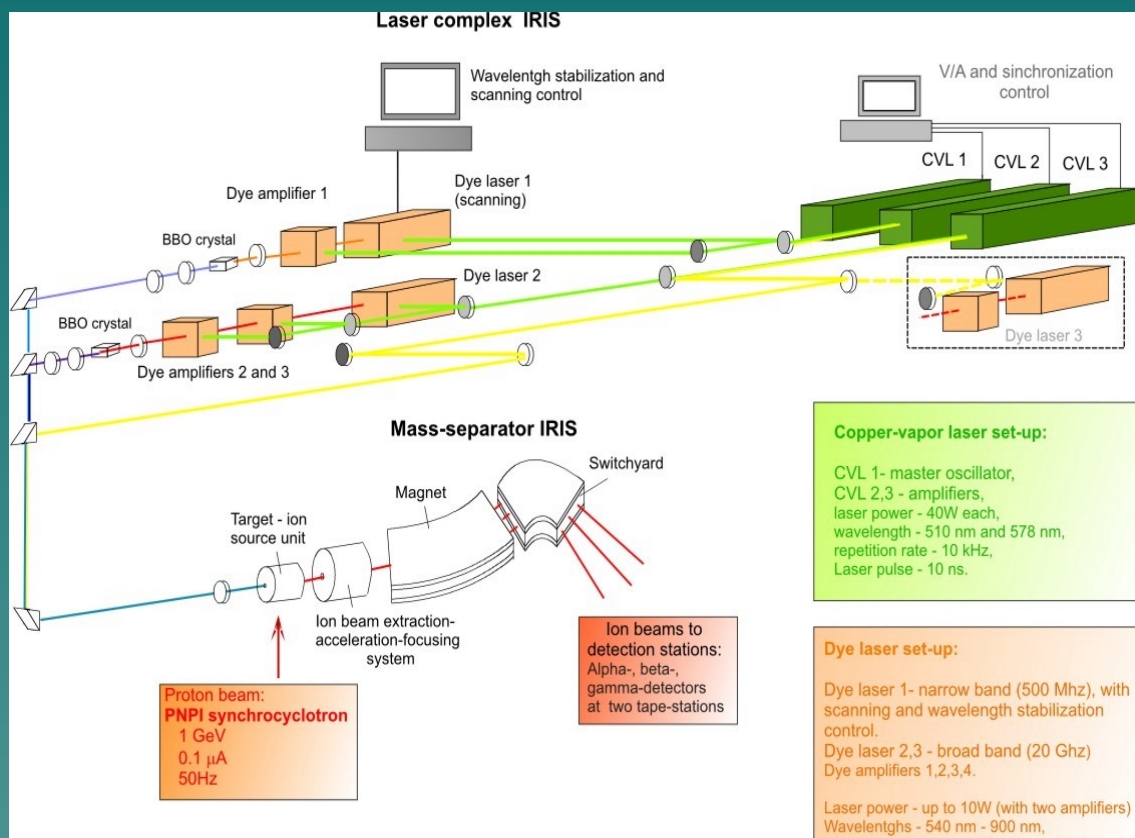
Радиационные испытания, тесты физической аппаратуры

Исследование ядер, удаленных от полосы стабильности



Универсальная Лазерно-Ионизационная Спектроскопическая Система (УЛИСС) на установке ИРИС в ПИЯФ

Лаб. В.Пантелеева



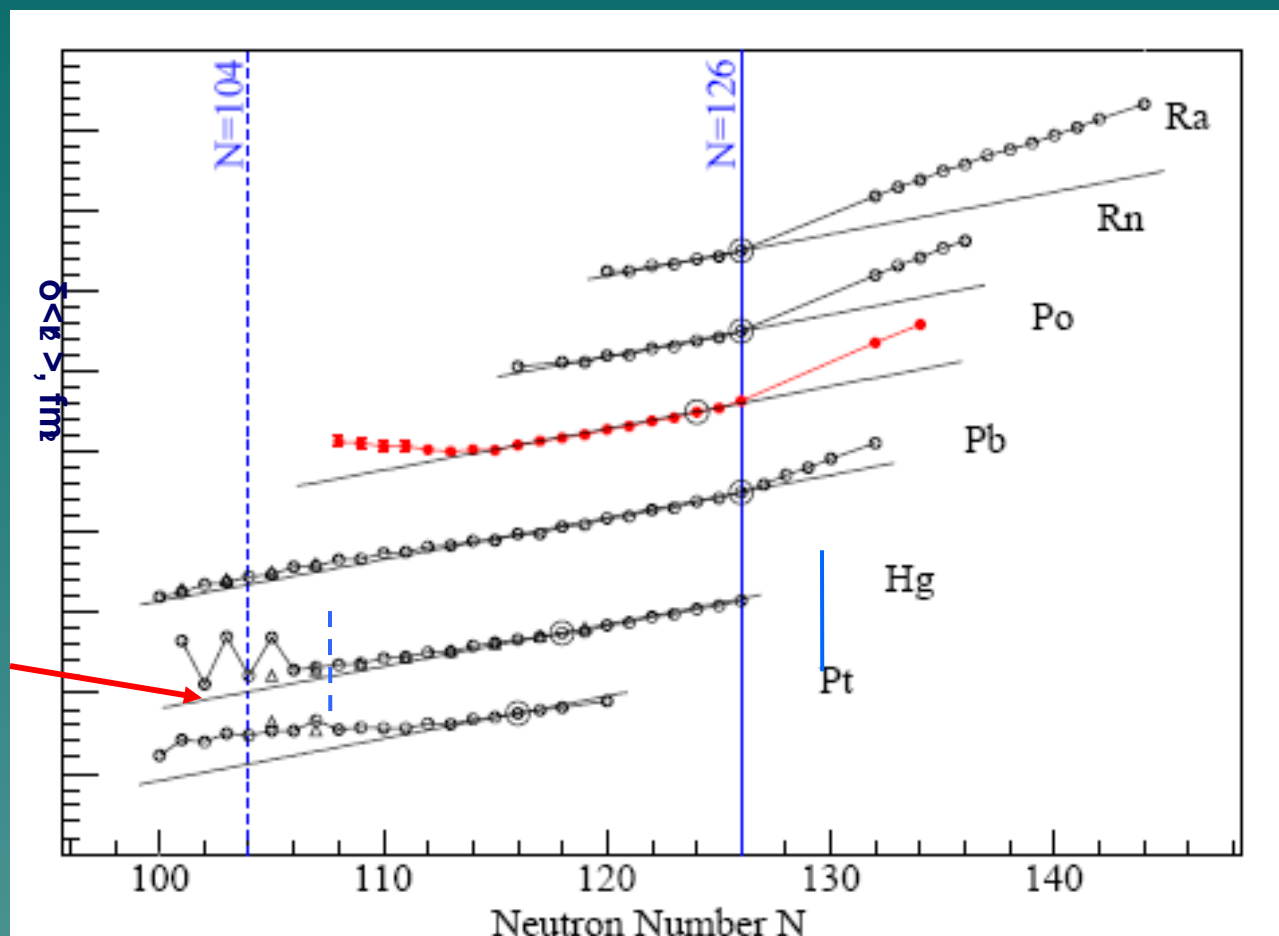
Isotope shift $\delta \nu_{A,A'}$:

$$\delta \nu_{A,A'} = F \times \delta \langle r^2 \rangle_{A,A'} + M \times \frac{A - A'}{A \times A'}$$

Метод впервые разработан в ПИЯФ с Институтом спектроскопии (Москва)
В 2011 осуществлена модернизация УЛИСС

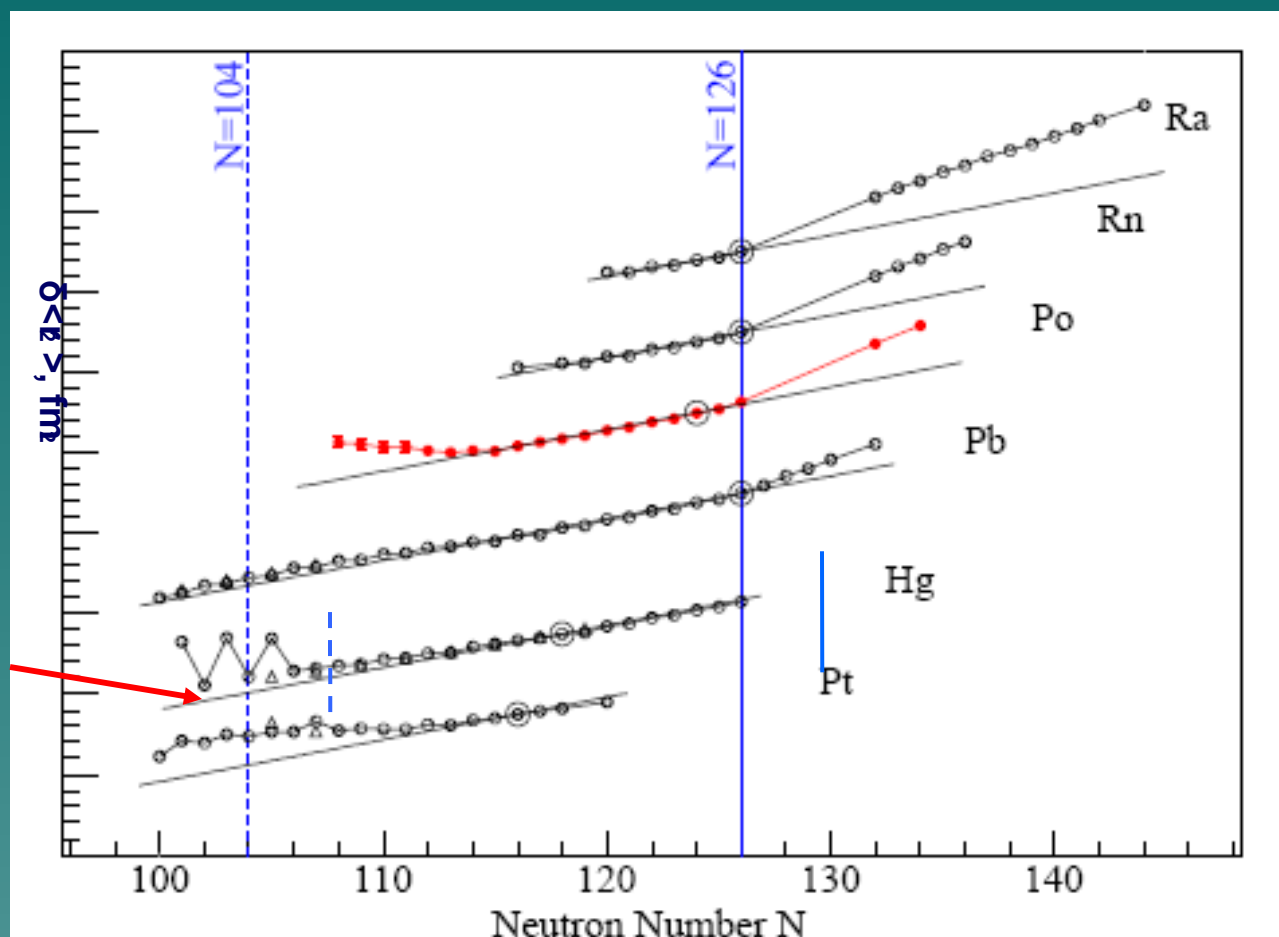
Аналогичная установка создана на ISOLDE в ЦЕРН с участием наших специалистов

Измерения с.к.р. ядер



^{180}Hg

Измерения с.к.р. ядер



^{180}Hg

В настоящее время в ПИЯФ и в ЦЕРН исследуется цепочка изотопов таллия

A new type of asymmetric fission

in proton-rich nuclei in the mass 180 region

A.N. Andreev,... A. Barzakh,... D. Fedorov,..., M. Seliverstov,...

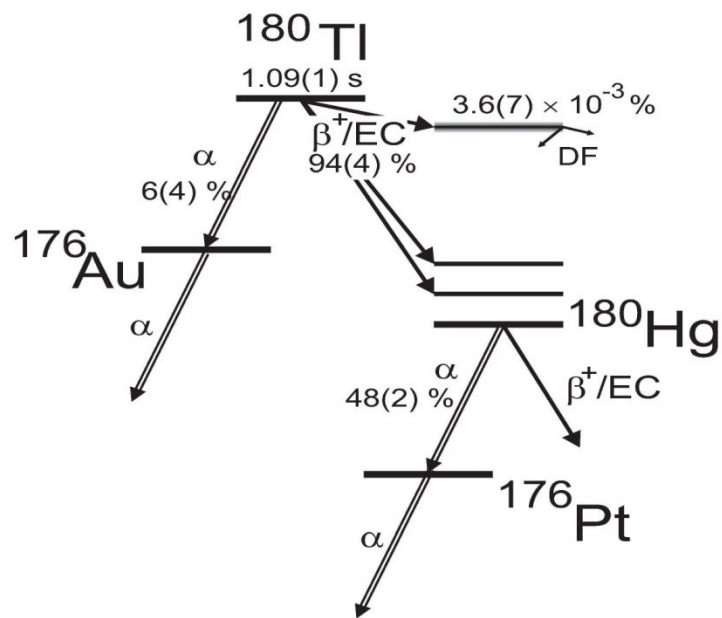


FIG. 3: A simplified decay scheme of ^{180}Tl with deduced half-life and branching ratios for its various decay modes. The $94(4)\%$ β^+/EC decay branch of ^{180}Tl is shown schematically by arrows feeding excited states in ^{180}Hg ; those states in the vicinity of the fission barrier can undergo βDF .

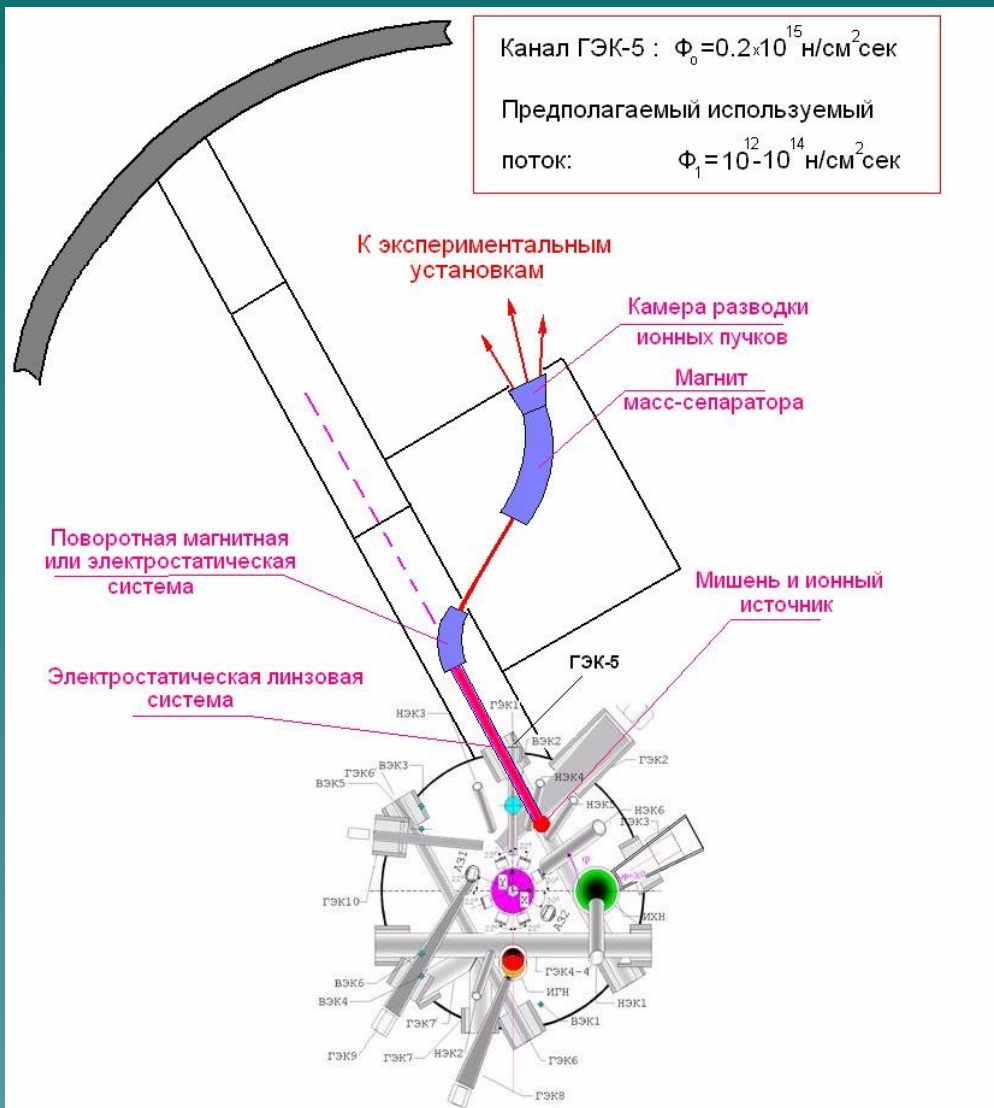
В 2010 г. в экспериментах по исследованию изотопов в области $A=180$

с использованием лазерного ионного источника обнаружено асимметричное деление

^{180}Tl ($T_{1/2} = 1.09(1)$ сек)

Вместо ожидаемого симметричного деления на два полумагических ядра ^{90}Zr деление происходит на два фрагмента $A=100$ и $A=80$, предположительно это ^{100}Ru и ^{80}Kr

Универсальная Лазерно-Ионизационная Спектроскопическая Система (ИРИНА) на реакторе ПИК



	ИРИНА	ISOLDE
⁷⁸Zn	5×10^{10}	8×10^7
¹³²Sn	10^8	10^6
¹⁴⁸Cs	10^8	2.5×10^5



■ Mass known
■ Half-life known
■ nothing known

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

Стоимость проекта
150 млн.руб.



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

SHIPTRAP

прецизионное измерение масс короткоживущих ядер



Установка SHIPTRAP в GSI

создана при активном участии группы Ю.Н.Новикова

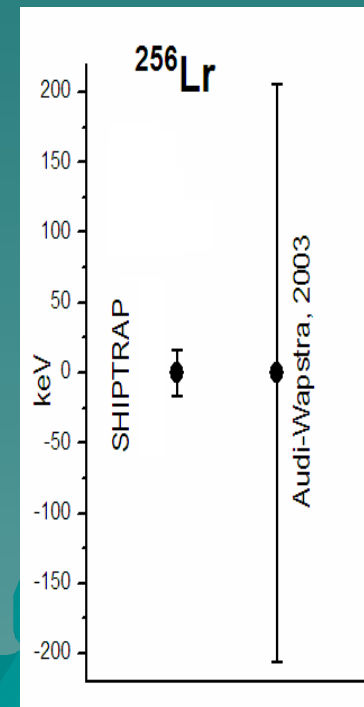
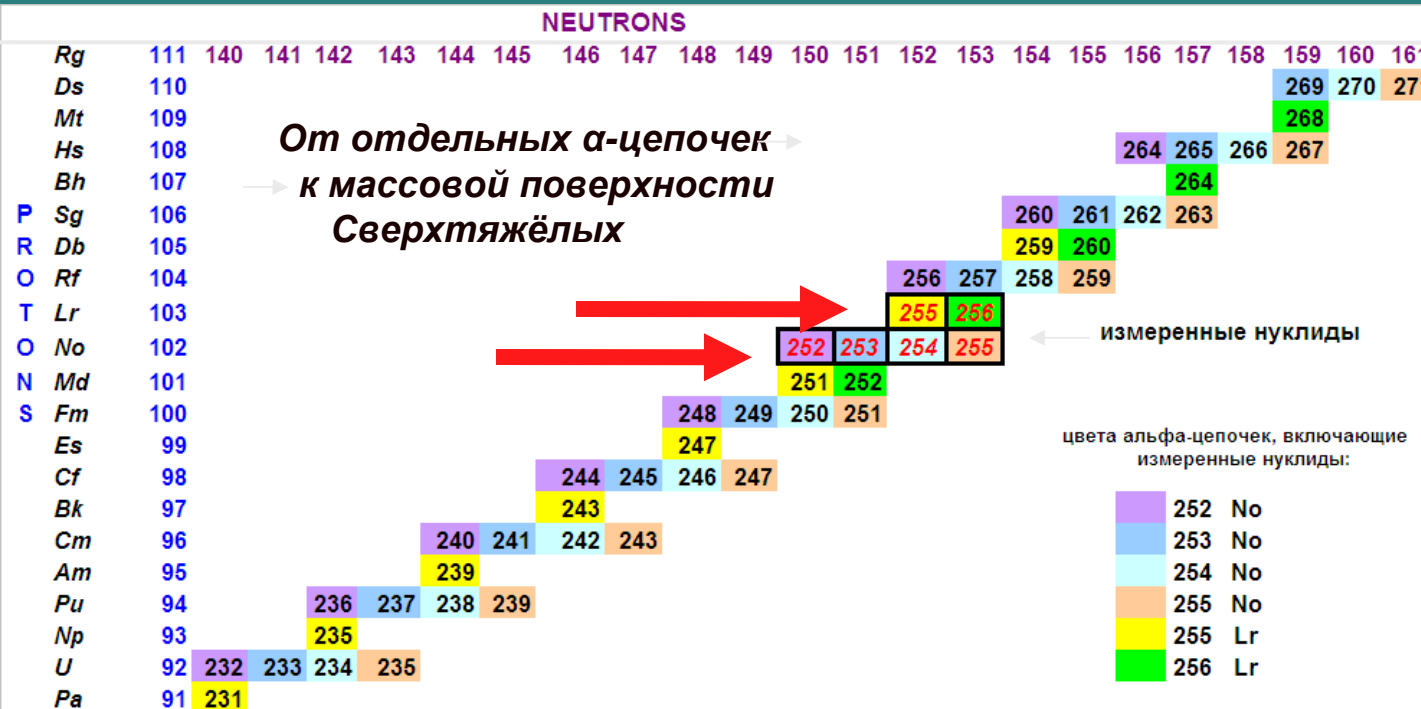
Прямые измерения масс $^{252, 253, 254, 255}\text{No}$ и $^{255, 256}\text{Lr}$ на установке SHIPTRAP в GSI

Новиков Ю.Н., Воробьёв Г. К, Елисеев С.А.,
Нестеренко Д.А. + группа SHIPTRAP

$^{252, 253, 254, 255}\text{No}$ и $^{255, 256}\text{Lr}$

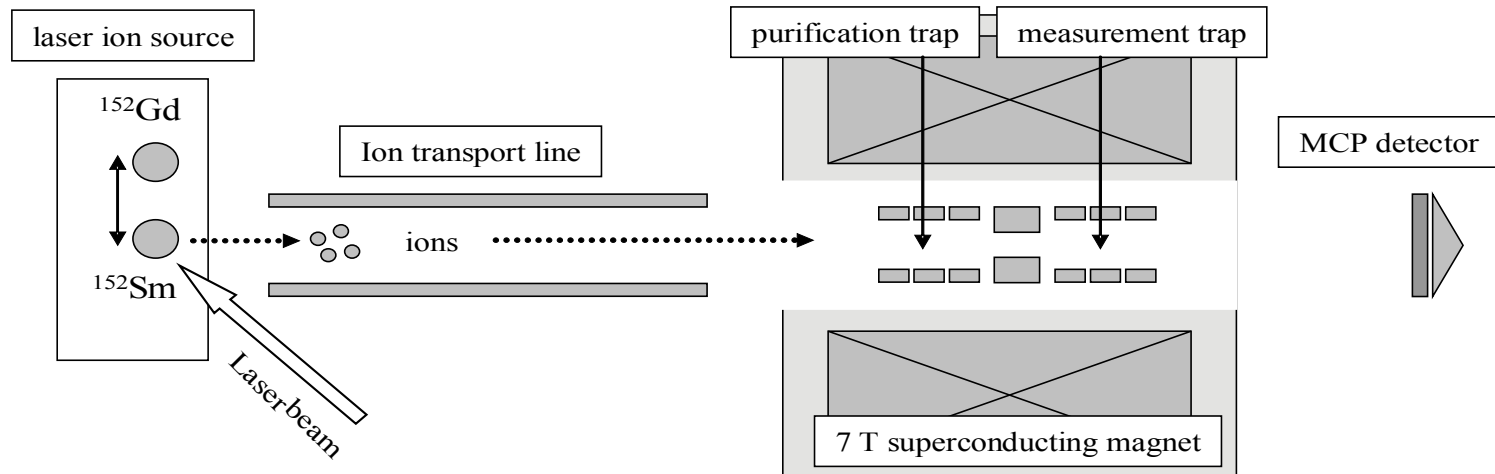
Счёт ^{256}Lr на детекторе
~ 0,5 иона/час

$\delta M \approx 2 \text{ keV}$



Разностный метод на SHIPTRAP

С. Елисеев и др.



Разность масс ^{152}Gd - ^{152}Sm измерена с точностью 180 эВ

Резонансный безнейтринный $\epsilon\epsilon$ -захват

Аналог безнейтринного двойного бета распада

Результат измерений (2011г)

В ядре ^{152}Gd $(Q - B^1 - B^2) = 910 \pm 180$ эВ

Если будет найдена пара ядер с $\Delta = Q - B - B \approx 200$ эВ ,
то метод может стать реальным

$$\lambda_{00\epsilon\epsilon}^{res} = c \cdot |M|^2 \cdot |\psi_{1e}(0) \cdot \psi_{2e}(0)|^2 m_\nu^2 \frac{\Gamma}{\left(Q_{\epsilon\epsilon} - B_i^{(1)} - B_j^{(2)}\right)^2 + \frac{1}{4} \Gamma^2}$$

Оценка скорости безнейтринного двойного электронного захвата в ядре ^{152}Gd ($Q_{2\text{EC}}$),

$Q_{2\text{EC}}, \text{ keV}$	55.70(18)
$B_{2h}, \text{ keV}$	54.794(9)
$\Delta = Q - B, \text{ keV}$	0.91(18)
$\Gamma_{2\text{EC}}, \text{ eV}$	24.8(2.5)
T (half-life), years	$10^{26}/m_\nu^2$

Если нейтрино тождественно антинейтрино

$$\lambda_{00\epsilon\epsilon}^{\text{res}} = c \cdot |M|^2 \cdot |\psi_{1e}(0) \cdot \psi_{2e}(0)|^2 m_\nu^2 \frac{\Gamma}{(Q_{\epsilon\epsilon} - B_{2h})^2 + \frac{1}{4}\Gamma^2}$$

Если будет найдена пара ядер с $\Delta = Q - B \approx 200$ эВ, то метод может стать реальным

Проект MATS в программе FAIR (*Masses in Advanced Trap Systems*)

Основная задача – прецизионные измерения масс редких нуклидов

Оценочная стоимость всего проекта -3.2 М€

*Вклад ПИЯФ (утверждённый FAIR)- 220 к€, :
калибратор масс, тонкие Si-детекторы
и расчёт трассы ионного пучка к ловушке*

Участники от ПИЯФ:


*А. Васильев, М. Взнуздаев, Г. Воробьёв, Ю. Гусев, С. Елисеев,
П. Кравцов, А. Мартюшов, Д. Нестеренко, А. Никаноров, Ю. Новиков
А. Попов, А. Пустовойт, Д. Селиверстов, М. Селиверстов,
В. Трофимов, А. Хусаинов*

Предлагаем создать РНРІТРАР в ПИЯФ
как дополнение к проекту ИРИНА на реакторе
ПИК

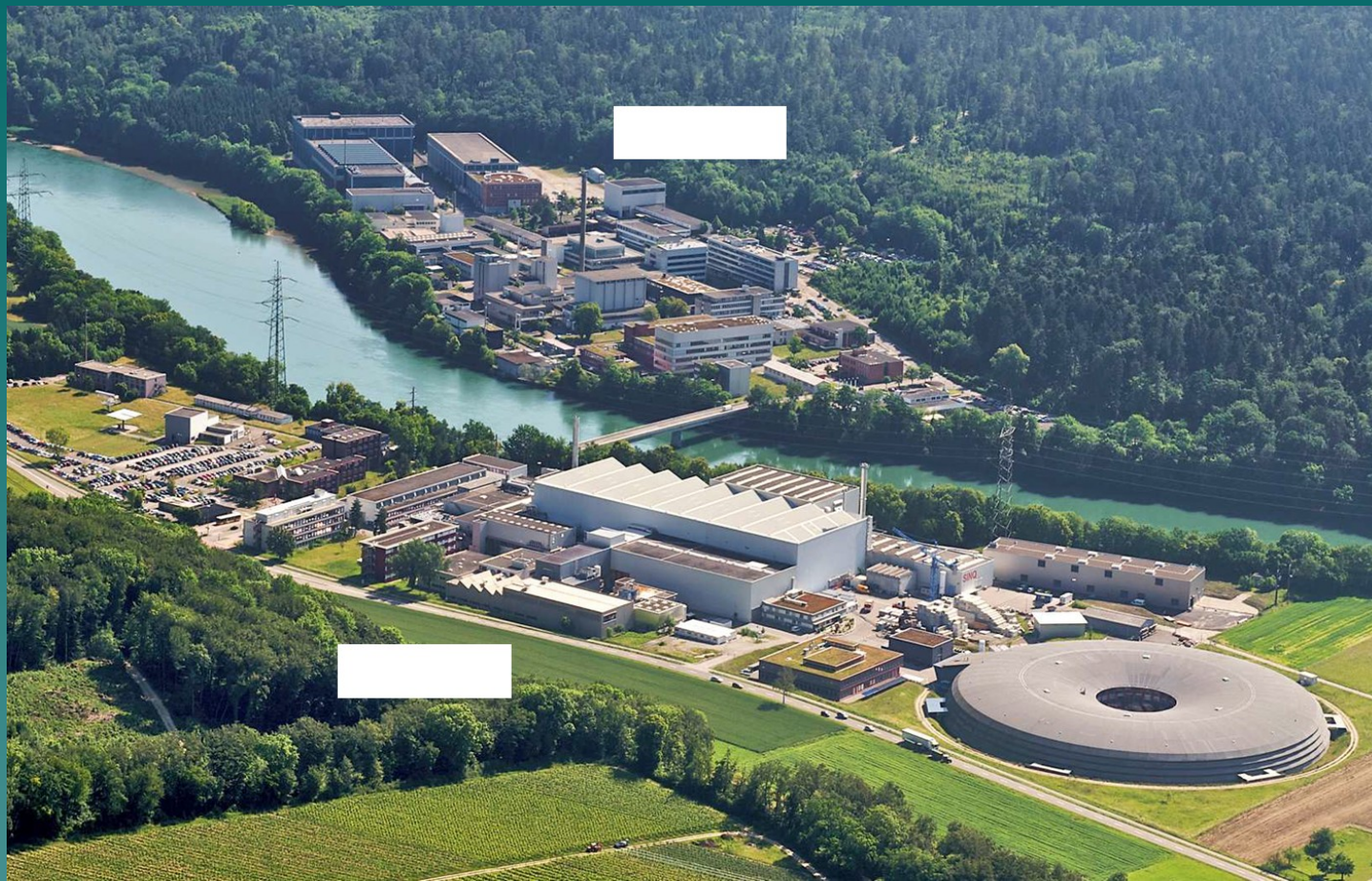
У нас есть для этого главное - опытные специалисты

Стоимость ИРИНА	150 млн.руб
Стоимость РНРІТРАР	100
млн.рублей	

Сотрудничество
с
Швейцарской мезонной фабрикой
Институт Пауля Шеррера PSI

A stylized, low-poly mountain range graphic in shades of teal and blue, located in the bottom right corner of the slide.

Paul Scherrer institute



Интенсивность пучка протонов : **2400 микроампер**
Уникальные мюонные пучки (мезонная фабрика)
Центр синхротронного излучения
Протонная терапия

Эксперименты выполненные в 1990-2009

Exp. R-88-03 Muon Catalyzed dt-Fusion

Exp R-94-05 Muon Catalyzed dd and pd - Fusion

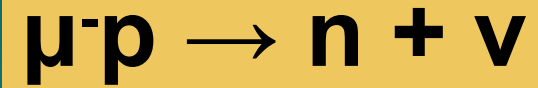
ЭЧАЯ том 42 вып 2 (2011) 261-414

Exp R-93-02 Nuclear muon capture by He3

Exp R-97-05 Precision Measurement of Singlet μp Capture
MuCAP experiment

Эксперимент MuCAP

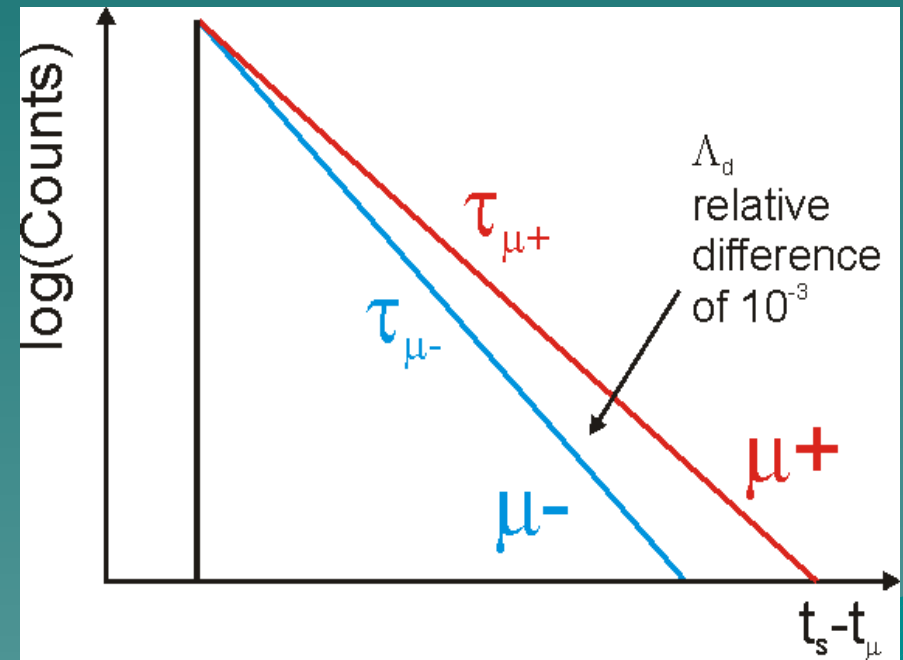
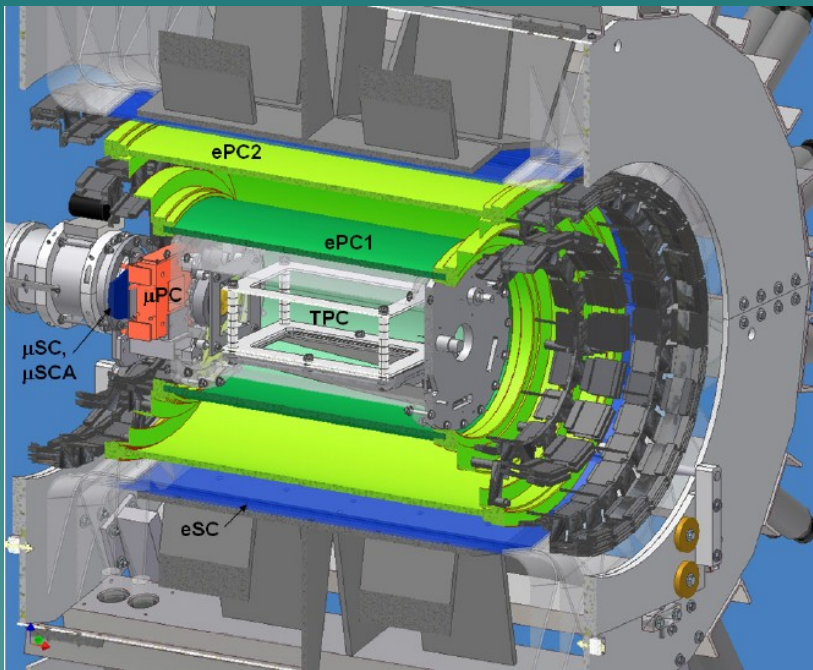
Измерение скорости μ -захвата в водороде



Form-factors of nucleonic weak current

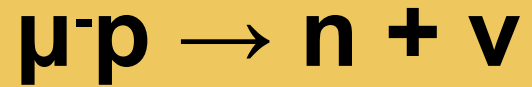
g_V, g_A, g_M, g_P

$$\Lambda_{\text{capture}} \rightarrow g_P$$



Эксперимент MuCAP

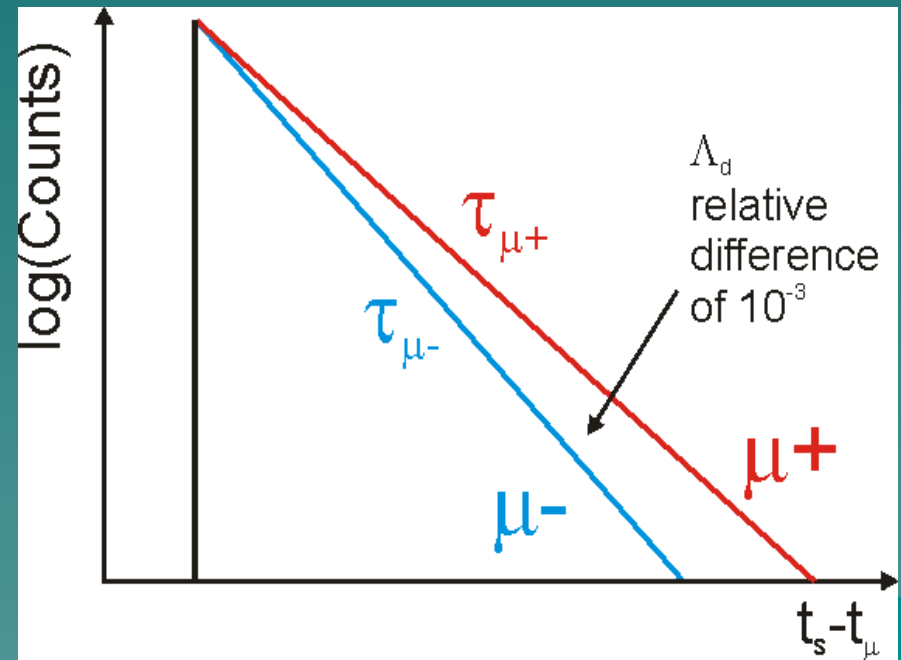
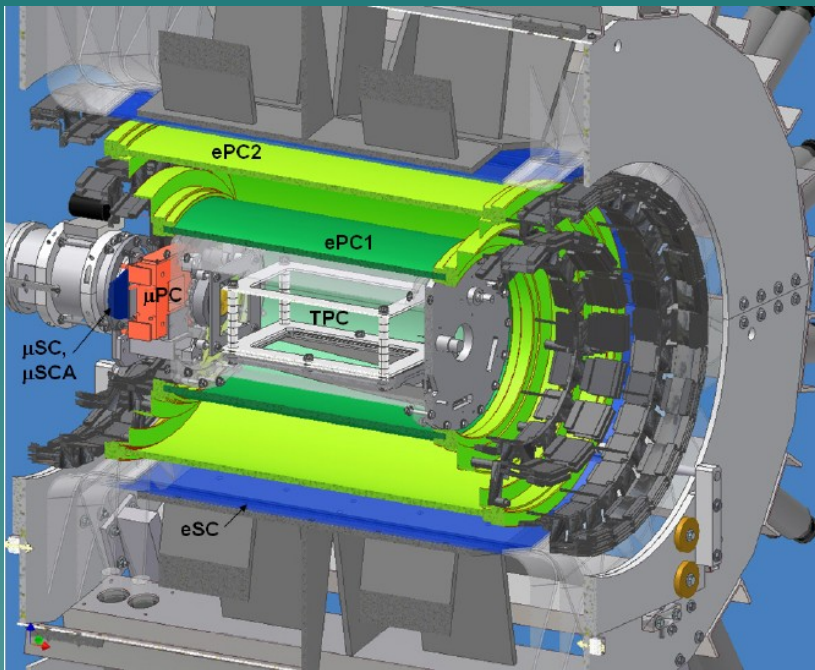
Измерение скорости μ -захвата в водороде



Form-factors of nucleonic weak current

g_V, g_A, g_M, g_P

$$\Lambda_{\text{capture}} \rightarrow g_P$$



MuCAP: $g_P = 7.3 \pm 1.1$

Chiral perturbation theory $g_P = 8.26 \pm 0.23$

Эксперимент MuSUN

**Швейцарская мезонная фабрика
Paul Scherrer Institute (PSI)**

**Прецизионное исследование скорости ядерного
мюонного захвата в дейтерии**

ПИЯФ

PSI

Univ. Washington ,USA

Univ. Boston,USA

Univ.Rentucky,USA

Univ.Denver,USA

Spokspersons

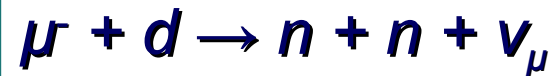
А. Васильев (ПИЯФ)

С.Petitjean (PSI)

Р.Kammel (Univ.Washington)

Экперимент *MuSun*

Измерение скорости мю-захвата в дейтерии



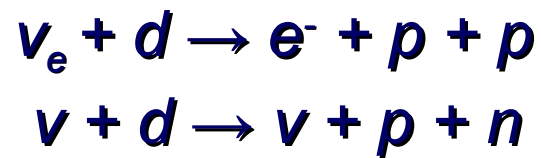
Effective Field Theory

L_{1A}

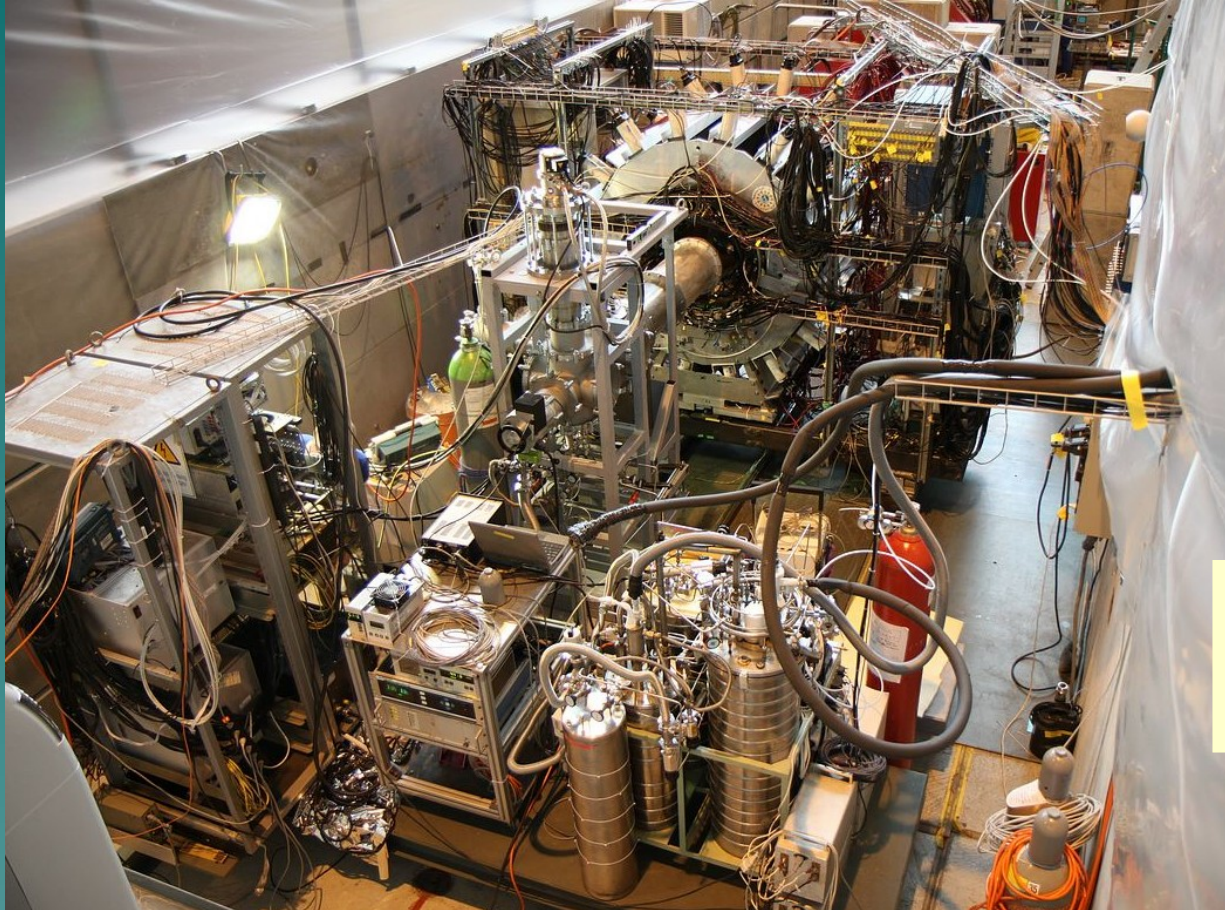
Реакция на Солнце



Детекторы нейтрино



MuSUN на пучке



Ультра-чистый
D₂
примеси $\approx 10^{-9}$

$T = 32 \text{ K}$

$P = 6 \text{ атм}$

$HV = 100 \text{ KV}$

Июль-сентябрь 2011
трехмесячный
измерительный сеанс

10^{10} остановок μ^{-}

Дальнейшее сотрудничество с PSI

**Эксперимент *MuSUN* будет продолжен в 2012- 2013
на специально создаваемом для него
мюонном канале**

**Целесообразно расширить сотрудничество с PSI,
включив также μ SR исследования
и протонную терапию**

**Заклучить специальное соглашение
и предусмотреть финансирование
~ 6 млн.руб. в год на командировки**

Сотрудничество
с
Национальным немецким центром

FZJ Juelich

A stylized, low-poly mountain range graphic in shades of teal and blue, located in the bottom right corner of the slide.

Эксперимент

ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ

POLFUSION

DD-СИНТЕЗ

Эксперимент будет поставлен в ПИЯФ

Петербургский институт ядерной физики (Лаб. А.Васильева)

Forschungszentrum Jülich, Germany

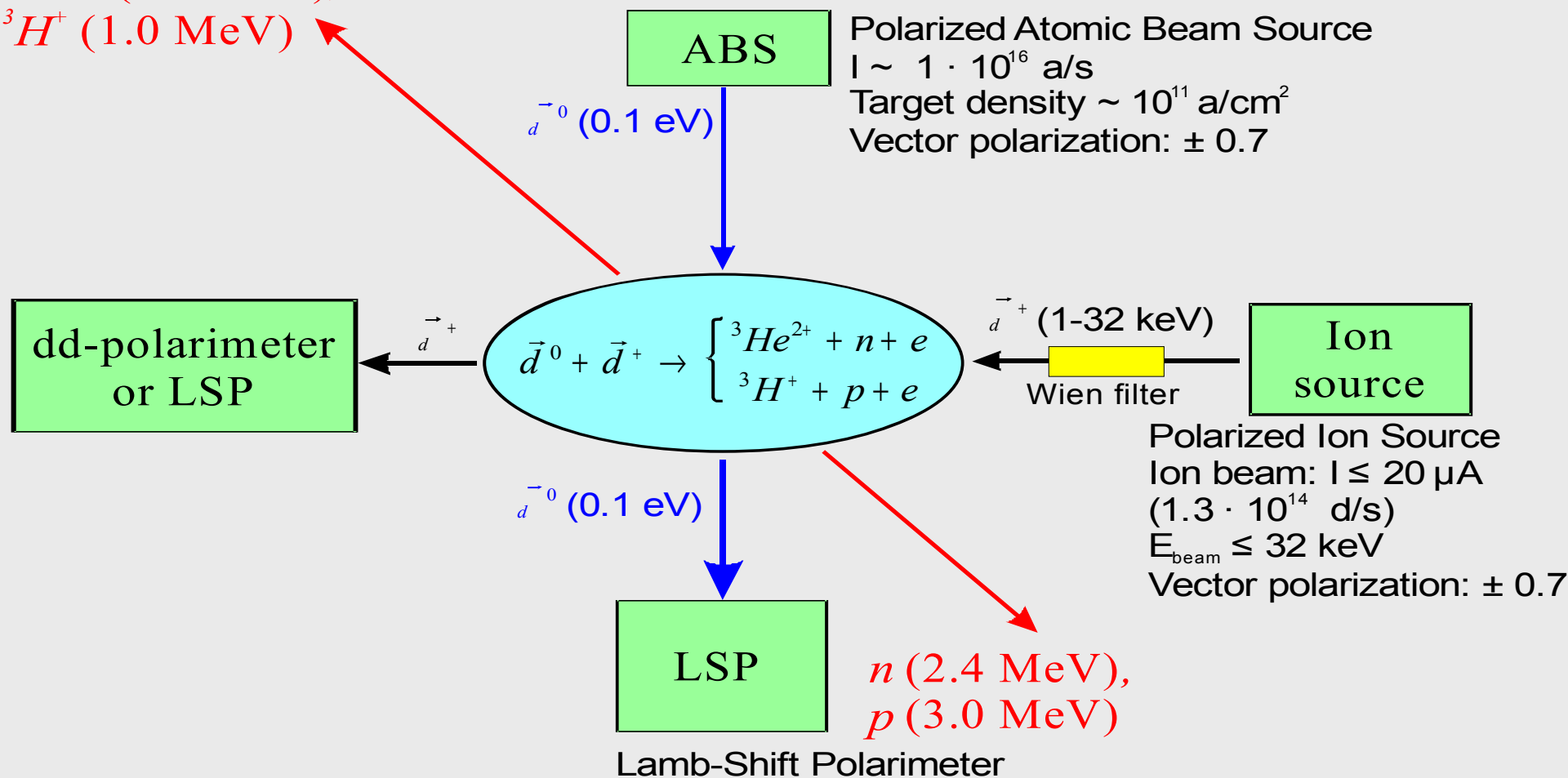
Cologne University, Germany

KVI, Groningen, Netherlands

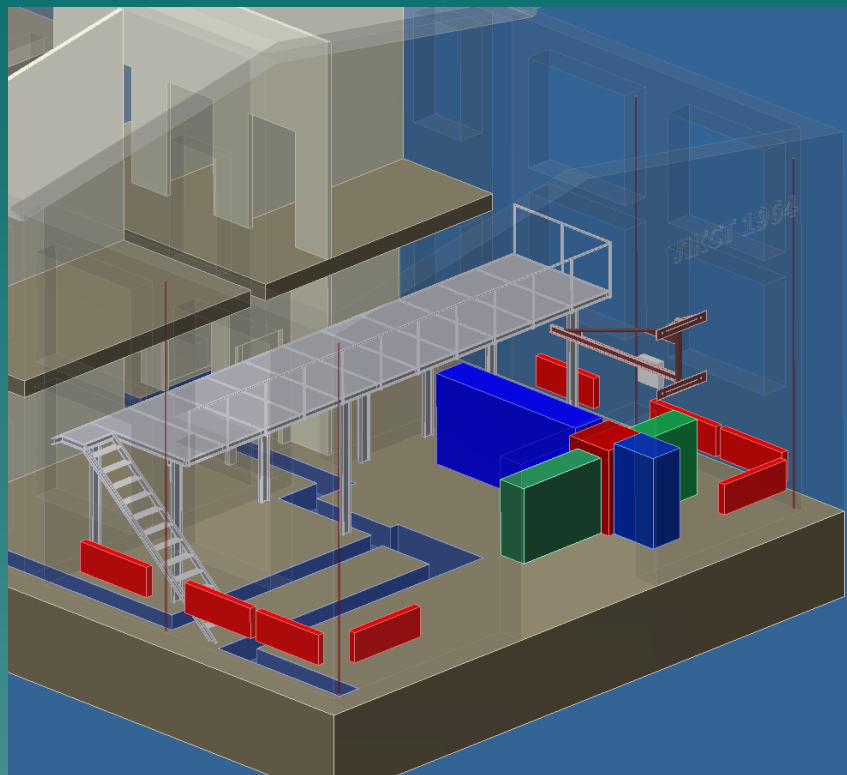
Университет ИТМО

Схема эксперимента POLFUSION

${}^3\text{He}^{2+}$ (0.8 MeV),
 ${}^3\text{H}^+$ (1.0 MeV)



POLFUSION Монтаж установки



Пробные измерения в конце 2012

FZJ, Juelich поставил в ПИЯФ канал поляризованных дейтронов

СТОИМОСТЬЮ 1.5 M\$

Дальнейшее сотрудничество с FZI

ПИЯФ имеет многолетнее сотрудничество с **Немецким научным**

Центром FZI , Juelich:

- Эксперимент ANKE на ускорителе COSY
- Разработка пучков поляризованных ядер
- Эксперимент POLFUSION в ПИЯФ

Сейчас FZJ предлагает расширить сотрудничество, включив в него, в частности, нейтронные исследования, физику твердого тела , теоретическую физику и ядерную медицину.

С этой целью 24-29 июня 2012 в ПИЯФ будет организован *Workshop on existing and Future projects between PNPI , Gatchina and, Juelich*

Физика высоких энергий



Физика высоких энергий

CERN (с 1976)

WA9, NA8

L3

CMS, ATLAS, LHCb, ALICE

UA9

FNAL (с 1983)

E715, E761, E781

Тэватрон

D0

BNL (USA)

PHENIX

DESY (Германия)

HERMES. OLYMPUS

Эксперимент *D0*

Tevatron (FNAL)

Г.Алхазов, В.Головцов, В.Ким, А.Лободенко, П.Неустроев,
Г.Обрант, Л.Уваров, С.Уваров, Ю.Щеглов

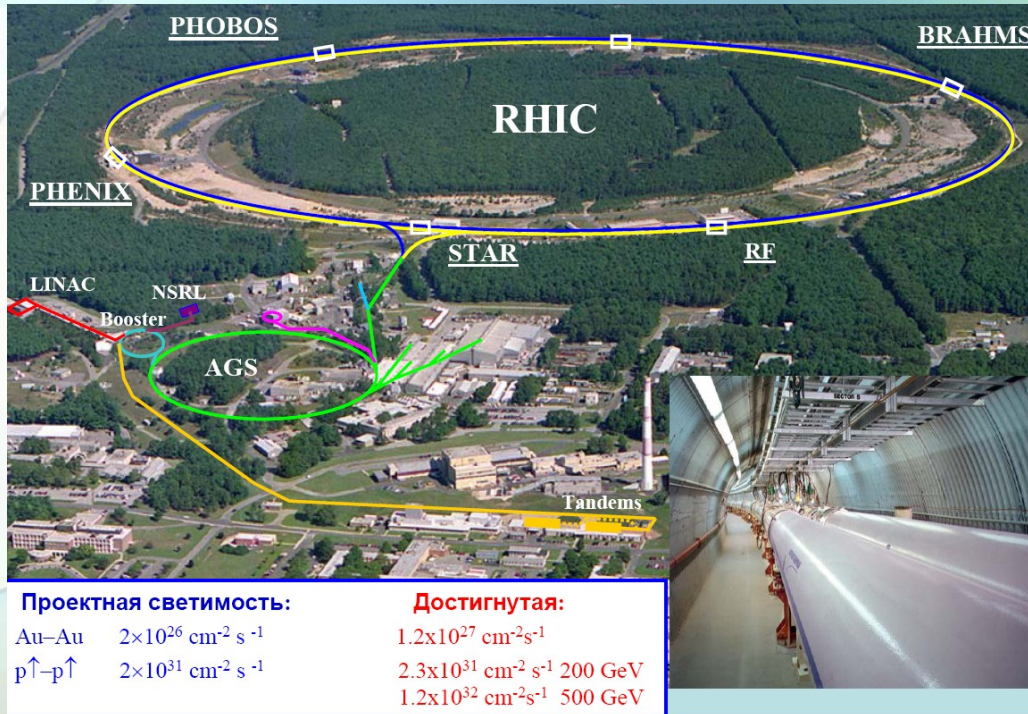
Muon readout system 50000 каналов

Открытие t –кварка
 B_s осцилляции (CP-нарушение)
Уточнение массы t –кварка
Одинокое рождение t –кварка
Ограничение на массу Хиггс бозона

Ξ_b^- (dsb) – первое наблюдение.

Ω_b^- (bss) – первое наблюдение.

Эксперимент PHENIX BNL



System

$\sqrt{s_{NN}}$, GeV

Au+Au

7, 9, 39, 62, 130, 200

d+Au

200

Cu+Cu

22, 62, 200

$p\uparrow+p\uparrow$

22, 62, 200, 500

Эксперимент PHENIX (RHIC BNL)

- ✓ В. Баублис, к.ф.-м.н., снс
- ✓ Е. Взнуздаев, вед. инженер
- ✓ Д. Иванищев, мнс
- ✓ Б. Комков, снс
- ✓ Д. Котов, к.ф.-м.н., мнс
- ✓ В. Рябов, д.ф.-м.н., внс
- ✓ Ю. Рябов, к.ф.-м.н., снс
- ✓ В. Самсонов, д.ф.-м.н., зав. лабораторией
- ✓ А. Ханзадеев, д.ф.-м.н., внс

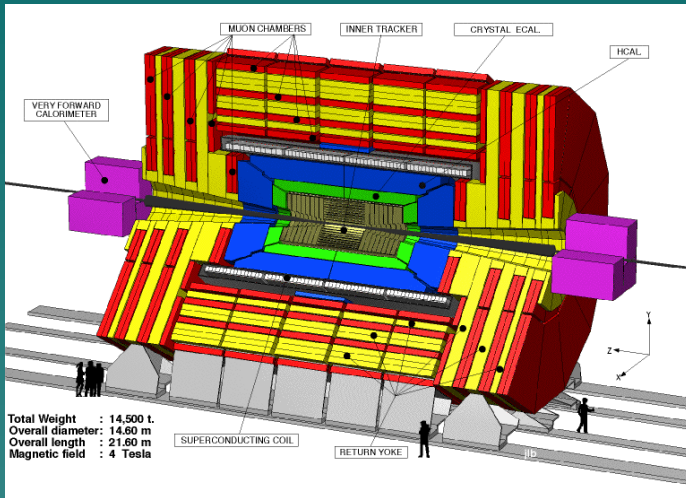
Центральная трековая система

Основной результат

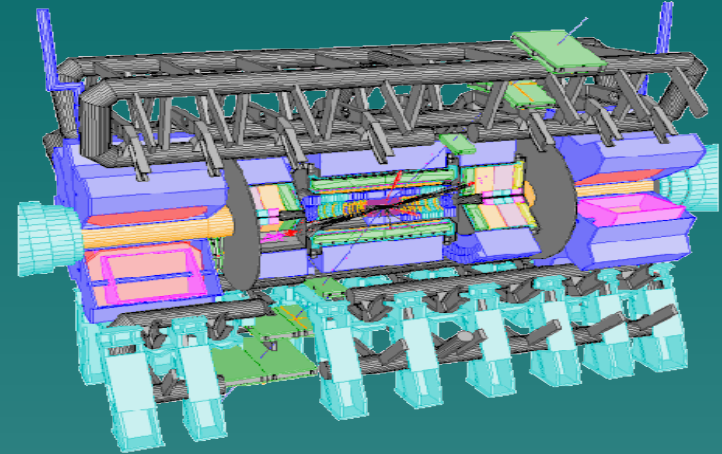
В результате столкновения релятивистских ядер образуется кварк-глюонная материя, которая ведет себя как **сильно-взаимодействующая жидкость**

Участие в экспериментах на LHC

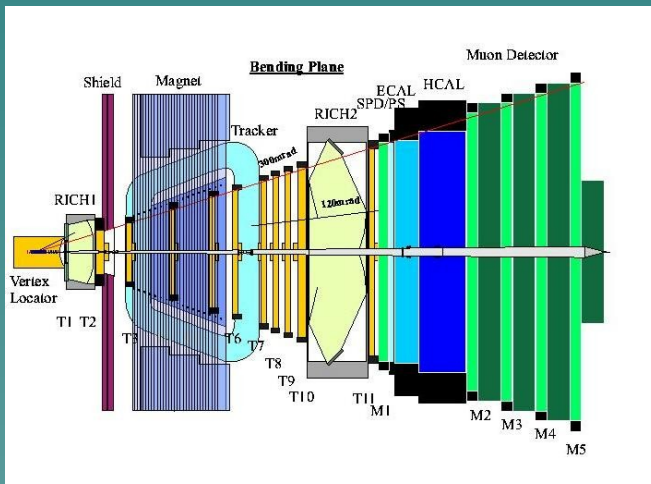
CMS



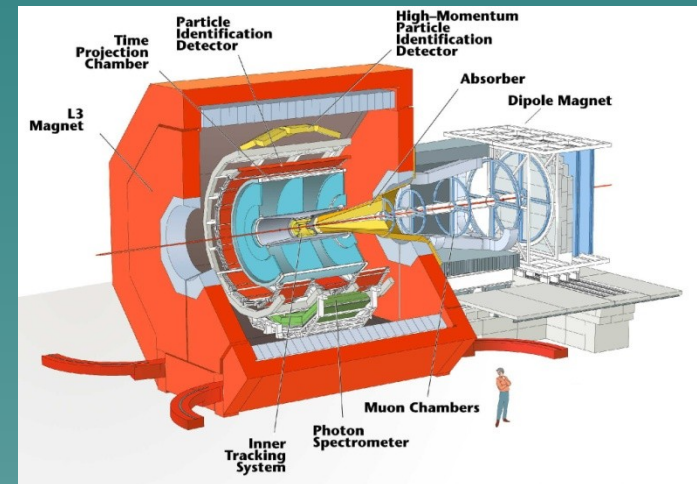
ATLAS



LHCb



ALICE



LHC в 2011 и 2012

LHC работает успешно в режиме

pp –коллайдер 3.5 ТэВ + 3.5 ТэВ

HI –коллайдер 2.76 ТэВ A + 2.76 ТэВ A

при светимости 50% от номинальной
(CMS@ATLAS)

при светимости 150% от номинальной (LHCb)

LHC сегодня – это обильный источник информации в различных областях фундаментальных исследований

Уже опубликовано более 100 работ.

Исключительно важно активно участвовать в этом процессе

Большой вклад ПИЯФ в создание детекторов позволяет включить в число авторов работ около 30 физиков ПИЯФ.

Вместе с тем, большая нагрузка на эксплуатацию созданного оборудования (визитный бюджет).

Важно обеспечить возможность анализировать физические данные, находясь попеременно в ПИЯФ и в ЦЕРН с использованием вычислительных кластеров ПИЯФ и системы GRID

Необходимо в НИЦ КИ создать фонд поддержки исследований на LHC

(100 млн.руб.в год).

РАН имеет такой фонд (60 млн.руб.в год)

Участие ПИЯФ в анализе данных

◆
Поиск
редко
го
распа
да B_s
→ $\mu\mu$

(LHCb
)

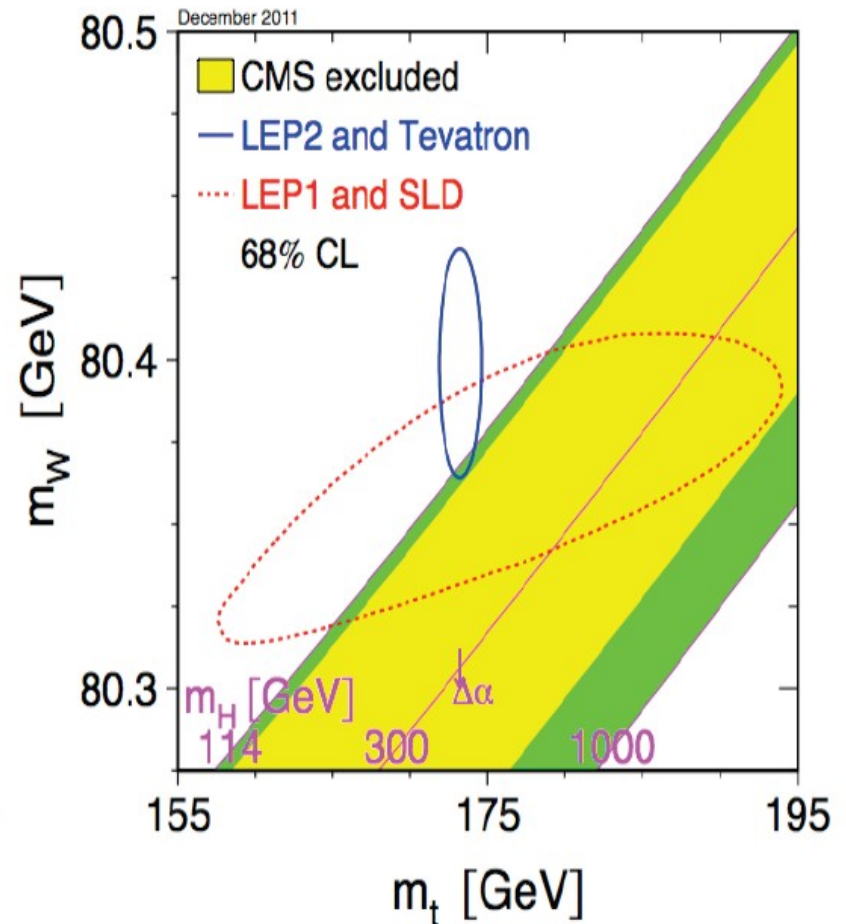
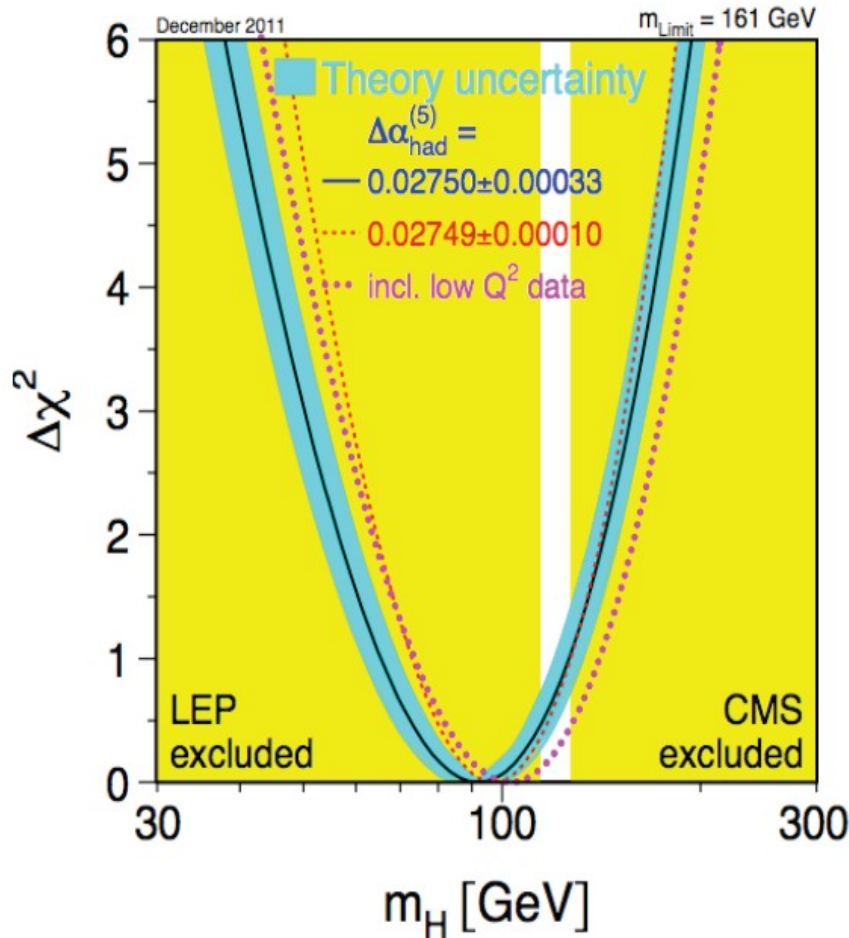
◆
Поиск

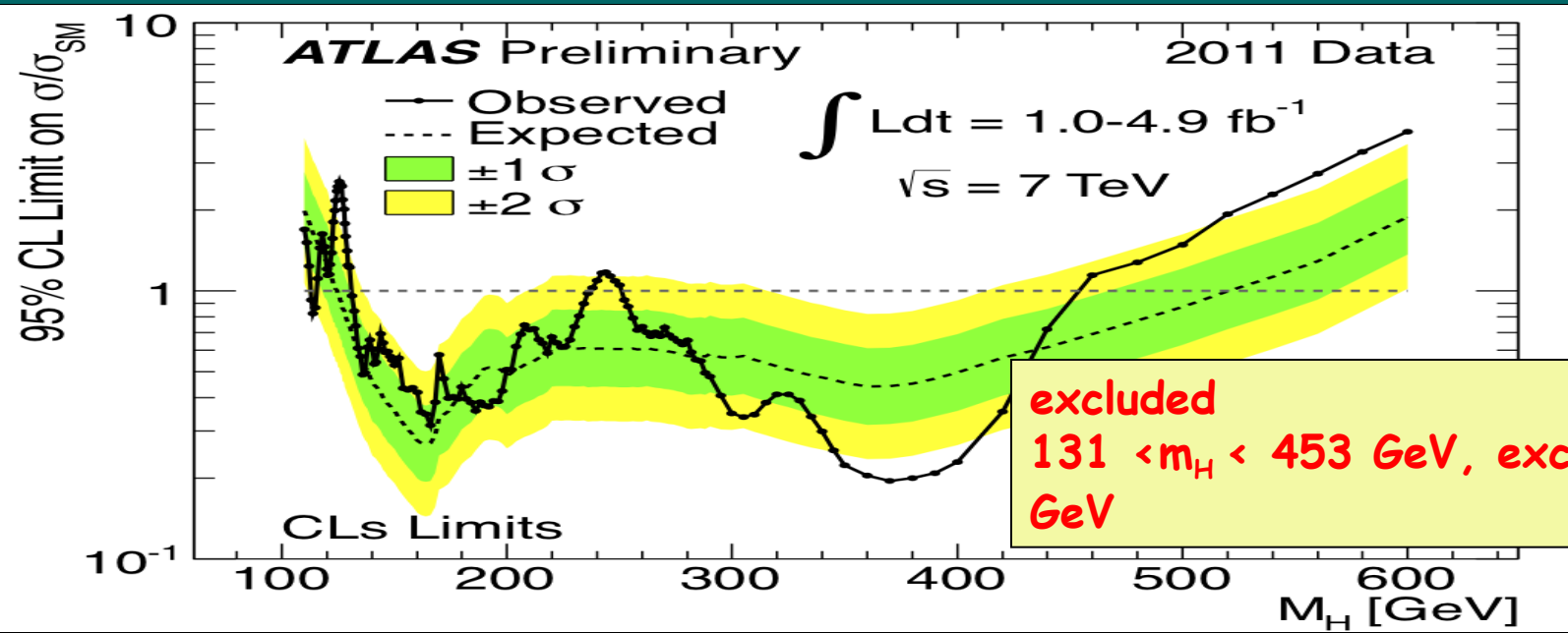
тяжел
ых Z

Поиск Хиггс -бозона

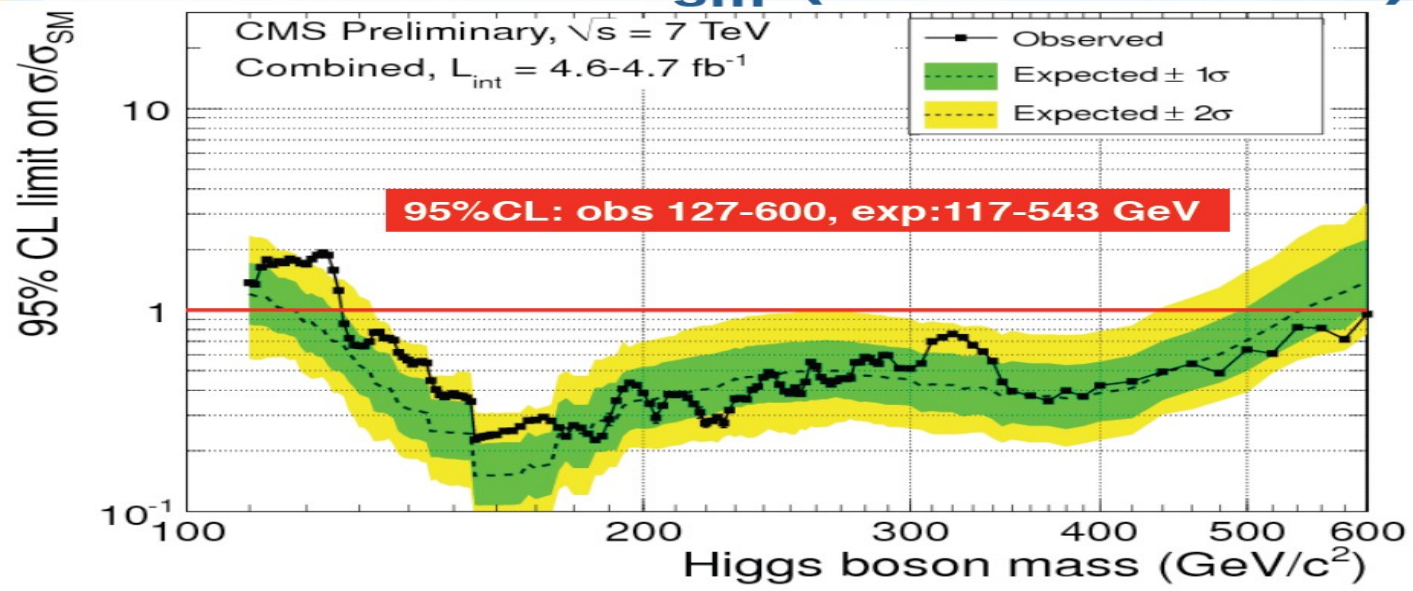


Freshly squeezed EWK plots





Limits on σ/σ_{sm} (CLs method)



Summaries

ATLAS@CMS

Исключено существование Хиггс-бозона с массой 127 – 600 ГэВ

ATLAS

We observe an excess of events around $m_H \sim 126$ GeV:

Local significance 3.6σ

Global significance $\sim 2.3\sigma$

CMS

We are not able to exclude the presence of the SM Higgs below 127 GeV

since we observe a modest excess of the events between 115 and 127 GeV

The excess is most compatible with a SM Higgs in the vicinity of 124 GeV and below

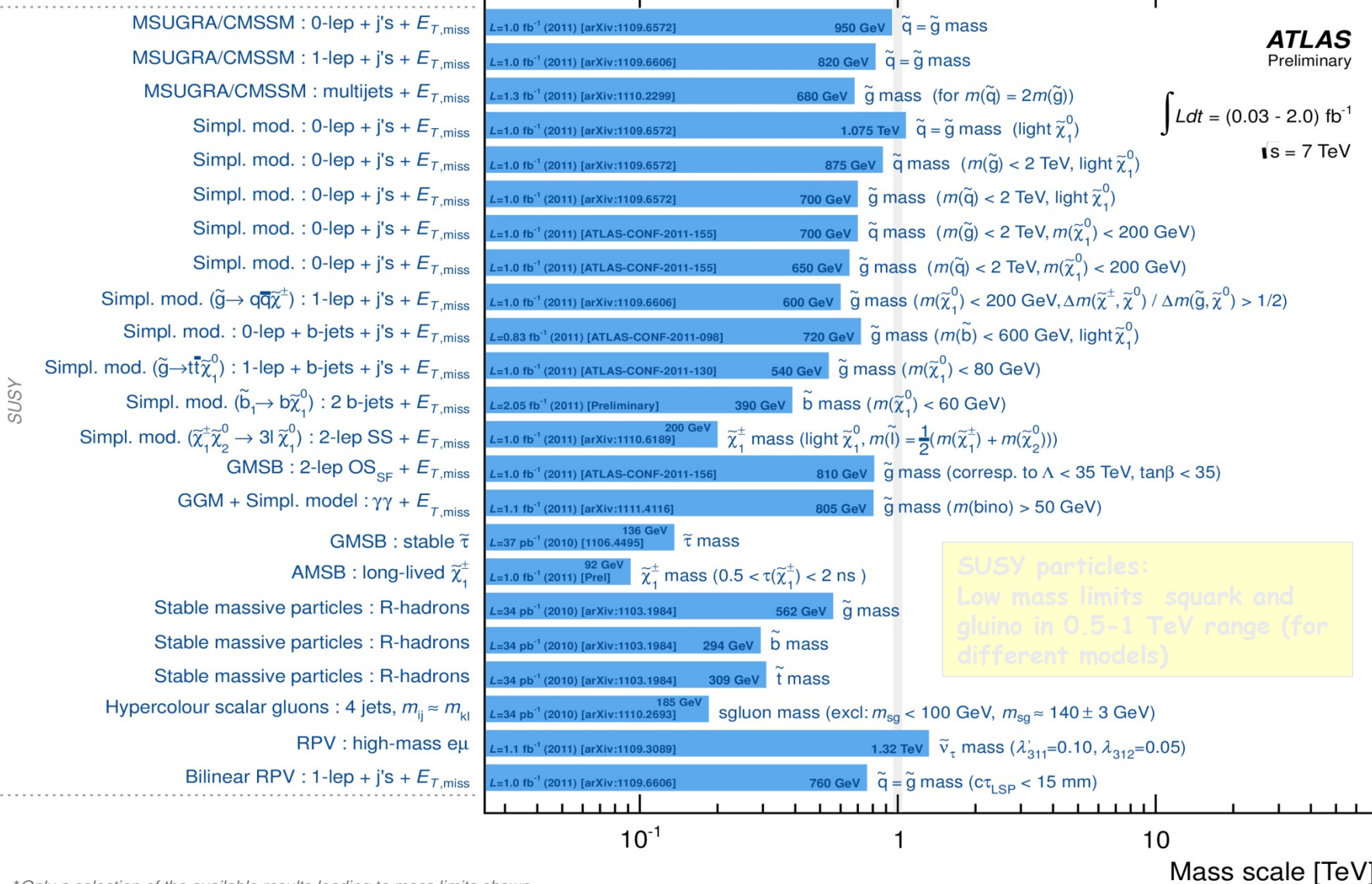
But the statistical significance is not large enough to say anything conclusive.

Local significance 2.6σ

Global significance 1.9σ

SUSY search result summary

ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits (Status: Dec. 2011)



ATLAS Preliminary

$\int Ldt = (0.03 - 2.0) \text{ fb}^{-1}$
 $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$

SUSY particles:
 Low mass limits squark and gluino in 0.5-1 TeV range (for different models)

*Only a selection of the available results leading to mass limits shown

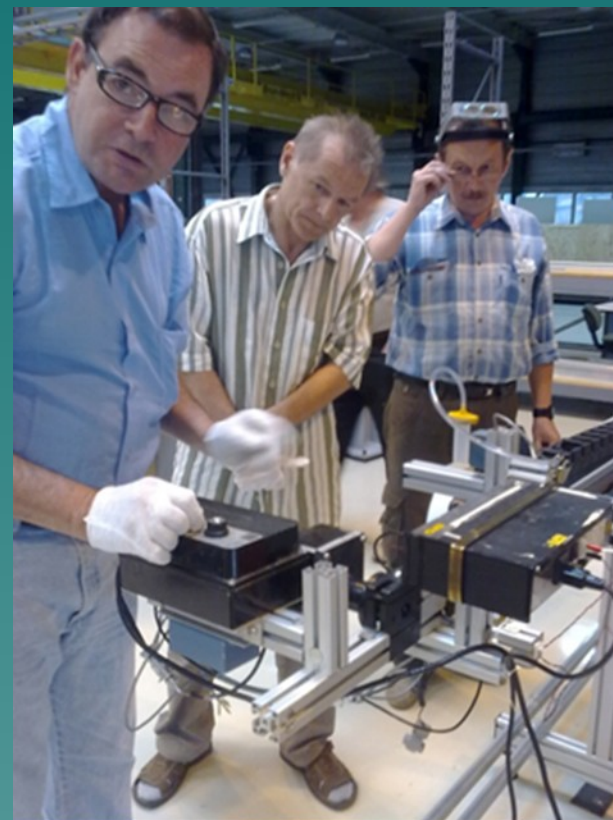
Столкновения релятивистских ядер в LHC

Предварительный вывод

Как и при энергиях RHIC, в результате столкновения релятивистских ядер при энергиях LHC образуется кварк-глюонная материя, которая ведет себя как сильно-взаимодействующая жидкость (а не плазма)



Upgrade мюонной системы CMS



Нужно изготовить 76 Мюонных камер
и
2500 –канальную систему высоковольтного
питания

27.12.2011

Новые проекты

Эксперименты в проекте *FAIR_GSI*

Panda

CBM

NuSTAR

EXEL, MATS, R3B

Эксперимент в *FNAL*

Gμ -2

Эксперимент в *DESY*

OLYMPUS

ЗАГРАНИЧНЫЕ КОМАНДИРОВКИ

Число командировок	207	(93 чел.)
Швейцария (ЦЕРН)	103	
(PSI)	11	
США (BNL, FNAL)	14	
Германия (DESY, GSI)	73	
(Mainz, Bonn)		

Φ

*Центр протонной терапии
и
производство медицинских радиоизотопов
в
Петербургском институте ядерной физики*

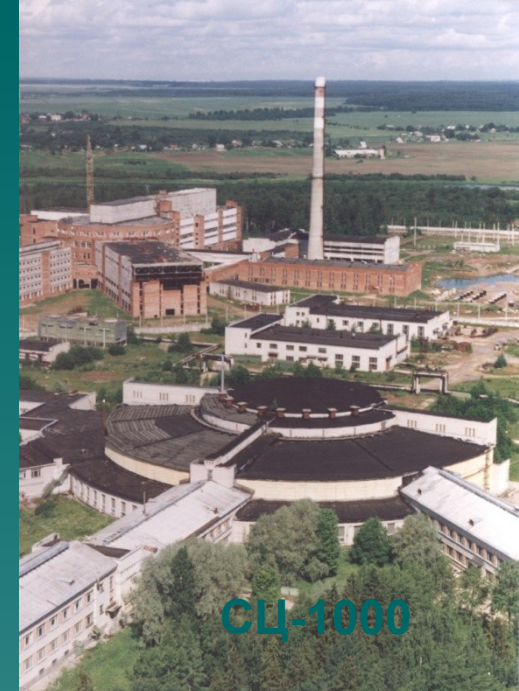
Статус и перспективы развития

- Петербургский институт ядерной физики им.Б.П.Константинова
- Российский научный центр радиологии и хирургических технологий (РНЦРХТ, С.Петербург)
- Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера (ИЯФ СО РАН, Новосибирск)

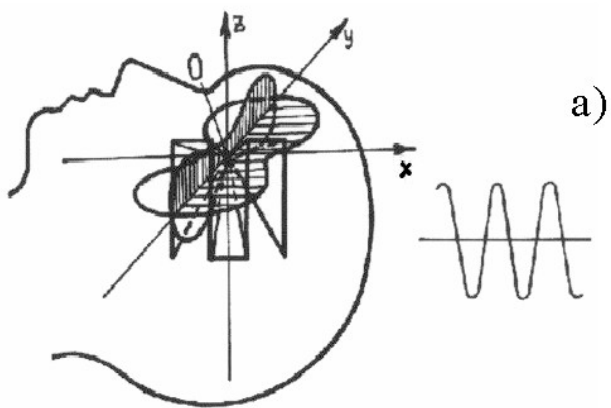
Центр протонной терапии ПИАФ-ЦНИРРИ (РНЦРХТ)

С 1975 года

Энергия протонов 1000 МэВ
Метод: облучение “напролет”
Курс протонной терапии прошли
1372 пациента

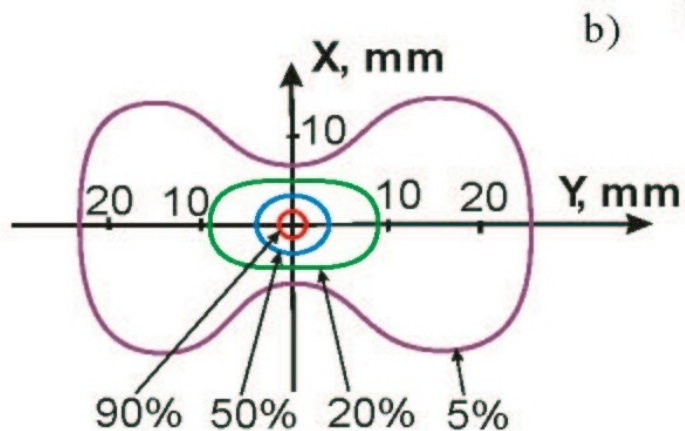


Подготовка пациента к облучению ~ 20 мин
Облучение 10-20 мин



Преимущества “гатчинского метода” протонной терапии:

- **малое угловое рассеяние протонов высокой энергии**
- **простота и надежность процесса облучения**



Узкий протонный пучок ($D=5$ мм) с резкими краями в комбинации с ротацией объекта позволяют получить **высокое отношение дозы в центре облучаемого объекта к дозе на поверхности головы (≈ 200)**.

Эффективность протонной терапии

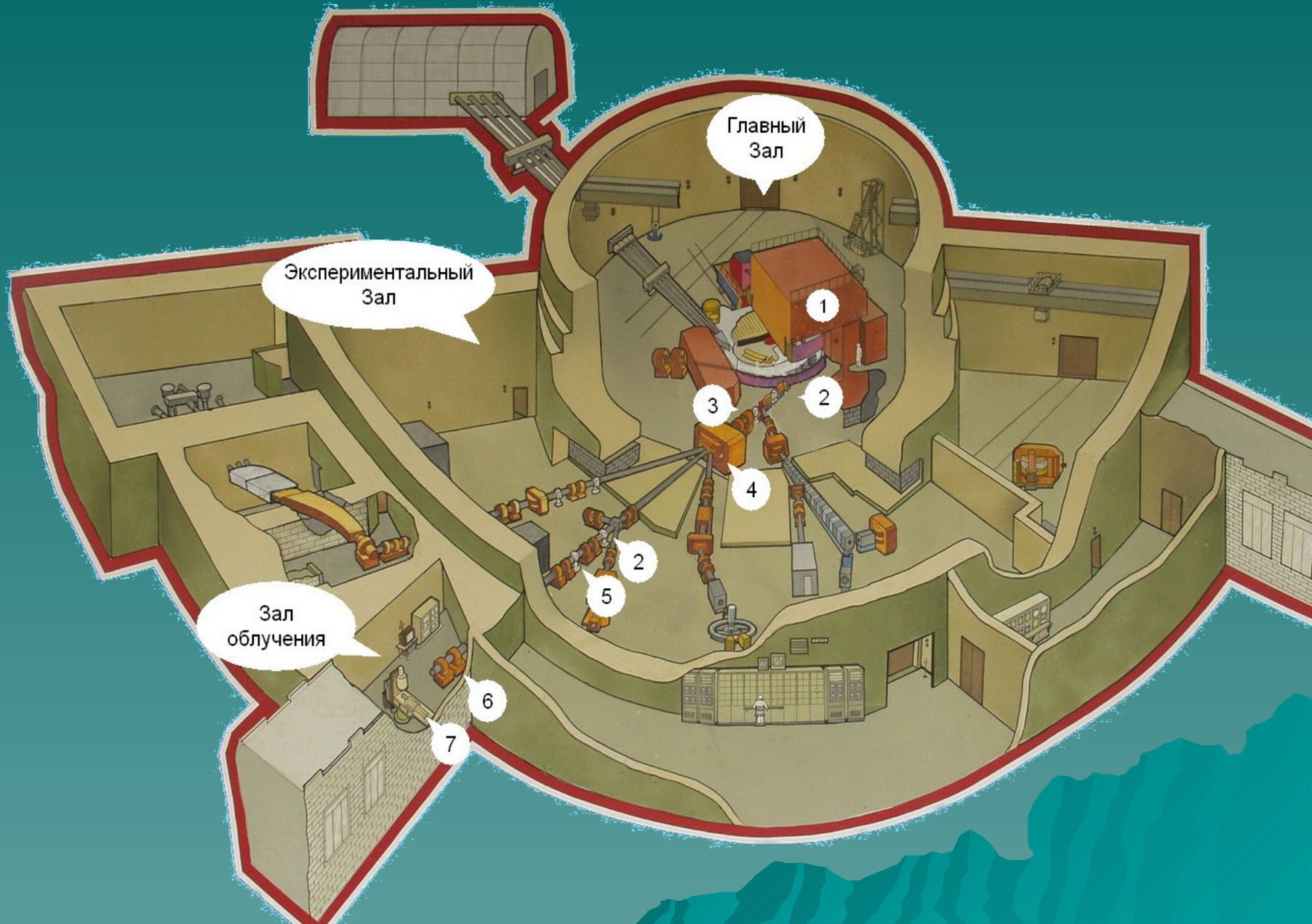
	Число пациентов	Положит эффект	Клинич ремисс ия
Аденома гипофиза	203	87%	83%
Somatotropinoma	115	95%	80%
	205	97%	96%
Prolactinoma			
Corticotropinoma			
Артерио-венозные аневризмы <8см3	492	74%	65%

85% - однократное облучение

15% - двукратное облучение

**За все время ни одного осложнения, связанного
с качеством облучения**

Комплекс протонной терапии ПИЯФ



Планы развития

1. Продолжение терапии с использованием протонов с энергией 1000 МэВ.

Модернизация систем контроля и управления процессом облучения.

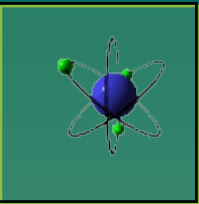
2. Завершение сооружения сильноточного (200 мкА) протонного циклотрона на энергию 80 МэВ.

* Создание радиохимического комплекса для выделения изотопов, получаемых на пучках циклотрона.

* Создание офтальмологического центра

3. **Создание быстроциклирующего синхротрона с энергией 160- 240 МэВ** Разработка института Будкера

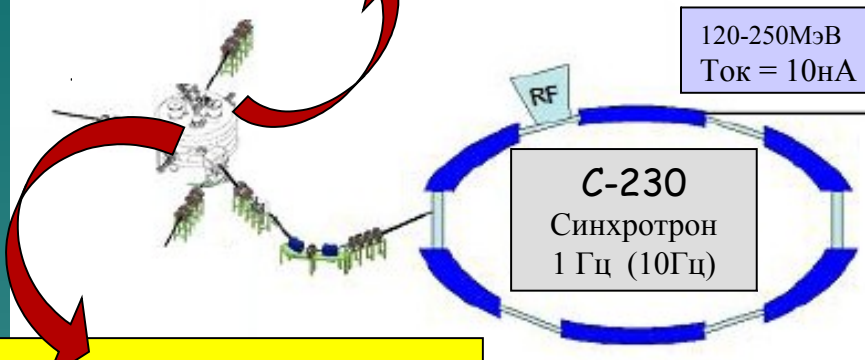
Создание экспериментального центра протонной терапии с использованием пика Брэгга



Экспериментальный Центр протонной терапии

Офтальмологический комплекс. Ток = 1 нА

Производство изотопов, включая все типы генераторов для ПЭТ. Ток = 200 мкА

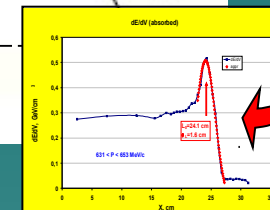


120-250 МэВ
Ток = 10 нА

C-230
Синхротрон
1 Гц (10 Гц)

Медицинский корпус

ГАНТРИ



Пик Брэгга

Циклотрон ПИЯФ
Синхротрон ИЯФ*)

80 МэВ, 100 мкА
90-250 МэВ, 5 нА

*)1 Гц с 10% модуляцией энергии с частотой 10 Гц

Медицинский корпус (РНЦРХТ)



Циклотрон Ц-80

Запуск в 2012 году

Регулируемая энергия

50-80 МэВ

Ток 100 мкА

позволяет решить следующие задачи:

1. Массовое производство широкого спектра радиоизотопов для медицины

I-123, In-111, Ga-67, Rb-81 и др., включая изотопы C-11, N-13, O-15, F-18 для ПЭТ (позитронно эмиссионных томографов).

Будет также производиться стронций – рубидиевый генератор для ПЭТ, удаленных от места производства изотопов.

1. Создание офтальмологического комплекса для протонной терапии глаза

использованием пучка протонов с энергией 60-80 МэВ.

Сотрудничество с офтальмологическим центром протонной терапии в PSI



5000 пациентов

***Благодарю за
внимание***

