

# SHIPTRAP в 2014 г.

**Ю. Новиков**

Лаборатория Физики Экзотических Ядер ПИЯФ

*Сессия Ученого Совета ОФВЭ ПИЯФ*

*24 декабря 2014 г.*

## Статус программы SHIPTRAP в 2014 г.

- Отсутствие пучкового времени в 2014 г.
- Работа в режиме “off-line” с долгоживущими и стабильными нуклидами
- Внедрение нового метода регистрации ионов, позволившего увеличить точность измерений масс на один порядок величины
- Ультрапрецизионные измерения масс  $^{187}\text{Re}$ ,  $^{187}\text{Os}$  и  $^{48}\text{Ca}$

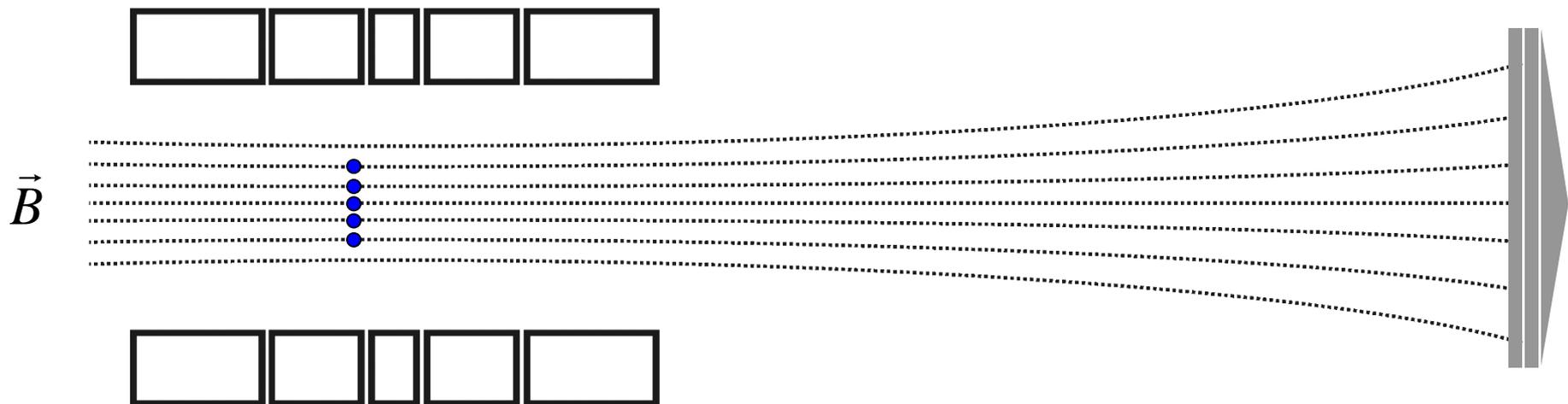
# Место ионных ловушек в фундаментальных исследованиях



# **Новый метод фазовой идентификации резонансной частоты**

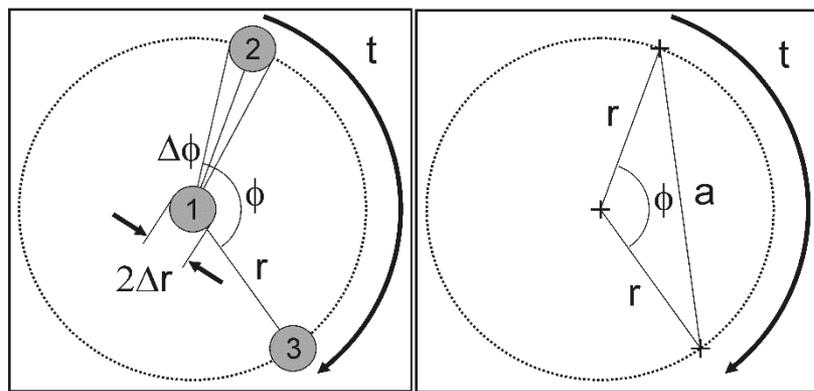
Penning trap

position-sensitive detector

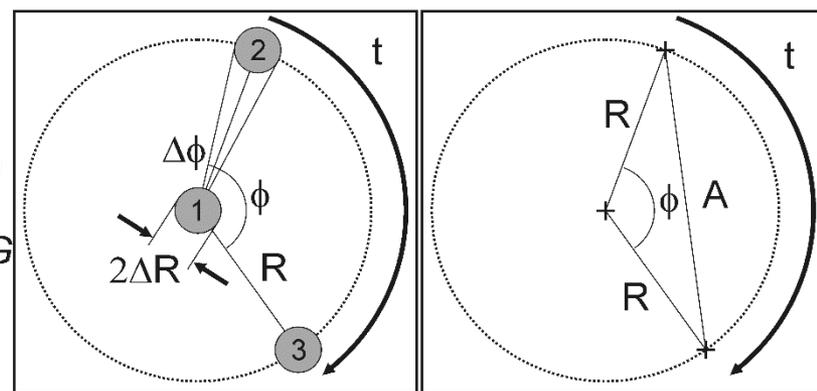


radial ion motion in a Penning trap

image of radial ion motion on detector



projection with  
magnification  $G$



# Позиционно чувствительный детектор RoentDek GmbH DLD40

Active diameter	42 mm
Channel diameter	25 $\mu\text{m}$
Open area ratio	>50 %
<b>Position resolution</b>	<b>70 <math>\mu\text{m}</math></b> $\square$
<b>Max. B-field</b>	<b>a few mT</b> $\square$
Time resolution	$\sim 10$ ns

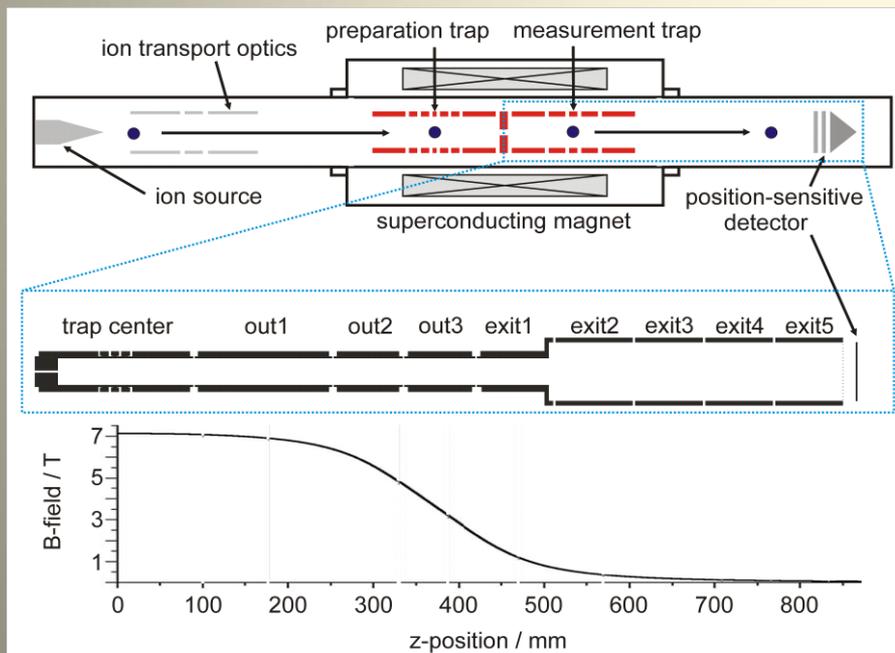
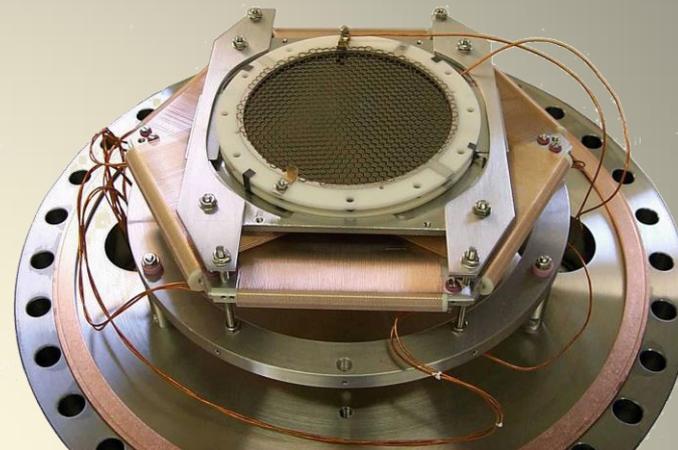
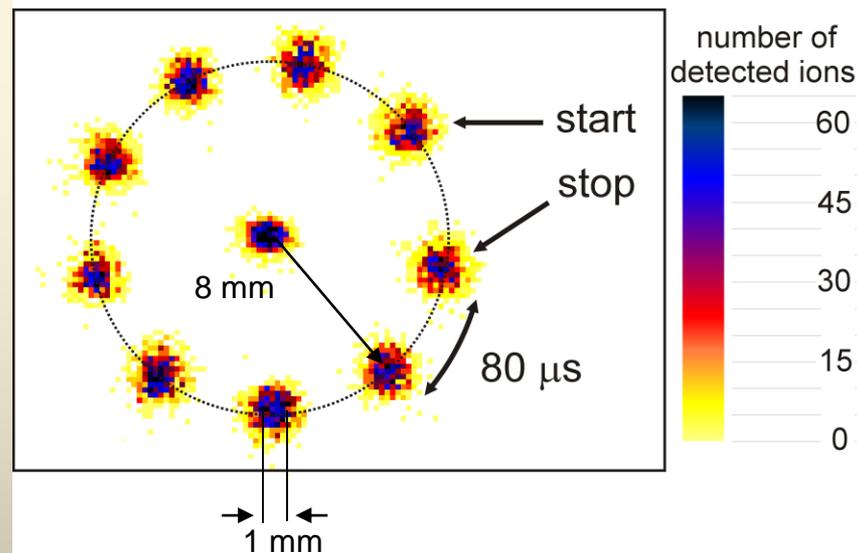


image of magnetron motion ( $G \approx 20$ )

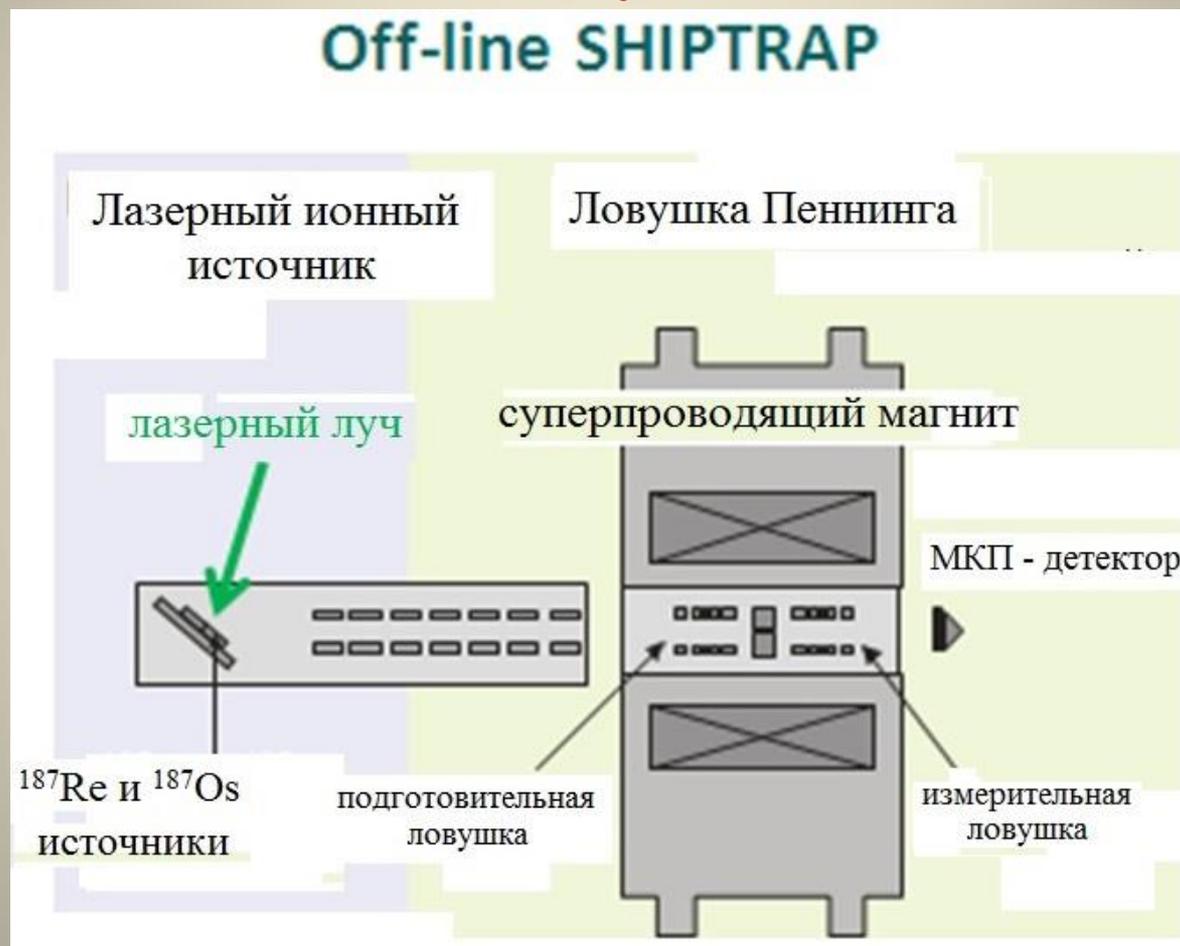


# Относительная точность масс в ловушке SHIPTRAP по годам и физическим задачам

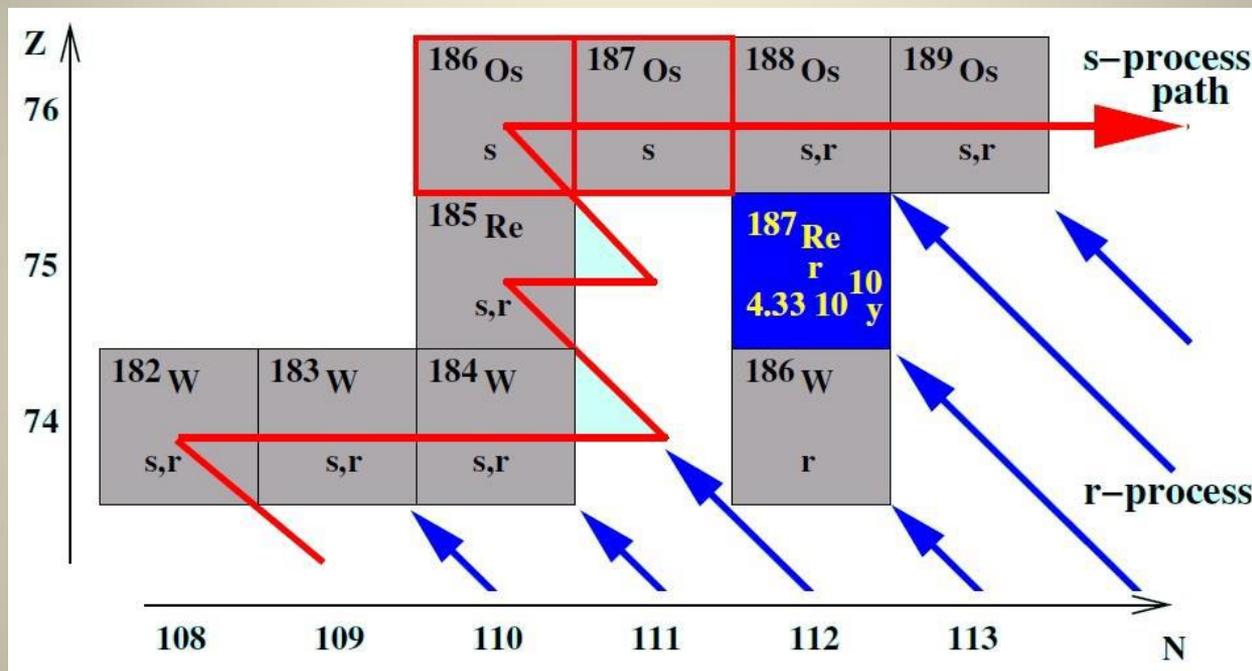
2006 г.	2008 г.	2011-2012 г.	2014 г.
$2 \times 10^{-8}$	$10^{-8}$	$2 \times 10^{-9}$	$2 \times 10^{-10}$
запуск	массы Сверхтяжёлых	Двойной электронный захват	QED, космохронология, свойства нейтрино

**Измерение разности масс  $^{187}\text{Re}$ -  
 $^{187}\text{Os}$  и космохронология**

# Схема экспериментальной установки на базе ионной ловушки SHIPTRAP



# Астрофизические пути образования нуклидов $^{187}\text{Re}$ и $^{187}\text{Os}$

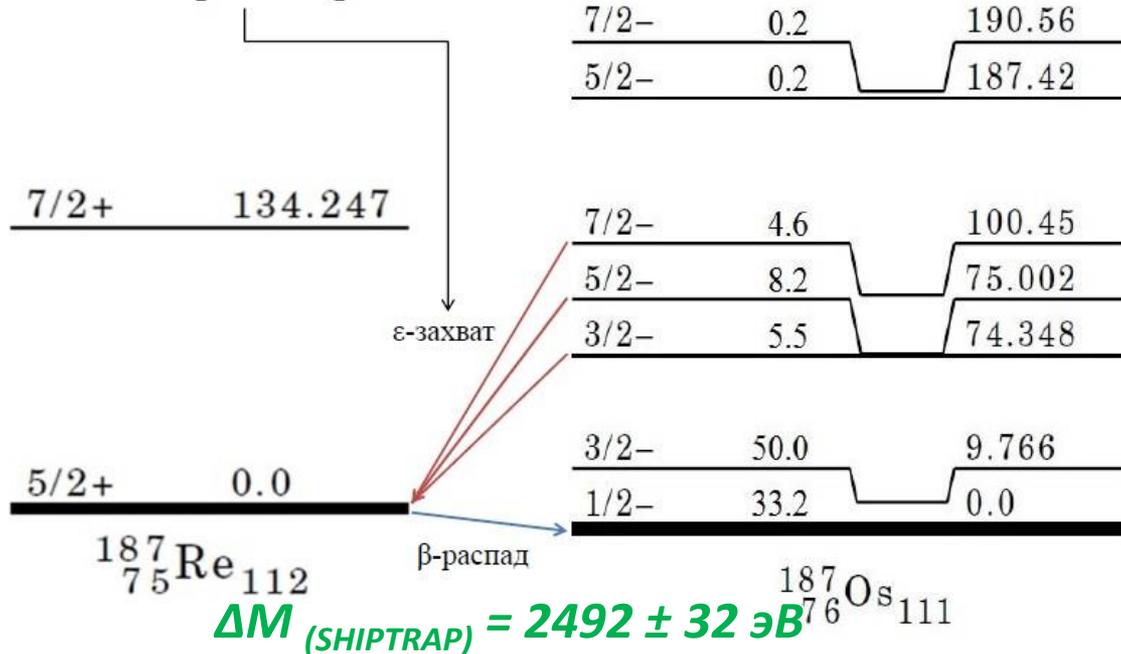


# Термическая заселённость, $P_i$ , уровней $^{187}\text{Os}$ в звёздных условиях

Энергетические уровни в ядрах  $^{187}\text{Re}$  и  $^{187}\text{Os}$

$$kT = 30 \text{ кэВ}, T = 3.5 \cdot 10^8 \text{ К}$$

До сих пор возможность  $\epsilon$ -захвата не рассматривалась



**Измерение массы  $^{48}\text{Ca}$  и эффекты  
QED в изотоп-сдвиге g-факторов**

# Эффекты QED в изотопическом сдвиге g-факторов высокозарядных ионов $^{40}\text{Ca}^{37+}$ - $^{48}\text{Ca}^{37+}$

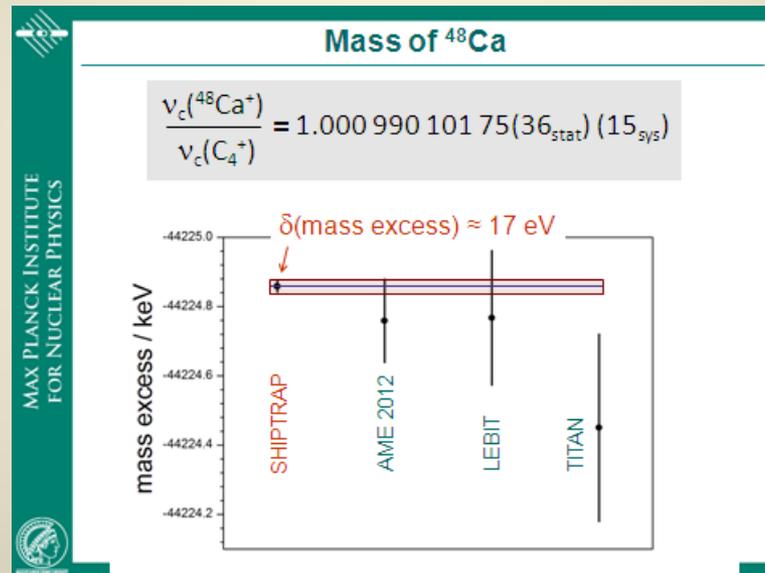
- Эффект QED вне рамок приближения внешнего поля (картина Furry) составляет 1% от изотоп-сдвига g-факторов, абсолютное значение которого ожидается на уровне  $10^{-8}$  (В. Шабаев).
- Величина g-фактора иона, измеренного в ловушке по Ларморовской прецессии  $\omega_L$ , зависит от массы  $M$  и заряда  $q$  иона:

$$g_{\text{exp}} = 2(\omega_L/\omega_c)(m_e/M)(q/|e|).$$

При  $N_e \ll Z$  g-фактор иона примерно равен g-фактору связанного электрона.

- Для обнаружения эффектов вне стандартной QED для связанных состояний в сильном магнитном поле требуется знание массы  $^{48}\text{Ca}$  на уровне относительной точности  $10^{-10}$ .
- В измерениях на SHIPTRAP масса  $^{48}\text{Ca}$  за двухнедельную экспозицию была определена с точностью  $3 \times 10^{-10}$ . Полученное абсолютное значение точности 17 эВ на порядок величины превосходит известное из литературы.

# Значение массы $^{48}\text{Ca}$ , измеренное на SHIPTRAP, в сравнении с литературными данными



# Заключение

- Внедрён принципиально новый метод фазового анализа резонансной частоты, который позволил достичь беспрецедентного уровня точности измерения масс на установке SHIPTRAP ( $2 \times 10^{-10}$ ), превосходящей на один порядок величины точности существующих аналогичных ионных ловушек
- Это позволяет выйти на новый уровень решения фундаментальных задач:
  - ❖ **проверку QED для высокозарядных ионов в сильном магнитном поле,**
  - ❖ **космохронологию,**
  - ❖ **физику нейтрино**

В 2014 г. была начата серия экспериментов, посвященных этим новым направлениям в проекте SHIPTRAP. Измерены массы  $^{187}\text{Re}$ ,  $^{187}\text{Os}$  (космохронология) и  $^{48}\text{Ca}$  (тест QED).

В 2015 г. эксперименты будут продолжены.

# Участники работы

**S.A. Eliseev<sup>1,4</sup>, K. Blaum<sup>1, 2</sup>, M. Block<sup>3</sup>, S.V. Chenmarev<sup>4,5</sup>, P.E. Filianin<sup>4,5</sup>, M.V. Goncharov<sup>1</sup>, A. Dörr<sup>1</sup>, C.Droese<sup>6</sup>, D.A. Nesterenko<sup>4</sup>, Yu.N. Novikov<sup>4,5</sup>, E. Minaya Ramirez<sup>3</sup>, V.M. Shabaev<sup>5</sup>, L. Schweikhard<sup>6</sup>, I.I. Tupitsyn<sup>5</sup>**

1 *Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg, Germany*

2 *Physikalisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität, 69120 Heidelberg, Germany*

3 *GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt, Germany*

4 *PNPI, Gatchina, 188300 St. Petersburg, Russia*

5 *Department of Physics, St. Petersburg State University, 198504 St. Petersburg, Russia*

6 *Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität, 17487 Greifswald, Germany*

**Thanks to K. Blaum (MPIK) and M. Block (GSI) for collaboration, support and hospitality**

# Публикации ЛФЭЯ в 2014 г.

(в числе авторов указаны преимущественно сотрудники ПИЯФ),

Mainly PNPI co-authors are shown

1. S.Eliseev, D.Nesterenko, Yu. Novikov et al.. "A phase-imaging technique for cyclotron-frequency measurements". Appl. Phys. **B 114** (2014) 107-128.
2. P. Filianin, S. Eliseev, YuNovikov et al.. "On the keV sterile neutrino search in electron capture" J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **41** (2014) 095004.,
3. J.D. Vergados and Yu.N. Novikov. "Prospects of detection of relic antineutrinos by resonant absorption in electron capturing nuclei". J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **41** (2014) 125001.
4. D. Nesterenko, S. Eliseev, Yu. Novikov, P. Filianin, S. Chenmarev et al.. "Direct determination of the atomic mass difference of  $^{187}\text{Re}$  and  $^{187}\text{Os}$  for neutrino physics and cosmochronology". Phys. Rev. **C 90** (2014) 042501.
5. K. Blaum, S. Eliseev, Yu. Novikov et al.. "Electron capture  $^{163}\text{Ho}$ -experiment ECHO". J. Low Temp. Phys. **176** (2014) 876-884.
6. Ю.И. Гусев, В.С. Гусельников и др. «Проект ПИТРАП: ионные ловушки Пеннинга на реакторе ПИК». Препринт ПИЯФ-2960 (2014) 43 с.

## Выступления, премии

- Приглашённые доклады на конференциях в Тренто (Италия), Истамбуле (Турция), Такаматцу (Япония), нескольких конференциях в Германии (С. Елисеев).
- Один доклад (Д. Нестеренко) и три постера (М. Смирнов, С. Ченмарёв и П. Филянин) на Конференции Молодых Учёных и Специалистов КМУС-2014 в ПИЯФ.

Вторая премия за доклад Д. Нестеренко на КМУС об измерении масс свертяжёлых нуклидов на SHIPTRAP.

**СПАСИБО !**

**Всем здоровья и успехов  
в 2015 г.**