

**Эксперименты с ионными ловушками:
SHIPTRAP, PENTATRAP, JUFELTRAP
в 2021 году**

Ю.Н. Новиков



Лаборатория Физики Экзотических Ядер

Сессия Учёного Совета ОФВЭ ПИЯФ,

22 декабря 2021 г.

Активное многолетнее сотрудничество в
европейских проектах:

SHIPTRAP – тяжеловес

PENTATRAP – ювелир

JYFLTRAP - многостаночник

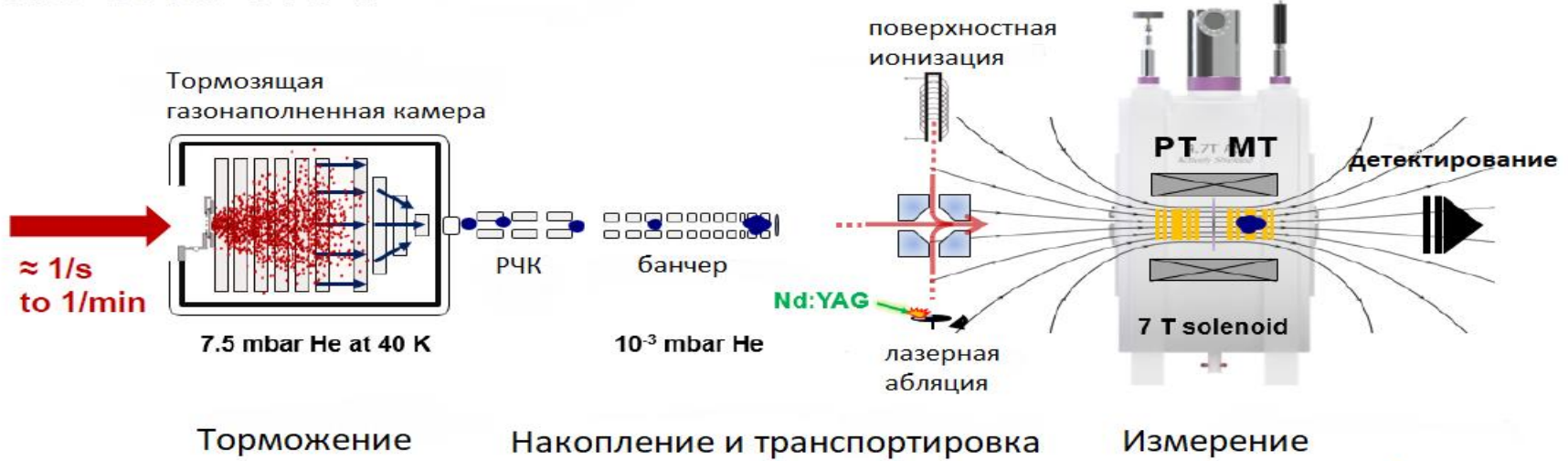
SHIPTRAP

GSI/FAIR, ДАРМШТАДТ, ГЕРМАНИЯ

**Он-лайн «сверхтяжёлый» эксперимент
на модернизированной системе
SHIPTRAP**

Модифицированная система SHIPTRAP

The SHIPTRAP



Courtesy of O.Kaleja

≈ 40 МэВ

≈ 7 метров

≈ 1 эВ

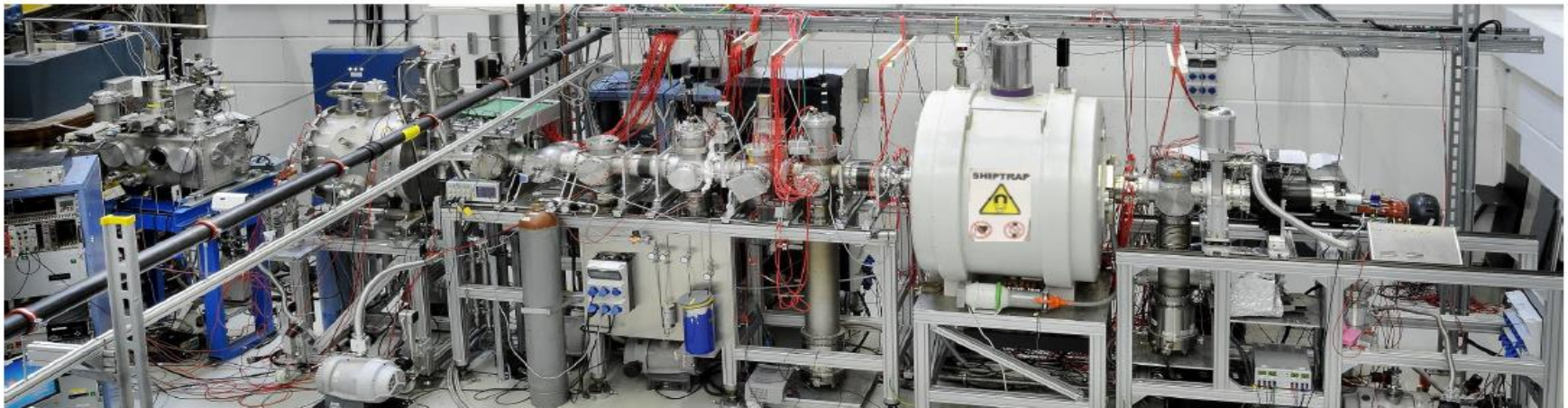
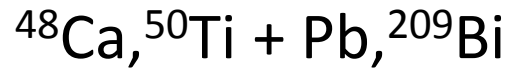


Photo: G. Otto, GSI

Эксперименты на SHIPTRAP в 2021 г.

Он-лайн сеанс в апреле-мае



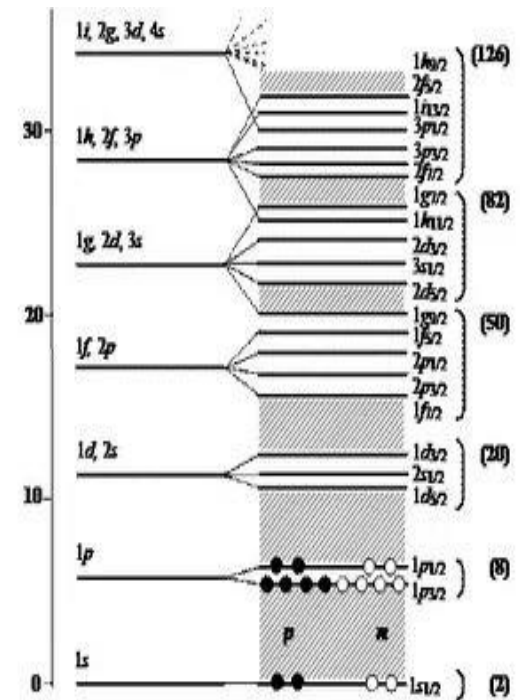
1) Поиск долгоживущих изомерных состояний в области трансуранов, включая сверхтяжёлые

→ *эльдорадо изомерии?*

- В сверхтяжёлых хорошо работает оболочечная модель, а при большом числе нуклонов в них заполняются орбиты с большими спинами, которые энергетически «перемешиваются» с малыми спинами, порождая изомерию

Измерены массы изомеров в диапазоне $Z = 82-105$, в том числе $^{251m, 254m}\text{No}$ ($Z = 102$), ^{254m}Lr ($Z = 103$), ^{257m}Rf ($Z = 104$), и ^{258m}Db ($Z = 105$)

- Структура оболочечных уровней



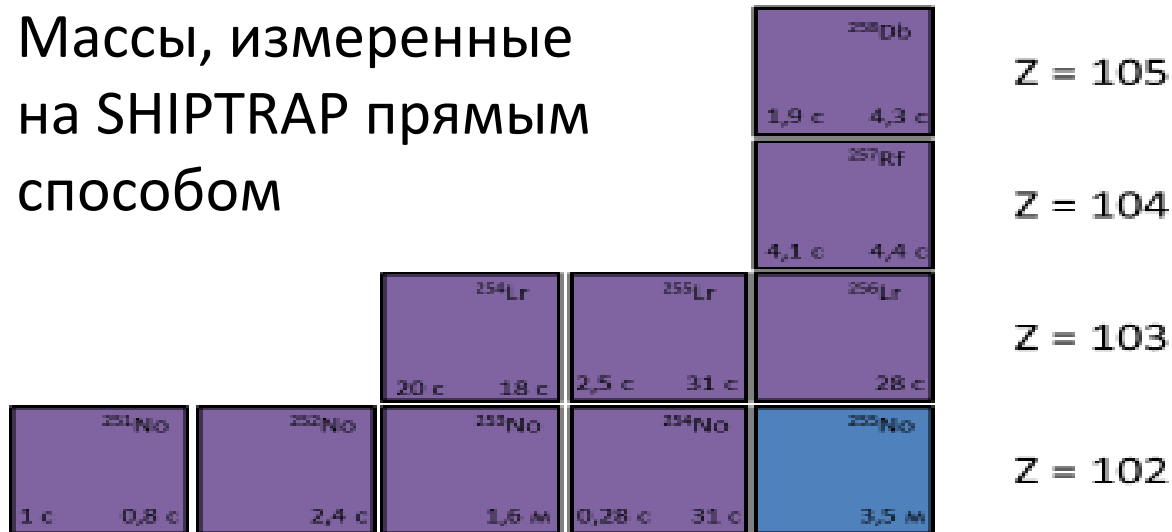
Эксперименты на SHIPTRAP в 2021 г.

Он-лайн сеанс в апреле-мае

2) Дальнейшее продвижение в terra incognita массовой области
Сверхтяжёлых элементов
ИНФОРМАЦИЯ ОБРАБАТЫВАЕТСЯ

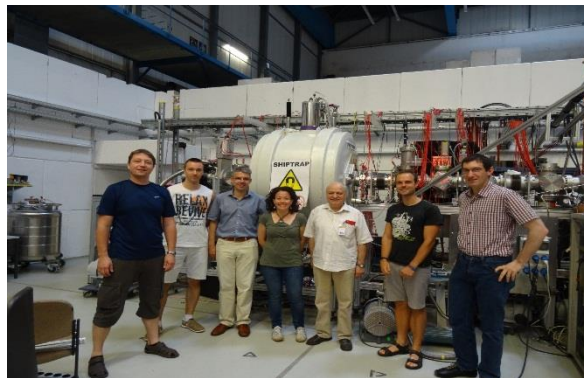
Масса ^{258}Db - самая тяжёлая из известных
когда-либо измеренных масс.

Массы, измеренные
на SHIPTRAP прямым
способом





Участники и институты коллаборации SHIPTRAP



B. Anđelic, K. Blaum, M. Block, **O. Bezrodnova**, **S. Chenmarev**, P. Chhetri, C. Droese, Ch. Düllmann, M. Eibach, J. Even, **S. Eliseev**, **P. Filianin**, F. Giacoppo, S. Götz, **Yu. Gusev**, M. Gutiérrez, F. Herfurth, F.-P. Hessberger, N. Kalantar-Nayestanaki, O. Kaleja, J. Khuyagbaatar, J. Van de Laar, M. Laatiaoui, S. Lohse, E. Minaya Ramirez, A. Mistry, T. Murböck, **Yu. Nechiporenko**, **Yu. Novikov**, S. Raeder, D. Rodriguez, F. Schneider, L. Schweikhard, P. Thiorlf and A. Yakushev



*GSI Darmstadt, Helmholtz-Institut Mainz, JGU Mainz, IPN Orsay, KVI-CART, LMU München, MPIK Heidelberg, **PNPI KI Gatchina**, **SPbSU St. Petersburg**, TU Darmstadt, Universität Greifswal, Univ. de Granada*





РЕНТАТРАР

ИНСТИТУТ МАКСА ПЛАНКА ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ
ГЕЙДЕЛЬБЕРГ, ГЕРМАНИЯ
(*PROF.DR. KLAUS BLAUM*)

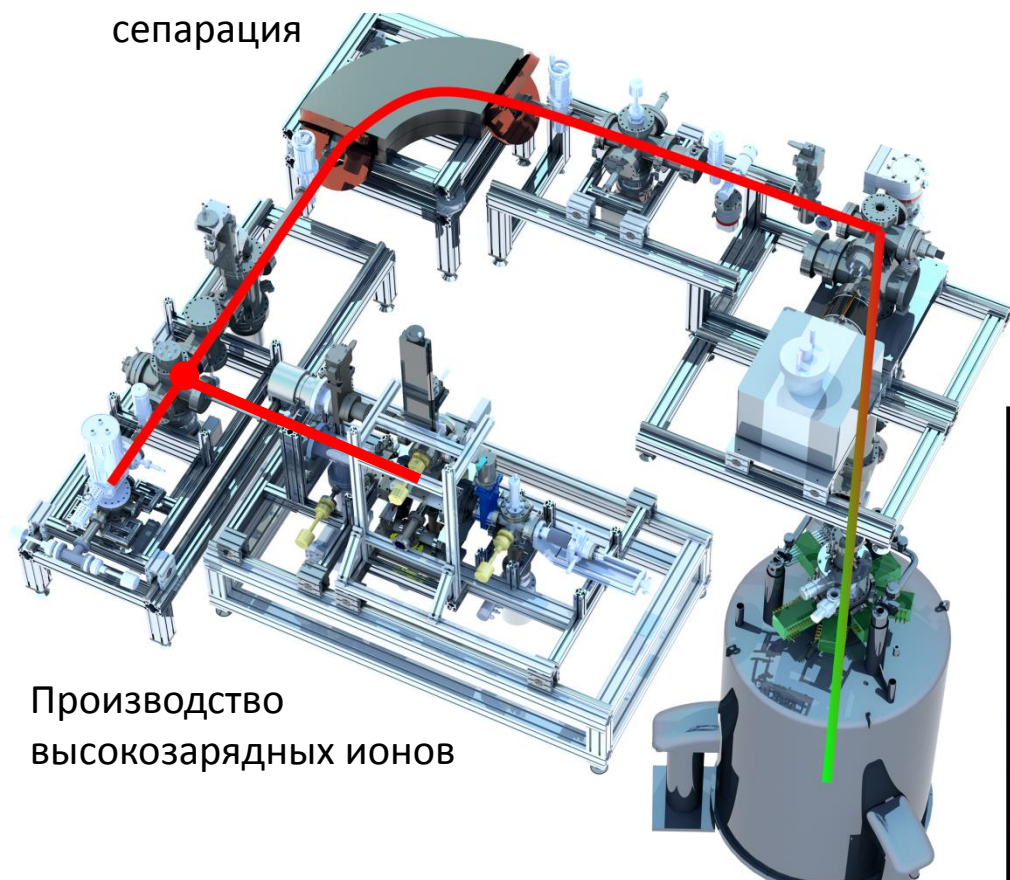


«БАШНЯ» ИЗ ПЯТИ ИОННЫХ ЛОВУШЕК ПЕННИНГА



Высокоспиновая высокоэнергетичная атомная изомерия

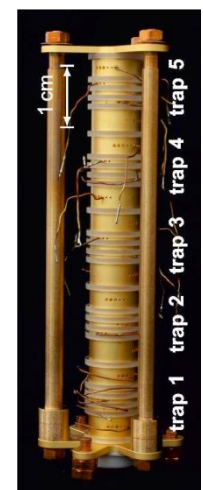
Предварительная масс-сепарация



Производство высокозарядных ионов

Измерение масс в ловушке Пеннинга

Необходимость подтверждения наблюдаемого эффекта в других нуклидах, помимо ^{187}Re , Os (где $E \approx 200 \pm 1$ эВ) с аналогичными изоэлектронными состояниями



Тандем из 5 ловушек

Подготовка поиска кандидатов с энергией метастабильного состояния около одного-двух десятков эВ

Ультрапрецизионные измерения энергий распада «нейтринных» нуклидов на PENTATRAP (2021 г.)

1) Определённая разница масс

$$Q \equiv M(^{187}\text{Re}) - M(^{187}\text{Os}) = 2471 \pm 1 \text{ эВ}$$

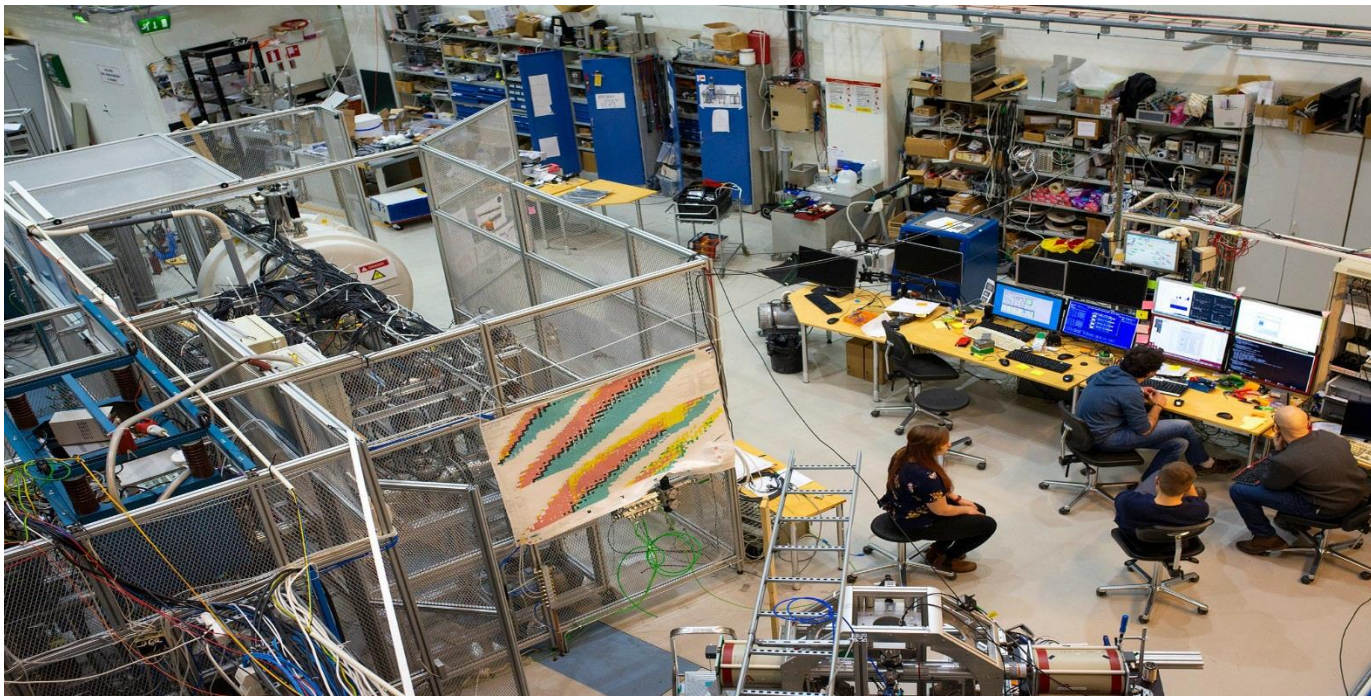
P. Filianin et al. Phys. Rev. Lett. 127, 072502 (2021)

2) Измеренная разница масс

$$Q^* \equiv M^*(^{163}\text{Ho}) - M^*(^{163}\text{Dy}) \text{ с точностью } 1 \text{ эВ}$$

Эта разность масс входит как один из основных параметров в спектр разрядки атомного состояния после испускания нейтрино в результате захвата электрона ядром. Другим параметром является искомая эффективная масса покоя нейтрино.

Этот спектр разрядки атома измеряется методом криогенной микрокалориметрии коллаборацией ЕСНО, в которую входит группа PENTATRAP. Пилотный эксперимент два года назад дал оценку на эффективную массу нейтрино $< 150 \text{ эВ}$.



ЮФЛТРАР

УНИВЕРСИТЕТ ЮВЯСКЮЛЯ, ФИНЛЯНДИЯ

**ЭНЕРГИЯ ВИРТУАЛЬНО СТАБИЛЬНОГО
ИЗОМЕРА ^{180m}Ta – МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ОБЪЕКТА ЯДЕРНОГО МИРА**

Высокоточные измерения разности масс ^{180m}Ta и ^{180}Ta на JYFLTRAP (Jyväskylä)



Изотоп тантала с массовым числом $A=180$, единственный в своём роде, представлен долгоживущим изомером в смеси элементов в природе (0.012%) Однако точных данных о его свойствах нет:

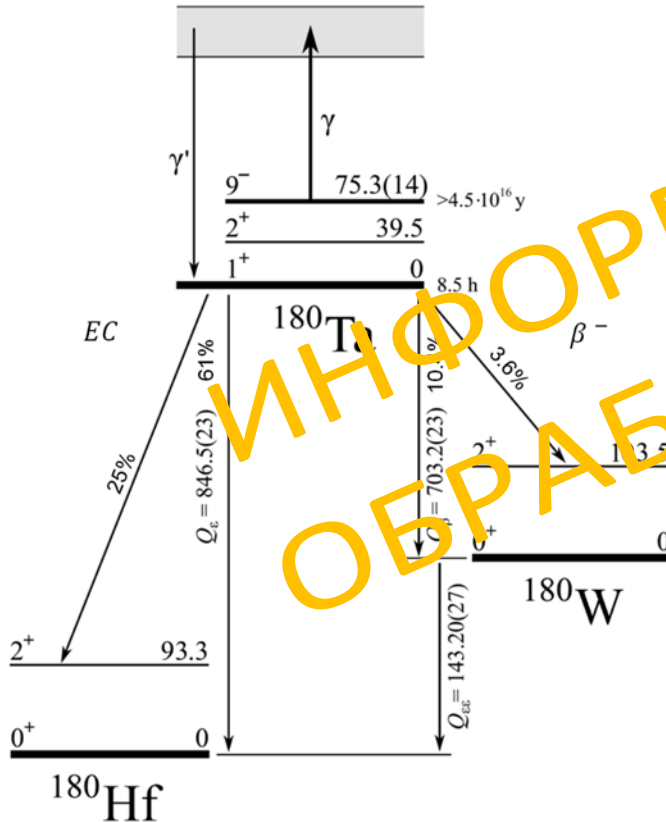
$T_{1/2} > 4 \times 10^{16}$ лет и энергия 75 - 82 кэВ

С 17 по 20 декабря 2021 г. состоялся экспериментальный сеанс. Оба состояния были произведены в реакции $^{181}\text{Ta}(pd)^{180m,180}\text{Ta}$.

Что интересен изотоп ^{180m}Ta ?

аккумулятор энергии (в 10 мг в сумме содержится 5MJ, которые за 100ns выделяют 4 TW мощности)

- Изотоп-узловой участник астрофизического s-процесса
- Изотоп можно использовать как естественную мишень для регистрации тёмной материи
- Гамма-лазер?



Публикации в 2021 г.

1. J. Herkenhoff et al.,
[“A digital feedback system for advanced ion manipulation techniques in Penning traps”](#),
 Rev. Scient. Instr. 92 (2021) 103201
2. P. Filianin et al.,
[”Direct Q -Value Determination of the \$\beta\$ - Decay of Re 187](#)
 Phys. Rev. Lett. 127 (2021) 072502
3. K. Blaum, S. Eliseev, S. Sturm,
[“ Perspectives on testing fundamental physics with highly charged ions in Penning traps“](#),
[Quantum Science and Technology](#) 6 (2021) 014002
4. Yu.N. Novikov and V.I. Zhrebchevsky. “Nucleodemic” meeting NUCLEUS-2020. Nucl.Phys.News 31 №.1 (2021) 34-35
5. Ю.Н. Новиков. [«Прямое экспериментальное обнаружение нового явления высокоэнергетичной атомной изомерии»](#). Сборник «Наука СПбГУ-2020» Всероссийской конференции, С.Петербург, 2021, с.382
6. I Guseva, A. Gagarski, F. Gönnewein, and Y. Gusev
[“Dependence of the ROT effect on the energy of different light charged particles and on the incident neutron energy”](#)
 EPJ Web of Conferences 256, 00006 (2021)
7. D.A. Nesterenko, et al.
[“Study of radial motion phase advance during motion excitations in a Penning trap and accuracy of JYFLTRAP mass spectrometer”](#),
 Eur. Phys. J. A 57, 302 (2021).

Заключение

А) 2021 г. был урожайным в получении экспериментальной информации по трём международным проектам:

- **SHIPTRAP**- новым массам сверхтяжёлых ^{257}Rf и ^{258}Db ,
- **PENTATRAP** - ультрапрецизионным энергиям распада «нейтринных» нуклидов ^{187}Re и ^{163}Ho ,
- **JYFLTRAP** - энергии возбуждения виртуально стабильного $^{180\text{m}}\text{Ta}$.

Б) Полученная информация обрабатывается.

В) 7 публикаций за 2021 г.

Г) Получен грант РФФ

Д) Получена первая премия на конкурсе работ
ПИЯФ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ
Всем счастливого
Нового Года