

ПРОЕКТ ПИТРАП в 2021 году

Ю.Н. Новиков



Лаборатория Физики Экзотических Ядер

Сессия Учёного Совета ОФВЭ ПИЯФ,

27 декабря 2021 г.

МОТИВАЦИЯ проекта ПИТРАП

- Реактор ПИК производит высокий поток нейтронов
- Мишень вблизи активной зоны позволит получить продукты деления
- В делении с наибольшим сечением образуются нейтроноизбыточные нуклиды. На реакторе ПИК ожидаются экзотические нуклиды с большой асимметрией числа нейтронов к протонам
- Число таких экзотических нуклидов, среди которых большинство неизвестных, достигает нескольких тысяч
- Сколько их и где располагается граница устойчивости? Ответ кроется в определении ландшафта МАСС нуклидов
- Ландшафт МАСС позволит определить степень участия нейтроноизбыточных нуклидов во взрывном процессе в астрофизике
- Ландшафт масс нуклидов наилучшим образом может быть измерен ионной ловушкой – прибором с беспрецедентной чувствительностью

Выделенность проекта ПИТРАП

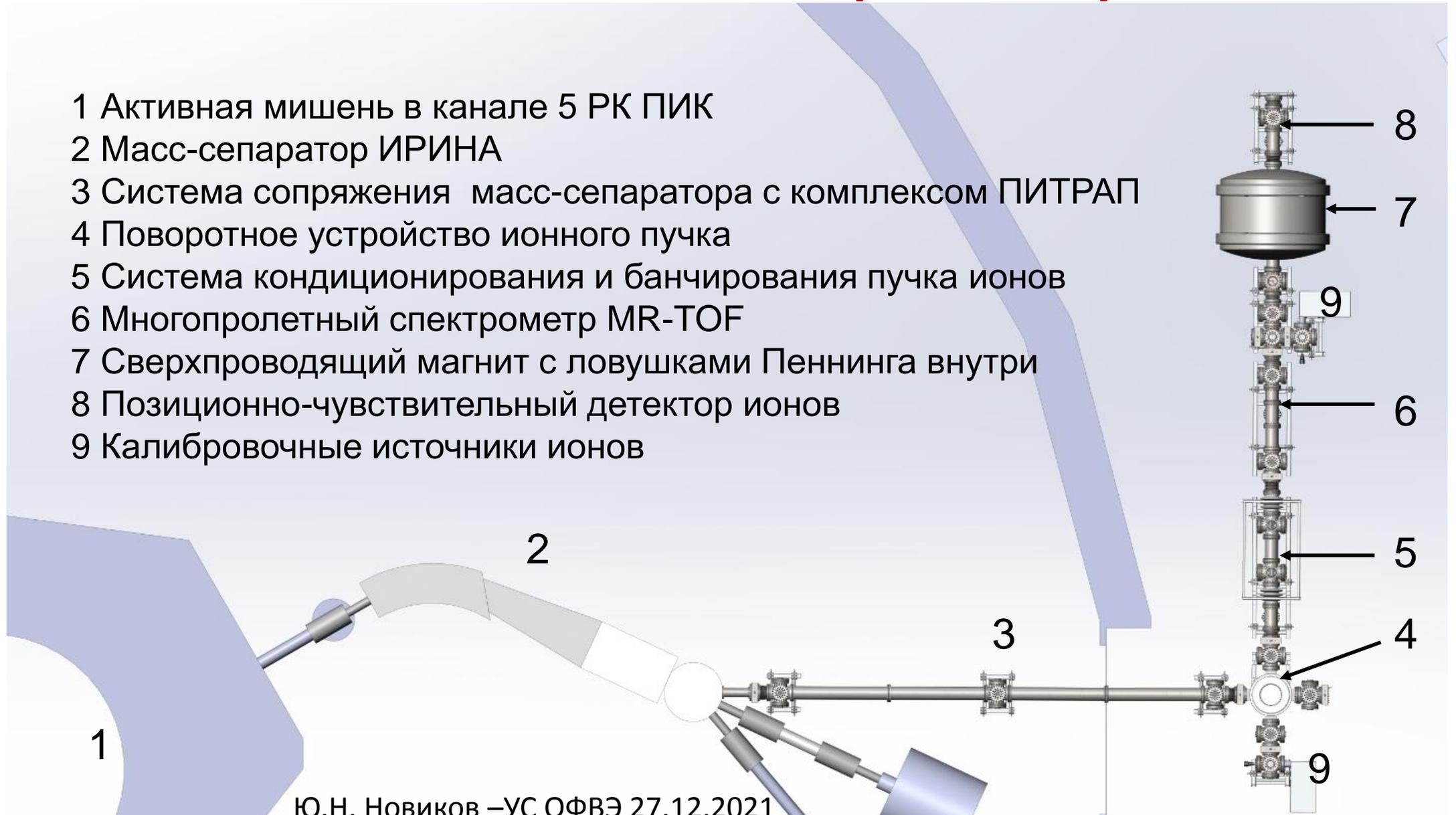
- СИНЕРГИЯ в получении экзотических ядер:

высокий поток нейтронов → высочайшая чувствительность регистрации нуклидов ловушкой

- В мире НЕТ АНАЛОГОВ проекта с ловушкой на реакторе
- Ионных ловушек Пеннинга в России НЕТ
- Лаборатория Физики Экзотических Ядер, предлагающая проект ПИТРАП, приобрела за рубежом большой опыт работы с различными ионными ловушками

Комплекс ПИТРАП на реакторе ПИК

- 1 Активная мишень в канале 5 РК ПИК
- 2 Масс-сепаратор ИРИНА
- 3 Система сопряжения масс-сепаратора с комплексом ПИТРАП
- 4 Поворотное устройство ионного пучка
- 5 Система кондиционирования и банчирования пучка ионов
- 6 Многопролетный спектрометр MR-TOF
- 7 Сверхпроводящий магнит с ловушками Пеннинга внутри
- 8 Позиционно-чувствительный детектор ионов
- 9 Калибровочные источники ионов



Функциональная направленность проекта ПИТРАП

Система ПИТРАП может быть использована в трёх режимах работы:

- Он-лайн с ионным пучком масс-сепаратора ИРИНА,
- Он-лайн с продуктами реакций, поставляемых пневматическим носителем,
- Офф-лайн измерения долгоживущих продуктов, наработанных в каналах реактора

Комплекс физических задач причисляет проект к работам в статусе ***земной лаборатории астрофизических процессов***

ДОКУМЕНТАЦИЯ-ПУБЛИКАЦИИ

Nucleus 2020

Меморандум о намерениях

Создание комплекса ионных ловушек на базовых установках ПИЯФ НИЦ КИ. Проект ПИТРАП (PITRAP)

Аннотация. Метод ионных ловушек Пеннинга становится универсальным в решении целого ряда фундаментальных физических проблем. В последние годы они успешно используются в атомной масс-спектрометрии и по точности получаемых результатов не имеют себе равных. Установленные на вторичных пучках базовых установок (реакторе ПИК и/или изохронном циклотроне ПИЯФ) они могут быть использованы для прямых измерений масс экзотических нуклидов, принимающих участие в различных астрофизических процессах. В то же время, используемая в автономном режиме вне пучка, ловушка позволит проводить измерения с долгоживущими и стабильными нуклидами для целей атомной, ядерной и нейтринной физики. Настоящий многопрофильный проект ставит целью восполнить имеющийся в России пробел привлечением сотрудников ПИЯФ, накопивших большой многолетний опыт работы с ловушками за рубежом. Успешной реализации проекта, в которой существенное место отводится приобретенно импортного оборудования, будет способствовать широкое сотрудничество с действующими зарубежными группами из институтов Макса Планка в Гейдельберге и ГСИ объединения Гельмгольца. Полная оценочная стоимость проекта составляет 195 Млн. Рублей за 8 лет.

УДК 621.384.8

ПРОЕКТ ПИТРАП: ИОННЫЕ ЛОВУШКИ ПЕННИНГА НА РЕАКТОРЕ ПИК THE PITRAP PROJECT: THE PENNING ION TRAPS AT THE REACTOR PIK

Ю.И. Гусев, В.С. Гусельников, С.А. Елисеев, Т.В. Ковалева,
Д.А. Нестеренко, Ю.Н. Новиков, А.В. Попов, М.В. Смирнов,
П.Е. Филантин, С.В. Чеммарев

Abstract

The project PITRAP (Petersburg Institute TRAP) is dedicated to investigation of various fundamental physics problems by means of ion traps. Being installed at the beams of products of the PIK-reactor, the ion traps can be used in the on-line regime for direct high precision mass measurements of exotic nuclides, those that take part in various nuclear and astrophysical processes. At the same time, in the off-line regime the proposed traps can be targeted to measurements of long-lived and stable nuclides for the purposes of atomic, nuclear, and neutrino physics, as well as of the other fields of science.

The work has been performed at the High Energy Physics Department (LPEN).

Аннотация

Проект ПИТРАП (PITRAP – Petersburg Institute TRAP) предполагает разноплановое использование ионных ловушек Пеннинга для решения фундаментальных физических задач. Установленные на вторичном пучке от реактора ПИК ионные ловушки могут быть использованы для прямых высокопрецизионных измерений масс экзотических нуклидов, принимающих участие в различных ядерных и астрофизических процессах. В то же время, используемые в автономном режиме вне пучка, ловушки позволят проводить измерения с долгоживущими и стабильными нуклидами для целей атомной, ядерной и нейтринной физики, а также других областей науки.

Работа выполнена в Отделении Физики Высоких Энергий (ИФЭЯ).

© ФГБУ «ПИЯФ» НИЦ «Курчатовский институт», 2014

ПИТРАП



STATUS OF THE PITRAP PROJECT – THE PENNING TRAP AT THE REACTOR PIK

Gusev Yu.I.¹, Novikov Yu.N.^{1,2}, Chemmarev S.V.^{1,3,4}
¹Petersburg Nuclear Physics Institute, NRC “Kurchatov Institute”, Gatchina, Russia;
²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;
³Helmholtz Institute Mainz, Mainz, Germany;
⁴GSI Helmholtz Zentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt, Germany
E-mail: novikov@pnpi.nrcki.ru

It is expected that PIK reactor, being a powerful source of neutrons, will be able to produce exotic neutron-rich nuclides in quantities greater than ever achievable or expected at other planned facilities. If one uses extremely sensitive equipment, synergy can be achieved in the study of the properties of nuclides, including as yet unknown ones. Such extraordinary sensitivity on the level of single nuclide can be received by the Penning traps [1]. The PITRAP project proposes to install such a trap on-line with a beam of nuclides formed during the fission of uranium target by neutrons. The system should be dedicated to measure the masses (total binding energies of nuclides) in order to reproduce the experimental mass landscape which will give an information concerning the real pathways of astrophysical s- and r-processes.

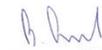
Fission products are formed in the uranium target located near the reactor core. The hot target connected with the ion source of the mass separator IRINA is under consideration. The separated ion beam is directed to the ion trap system which includes the RFQ cooler/buncher and a multiple reflection TOF unit, which can be considered as an additional mass separator that allows determining masses with an accuracy of 10^{-7} in an independent mode.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова»

УДК 621.384.8

Изм. № 2-310


Утверждаю
Научный руководитель ФГБУ «ПИЯФ» В.Л. Аксенов

« 9 » XI 2016г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОНСТРУКТОРСКОЙ РАБОТЕ

«Приборная база лабораторного комплекса РК ПИК»

по теме:

«Установка ПИТРАП - комплекс ионных ловушек ПИЯФ на горизонтальном экспериментальном канале № 6» РК ПИК для прецизионной масс-спектрометрии нуклидов»

(проектный)

СОГЛАСОВАНО

Зам. директора по научной работе

Руководитель Отделения ФЭЯ

В.В. Воронин

А.А. Воробьев

Гатчина 2016

Смета проекта ПИТРАП из Меморандума о намерениях (2011 год)



Элемент установки	Цена (тыс. Евро)	Место разработки/ производства
Сверхпроводящий магнит, 7 Тесла	400	Великобритания
Газонаполненный квадруполь с электроникой	200	GSI и MPIK, Германия
время-пролётный спектрометр	250	Greifswald, Германия
детекторные станции:	100	VACOM, PREVAS MPIK, Германия
ионные источники: механика вакуумная камера	200	ПИЯФ, Россия ПИЯФ, Россия
Криостат, электроника для третьего этапа (FT-ICR)	350	несколько фирм, Германия
Распределительный квадруполь: Электроды вакуумная камера	15	ПИЯФ, Россия ПИЯФ, Россия
ионная оптика: электроды вакуумные камеры	100	ПИЯФ, Россия ПИЯФ, Россия
электроника и электрика		CAEN, Италия
вакуумные камеры (сталь 1.4429 ESU)	100	несколько фирм, Германия
сборка электродов ловушек	100	MPIK, Германия
электроника и электрика для ловушек	150	GSI, MPIK/ Германия AGILENT,
вакуумная техника: турбонасосы форвакуумные насосы измерители давления система подачи газа	150	OERLEKON PFEIFFER PFEIFFER, Swagelok
Высоковольтная платформа	50	ПИЯФ, Россия ITEM
сборочная платформа	50	ПИЯФ, Россия ITEM
система стабилизации: температуры и давления в магните	50	ПИЯФ, Россия MKS, США
Газонаполненная камера	200	GSI, MPIK/ Германия ПИЯФ

**Полная сумма на оборудование и материалы (по ценам 2011 г):
~ 2465 тыс. Евро**

Модификация проекта в 2020-2021 гг.

- Замена двухкомпонентной ионной ловушки Пеннинга на однокомпонентную, с одним участком высокооднородного магнитного поля. «Комбиловушка» играет как роль очищающей (при заполнении газом), так и измерительной (при откачке газа).

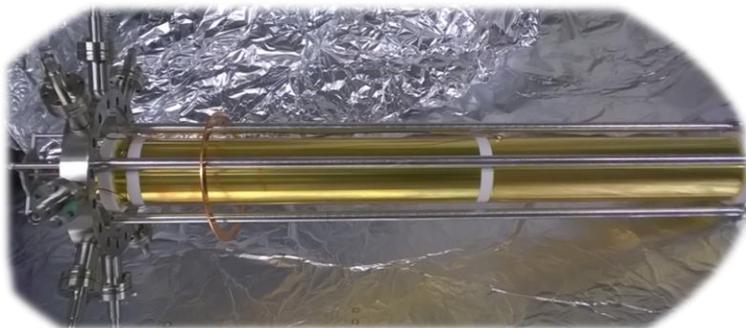
удешевляет проект

- Без ионной ловушки с использованием TOF-мультиотражателя с разрешающей способностью по массам, приводящей к относительной точности определения масс $<10^{-6}$.

существенно удешевляет проект и при этом сохраняет его астрофизический контекст

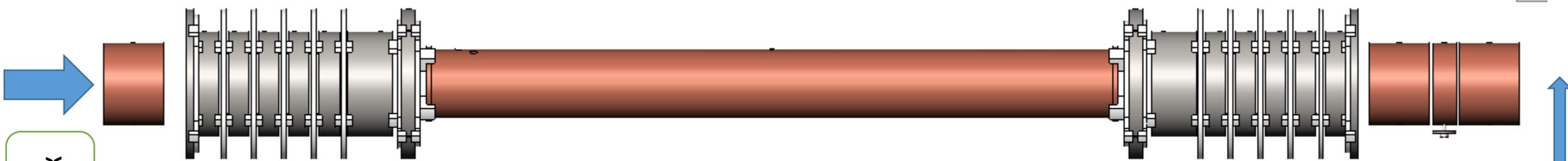
Магнит с одной областью однородности и одной гибридной ловушкой

(в Институте М. Планка в Гейдельберге, отдел проф. К. Блаума)



Конструктивная схема MR-TOF масс-спектрометра.

Внешний вид конструкции MRTOF



Ионный пучок

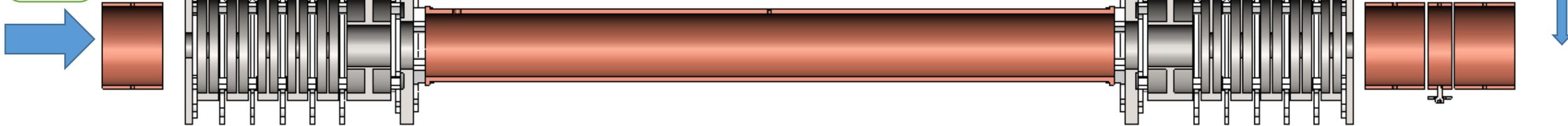
Первое
Ионное
зеркало

Пролетная база

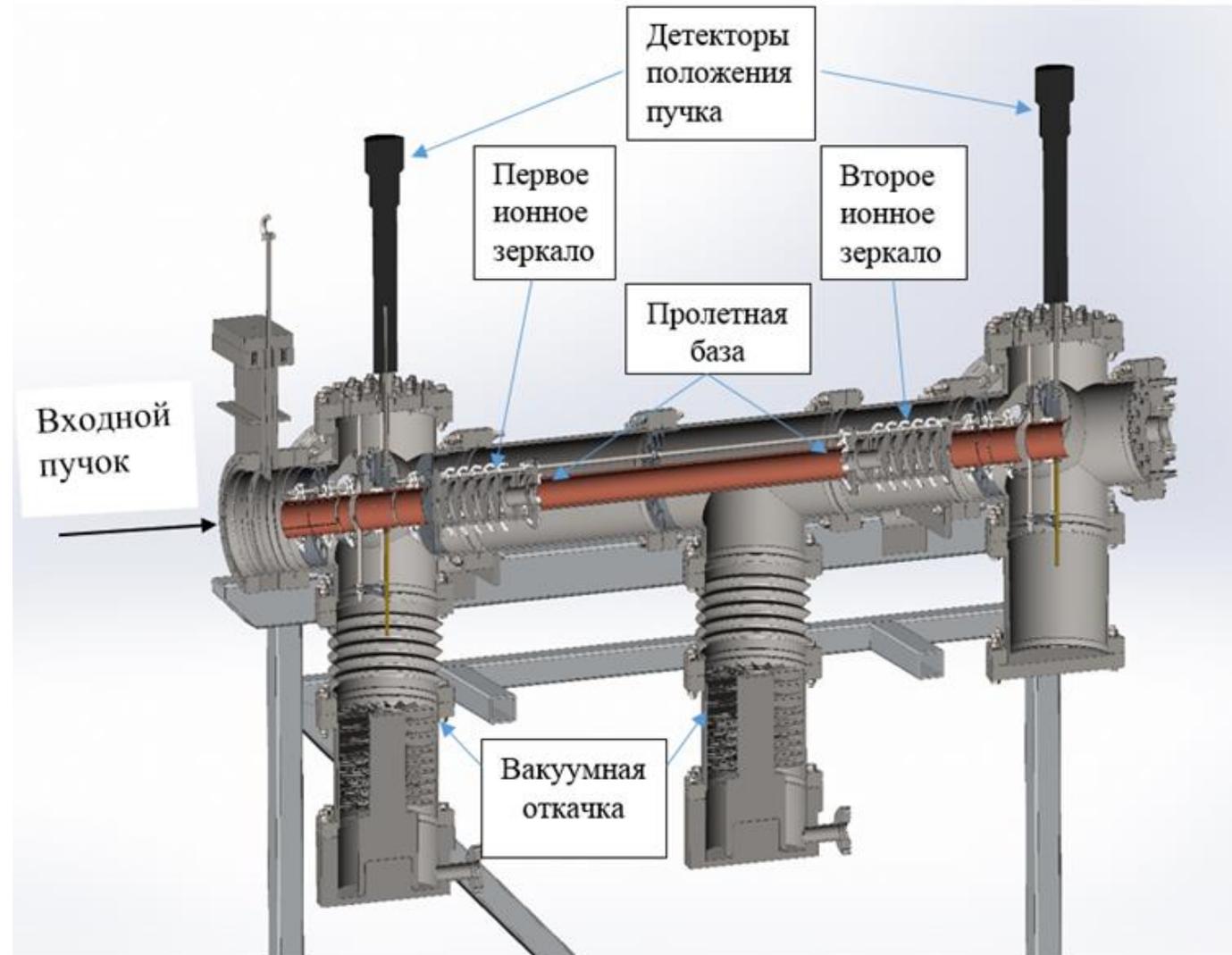
Второе
Ионное
зеркало

Детектор

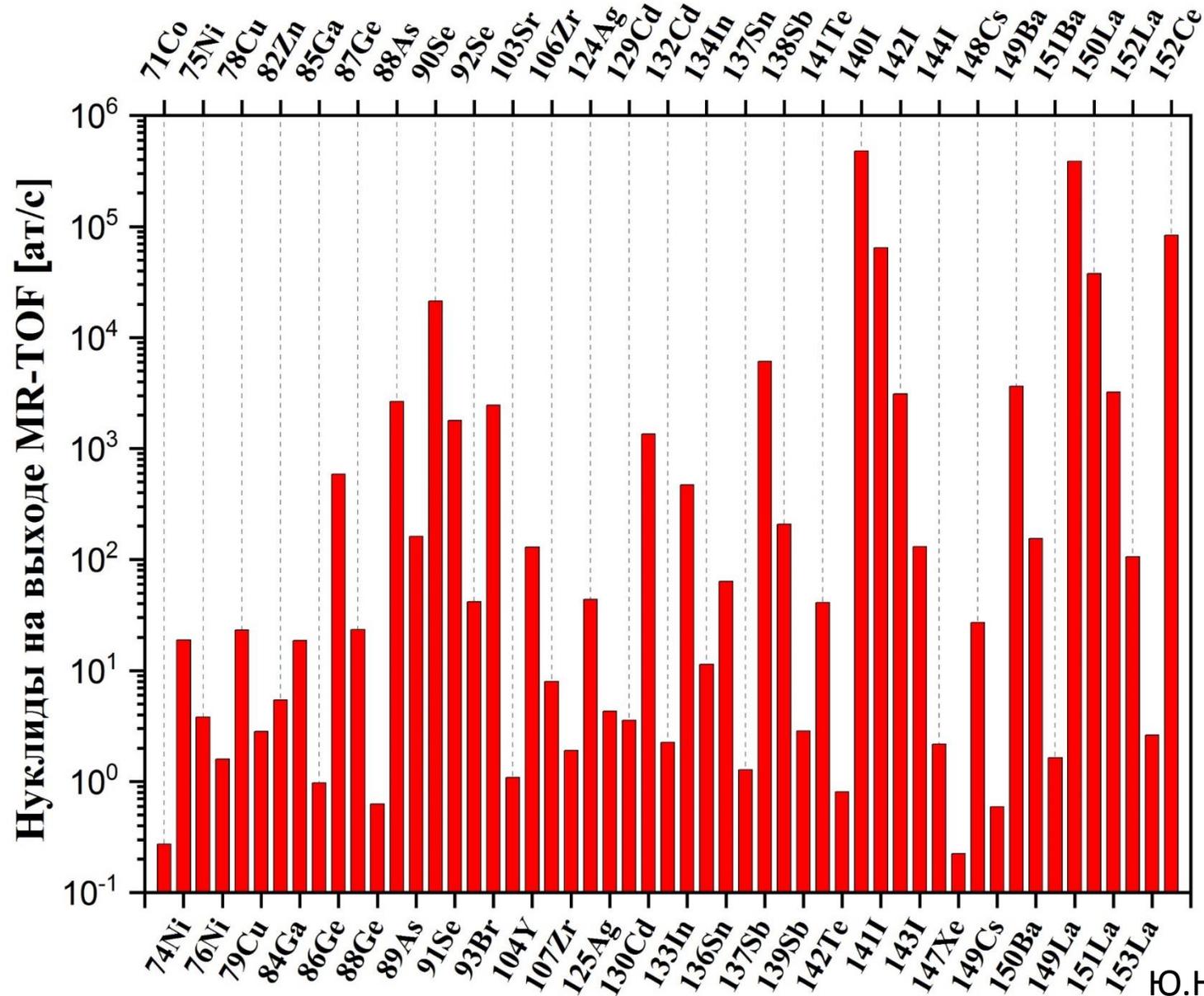
Сечение конструкции MRTOF



Внешний вид MR-TOF масс-спектрометра.



Эффективность ПИТРАП-1 на реакторе ПИК



Оценочные стоимости проектов ПИТРАП и ПИТРАП-1

Область науки	Точность измерения масс	Проект	Оценочная стоимость Проекта
Ядерная физика, астрофизики и др. области знания	10^{-8}	ПИТРАП	Оценка 2011 года: 2465 кЕи Оценка 2019 года : 300000 тыс. руб.
Ядерная физика, астрофизика	$<10^{-7}$	ПИТРАП-1 (комбиловушка)	Оценка 2020 года : 200000-тыс. руб.
	$<10^{-6}$	ПИТРАП-1 (MR-TOF)	100000-120000 тыс.руб.

Апробация проекта ПИТРАП-1 в 2021 г.

- Ю.И. Гусев, С.А. Елисеев и др. «*Проект ПИТРАП-1. Система мультиотражателя на пучке продуктов деления на реакторе ПИК*». Препринт ПИЯФ 3055 (2021) 23 с.
- О.И. Безроднова. «*Ловушка Пеннинга с объединенными функциями очищения и измерения*». Доклад на международной конференции ЯДРО-2021, 24 сентября 2021 г.
- O. Bezrodnova , S. Eliseev , P. Filianin , Yu. Novikov. «*The Penning trap with the combined functions of purification and measurement*». Abstract Intern. Conference NUCLEUS-2021, St.Petersburg, p.239.

**СПАСИБО
за внимание**

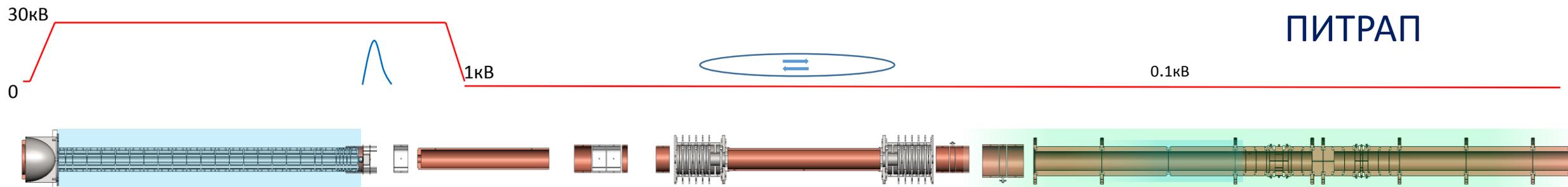
С НОВЫМ ГОДОМ !

BACK UP

Перспективы улучшения параметров масс-спектрометрической системы

Масс-спектрометрическая система	Точность измерения	Используемая схема измерений
ПИТРАП	10^{-7}	Две ловушки в СП-магните с двумя областями однородности магнитного поля
ПИТРАП -1 система на основе MRTOF - спектрометра	$\approx 5 \times 10^{-6}$	Стандартная схема MRTOF - спектрометра
CGIMS -MRTOF спектрометр (concentric-geometry in-MRTOF separation) RIKEN RIBF, (2021)	$< 10^{-6}$	Метод многократной пульсации электродов зеркала, близких к центральной дрейфовой трубке прибора
ПИТРАП -1M	$\approx 5 \times 10^{-7}$	Модифицированная ловушка в СП-магните с одной областью однородности магнитного поля

Схема возможной минимизации Проекта ПИТРАП



ПИТРАП

0.1кВ



Детектор

ПИТРАП-1



Детектор

ПИТРАП-1М

Финансовая динамика проекта ПИТРАП

Смета проекта ПИТРАП из Меморандума о намерениях (2011 год)

Элемент установки	Цена (тыс. Евро)	Место разработки/производства
Сверхпроводящий магнит, 7 Тесла	400	Великобритания
Газонаполненный квадруполь с электронной время-пролетный спектрометр	200	GSI и МРК, Германия
детекторные станции.	100	Greifswald, Германия
ионные источники: механика вакуумная камера	200	VACOM, PREVAC МРК, Германия
Криостат, электроника для третьего этапа (FT-ICR)	350	ПНИЯФ, Россия
Распределительный квадруполь: Электроды вакуумная камера	15	ПНИЯФ, Россия
ионная оптика: электроды вакуумные камеры электроника и электроника	100	ПНИЯФ, Россия
вакуумные камеры (сталь 1.4429 ESU)	100	САЕН, Италия
сборка электродов ловушек	100	несколько фирм, Германия
электроника и электроника для ловушек	150	МРК, Германия
вакуумная техника: турбомассы форвакуумные насосы измерители давления система подачи газа	150	GSI, МРК Германия AGILENT, OERLEKON PFEIFFER, Swagelok
Высоковольтная платформа	50	ПНИЯФ, Россия ПЕМ
сборочная платформа	50	ПНИЯФ, Россия ПЕМ
система стабилизации: температуры и давления в магните	50	ПНИЯФ, Россия МКС, США
Газонаполненная камера	200	GSI, МРК/Германия ПНИЯФ



Полная сумма на оборудование и материалы (по ценам 2011 г): ~ 2465 тыс. Евро

СТРУКТУРА ДОГОВОРНОЙ ЦЕНЫ * проект

по теме: «Разработка ионно-оптической схемы и конструкторской документации как первый этап разработки, изготовления и тестирования много-отражательного времяпролетного масс-спектрометра и сепаратора высокого разрешения для комплекса измерения масс ионов ПИТРАП»

Наименование статей	Цена (тыс. руб.)
1 Материалы	-----
2 Спецоборудование для научных, экспериментальных работ	-----
3 Фонд оплаты труда	45 630,00
4 Начисления на фонд оплаты труда	6 479,46
5 Затраты на работы, выполняемые сторонней организацией и предприятиями	12 000,00
6 Накладные расходы	13 689,900
7 Прочие прямые расходы	2 001,540
8 Итого себестоимость	79 800,00
9 Прибыль	150,00
10 Всего без учета НДС	79 950 000,00

СОГЛАСОВАНО:

ПОДПИСИ:

Генеральный директор ООО «БИАП»

Садовникова О.В.

« » 2020 г.
М.П.

« » 2020 г.
М.П.

* Статьи расходов в структуре контрактной цены могут изменяться по согласованию с Заказчиком.

Проект календарного плана

Тема: «Разработка ионно-оптической схемы и конструкторской документации как первый этап разработки, изготовления и тестирования много-отражательного времяпролетного масс-спектрометра и сепаратора высокого разрешения для комплекса измерения масс ионов ПИТРАП»

Номер этапа (под-этапа)	Наименование этапа (подэтапа) ОКР	Наименование научно-технической продукции, представляемой по этапу (подэтапу) или по ОКР в целом, заказчику	Длительность этапа (подэтапа) (тыс. руб.)
1	2	3	4
1.	Расчет ионно-оптической схемы много-отражательного времяпролетного масс-спектрометра и сепаратора высокого разрешения		18 мес. (36960)
1.1.	Пояснительная записка. Расчет тестового калибровочного источника ионов с электронным ударом	Пояснительная записка. Анонотационный отчет.	3 мес. (6150)
1.2.	Расчет газомольбидной квадрупольной системы охлаждения ионного пучка и системы газомольбидных квадрупольных ловушек для формирования ионных пучков	Анонотационный отчет	6 мес. (12300)
1.3.	Расчет систем транспортировки ионов от квадрупольной ловушки к времяпролетному масс-спектрометру, ионных зеркал и селектора массового диапазона времяпролетного масс-спектрометра. Разработка РКД на калибровочный источник с электронным ударом	Комплект РКД. Анонотационный отчет	6 мес. (12300)
1.4.	Разработка РКД на газомольбидную квадрупольную систему охлаждения ионного пучка и систему газомольбидных квадрупольных ловушек	Итоговый отчет по этапу. Комплект РКД	3 мес. (6150)
2.	Разработка полного комплекта РКД на аналоговую и электронную вычислительную и цифровую части блока сепарации		21 мес. (43050)
2.1.	Разработка РКД на систему транспортировки ионов от квадрупольной ловушки к времяпролетному масс-спектрометру, ионных зеркал и селектора массового диапазона времяпролетного масс-спектрометра	Комплект РКД. Анонотационный отчет.	6 мес. (12300)
2.2.	Разработка РКД на вакуумную систему блока сепарации	Комплект РКД. Анонотационный отчет. Ведомость покупных изделий.	3 мес. (6150)
2.3.	Разработка РКД на электронную вычислительную систему	Комплект РКД. Анонотационный отчет.	6 мес. (12300)

2.4.	Разработка РКД и ПО на электронную цифровую систему управления и регистрации	Комплект РКД и ПО на электронную цифровую систему управления и регистрации	3 мес. (6150)
2.5.	Подготовка отчета по теме.	Комплект РКД на блок сепарации. Ведомость покупных изделий. Отчет по этапу.	3 мес. (6150)

Общая продолжительность разработки: 39 месяцев.
Стоимость 79950 тыс. руб. без учета НДС

Генеральный директор ООО «БИАП»



Садовникова О.В.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук

Политехническая ул., 26, С.-Петербург, 194021
Телефон: (812) 297-2245 Факс: (812) 297-1017
post@mail.ioffe.ru http://www.ioffe.ru

ИНН 7802072267/КПП 780201001
ОКПО 02698463
ОГРН 1037804006998

27.04.2020 № 1117-330/01/11/15
На № 500/1-60/1522
от 17.04.2020

Директору
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ
Горчакову С.Е.
Копия:
Генеральному директору
ЗАО «НПО «Спецпроект»
Кочетову Е.В.

Ответ на запрос ТКП

Коммерческое предложение

Уважаемый Сергей Евгеньевич!

В ответ на Ваш запрос направляем Вам коммерческое предложение на поставку нестандартизированного оборудования: «Ионно оптический тракт и мульти TOF, являющиеся составной частью комплекса ионных ловушек для прецизионной масс-спектрометрии ПИТРАП масс-сепараторного лазерно-ядерного комплекса ИРИНА» для нужд федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (далее НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ) в рамках проекта «Создание приборной базы реакторного комплекса «ПИК»

№ п/п	Наименование	Основные параметры	Количество	Стоимость с учетом НДС 20%, тыс. руб.
1	Ионно оптический тракт и мульти TOF, являющиеся составной частью комплекса ионных ловушек для прецизионной масс-спектрометрии ПИТРАП масс-сепараторного лазерно-ядерного комплекса ИРИНА	Масса габаритные характеристики: масса 400 кг ориентировочно размер 6х1х1,5 м ориентировочно Потребляемая мощность: 4 кВт ориентировочно Подводимые среды: Слаботочные коммуникации	1 (один)	114 000 (сто четырнадцать миллионов рублей 00 коп)

Стоимость нестандартизированного оборудования указана согласно исходным данным Заказчика с учетом закупки оборудования и материалов, доставки, упаковки, а также всех сборов и налогов, в том числе НДС 20% и составляет (сумма) рублей.

В стоимость оборудования не включены заготовительно-складские расходы, монтажные и пусконаладочные работы.

С уважением,

/Руководитель Отделения физики плазмы атомной физики и астрофизики, д.т.н., докт. РАН



А.М. Быков