

Группа физики экзотических ядер

Д.М.Селиверстов

Состав: 22 сотрудника

■ Вед. научный сотр.	2	
■ Ст. научный сотр.	6	1 - 0.5
■ Научный сотрудник	2	
■ Мл. научный сотр.	2	2 - 0.5
■ Вед. инженер	8	2 - 0.5
■ Рабочие	2	1 - 0.5

22

6

Направления исследований ГФЭЯ.

1. Измерения масс экзотических нуклидов (GSI).

Ю.Н.Новиков, Г.К.Воробьев, С.А.Елисеев

2. Эксперименты на ускорителе K-130 в Ювяскюля, Финляндия.

Ю.Н.Новиков, А.В.Попов, Л.Х.Батист, Г.К.Воробьев, С.А.Елисеев

3. Исследование свойств ядер вблизи дважды магического ^{100}Sn .

Л.Х.Батист

4. Фрагментация ядер.

Ф.Г.Лепехин, Л.Н.Андроненко, М.Н.Андроненко, Л.Н.Ткач.

5. Разработка методов инкапсулирования ядерных отходов.

(Проект МНТЦ № 2391).

Ю.Н.Новиков, В.И.Тихонов, Ю.И.Гусев, В.С.Гусельников, Т.В.Конева,
В.К.Капустин

6. Тестовый эксперимент с прототипом детектора CASTOR на пучке SPS в CERN.

Д.М.Селиверстов, Ю.И.Гусев, НПО «Электрон»

7. Протонная терапия.

Д.Л.Карлин, В.В.Лысенко, В.И.Лазарев, М.В.Жидков, Ю.А.Малов

Измерения масс экзотических нуклидов (GSI).

- Завершена подготовка к экспериментам по прецизионному измерению масс (полных энергий связи) ядер сверхтяжелых элементов на ионной ловушке SHIPTRAP.
- В реакции $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$ идентифицирован и охлажден в ионной ловушке нуклид с $Z=102$ (^{254}No). Выход изотопа на уровне 2 иона в минуту достаточен для прецизионного измерения массы.

НОВЫЕ ПРОЕКТЫ

- Предложение ультра-прецизионного измерения масс нуклидов, ориентированного на определение массы электронного нейтрино на установке HITRAP в ГСИ.
- Проект FaNtOME на установках MATS и HITRAP комплекса FAIR в Дармштадте.

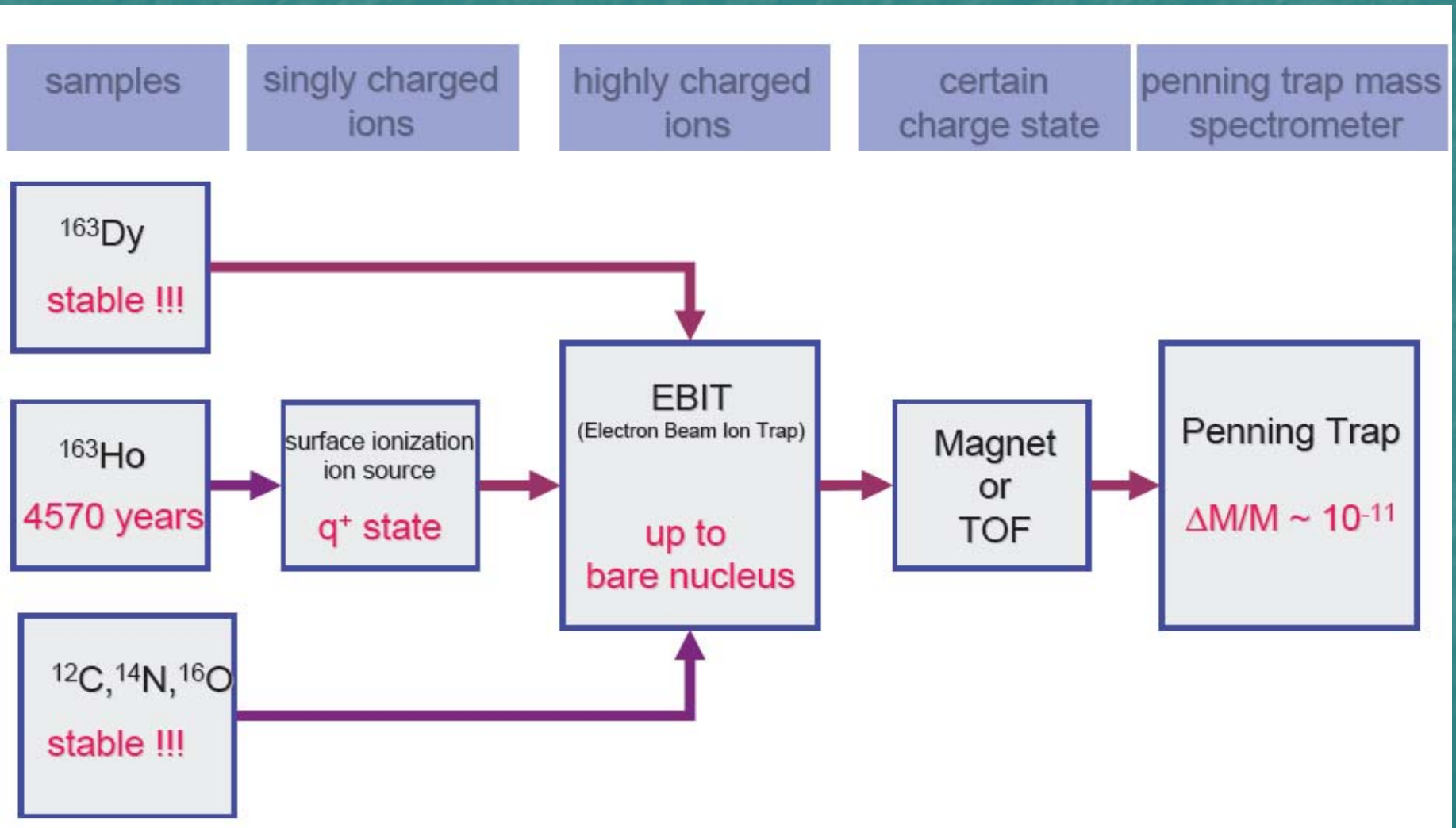
Эксперимент по ^{254}No на SHIPTRAP (GSI)

Реакция «слияние-испарение»: $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{256}\text{No}^* + 2n$
Измеренное сечение на SHIP: $\sim 2 \mu\text{barn}$



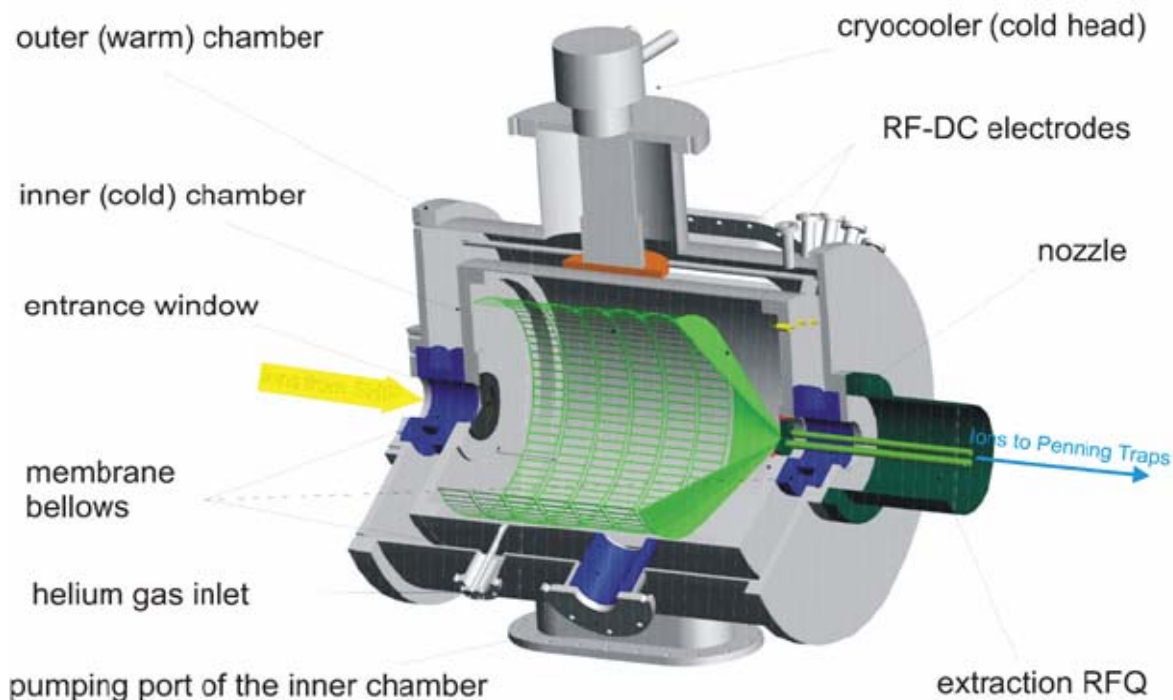
Полученные данные свидетельствуют о реалистичности прямого измерения массы нуклида ^{254}No , которое планируется в 2008 году

Проект «FaNtOME»
a Facility for Neutrino Oriented Mass Exploration at
GSI and FAIR



Проект новой криогенной газовой камеры торможения продуктов реакции на SHIPTRAP, разработанный в 2007 г. (С. Елисеев)

(в стадии согласования в КБ ГСИ)



Parameters

Outer (warm) chamber:	Length = 660 mm Diameter = 500 mm
Inner (cold) chamber:	Length = 500 mm Diameter = 400 mm
Stopping volume:	Length = 300 mm Diameter = 300 mm

Pressure of helium gas: 25 mbar (77K)
corresponds to 100 mbar(300K)

Temperature of helium gas: 77K down to ~40K

Heat transfer to inner chamber: < 20 W

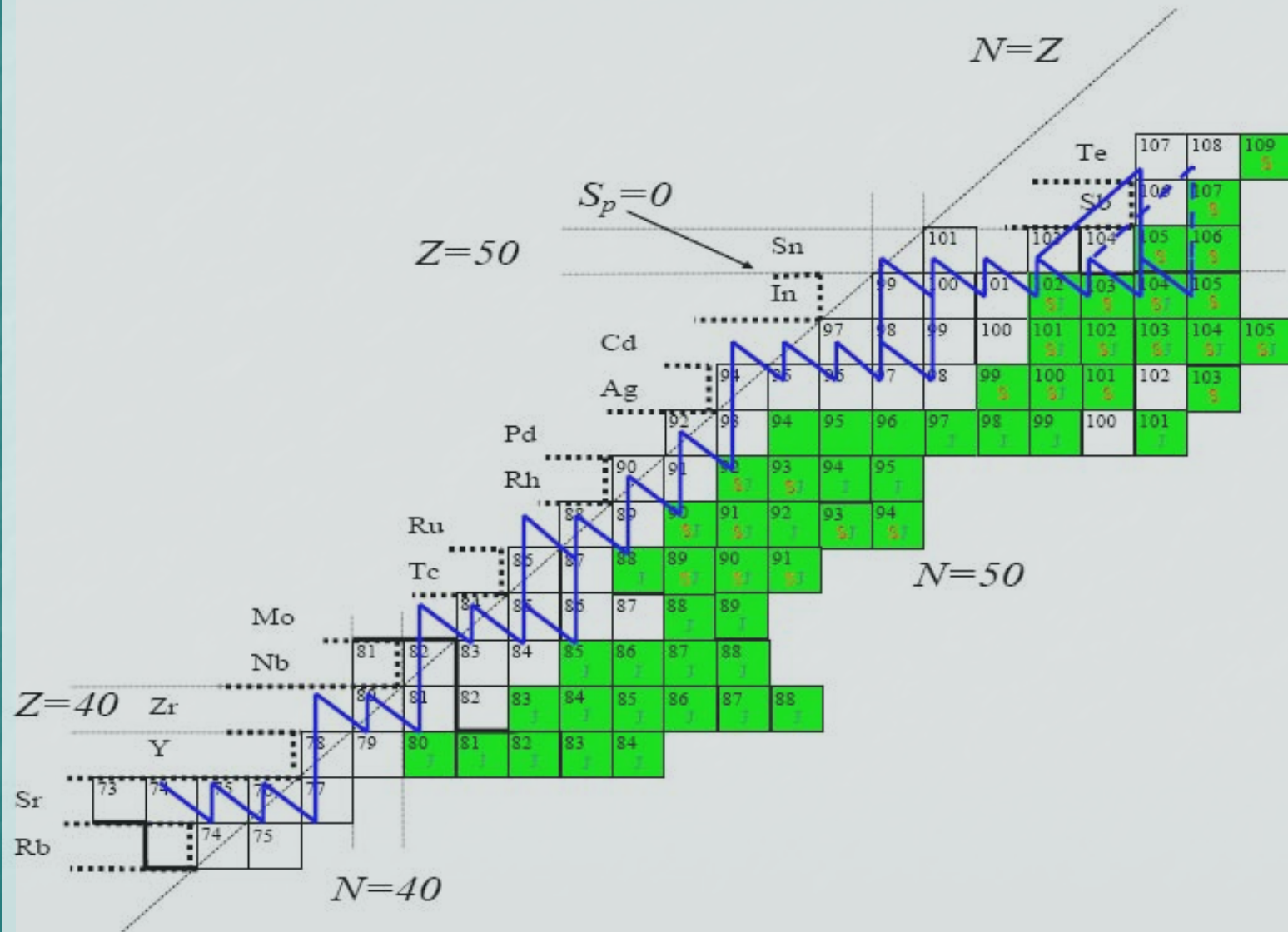
Radiative shielding between chambers: Mylar-Aluminium multilayer superinsulation

Cryocooler (coldhead): one stage
50W (40K)

Измерения масс ядер на пути астрофизического r -процесса (этап 2007 года)

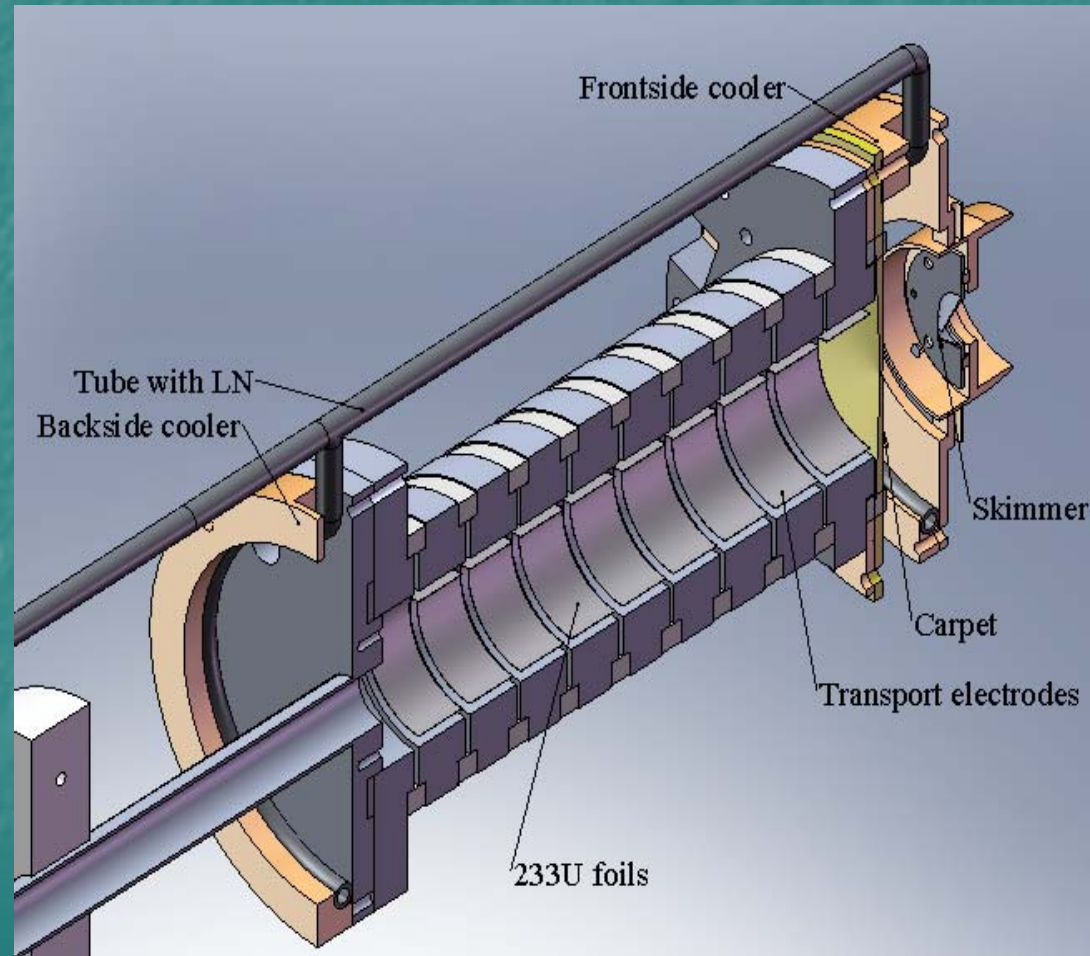
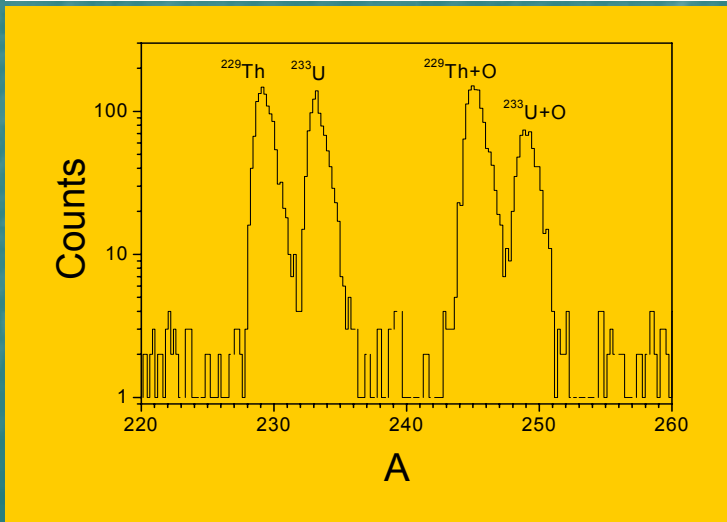
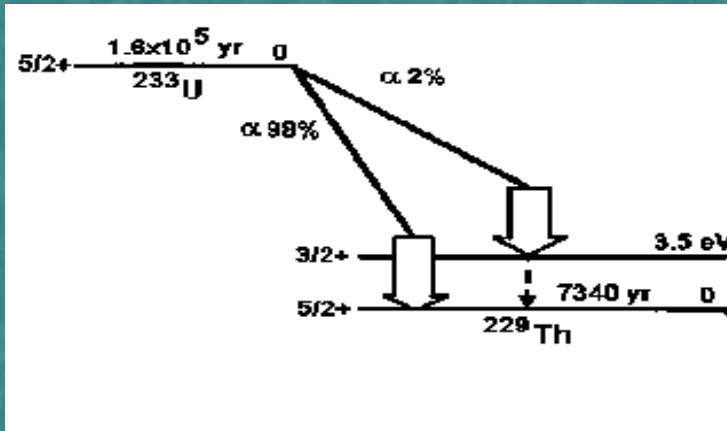
- Завершена обработка данных предыдущих экспериментов на изохронном циклотроне К-130 по измерению **20** масс нуклидов элементов от Y ($Z=39$) до Pd ($Z=46$) с точностью **$5 \cdot 10^{-8}$** .
Впервые прямым методом измерена масса высоковозбужденного (1.86 МэВ) изомерного состояния (^{95m}Pd) со спином ($21/2^+$).
Готовится публикация
- Подготовлен и проведен в декабре 2007 года эксперимент по измерению масс нуклидов за пределами замкнутого r - цикла Sn-Sb-Te

Terminal part of the *rp* – process path.



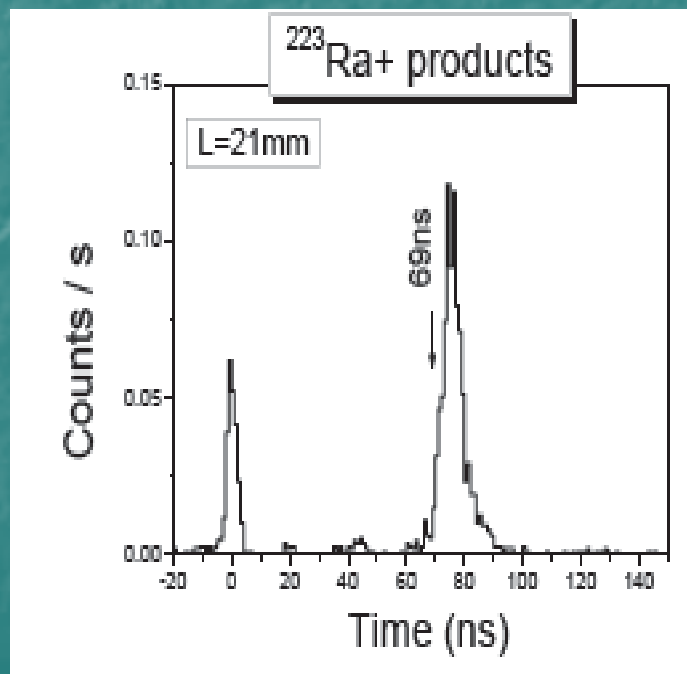
Холодная газовая ячейка с радиочастотным транспортом для получения ионов ^{229m}Th

Изготовление и тест охлаждаемой ячейки с радиочастотным транспортом ионов.

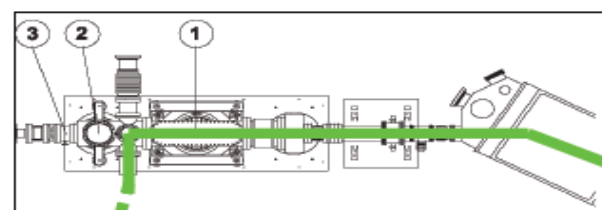


Времяпролетный спектрометр атомов отдачи

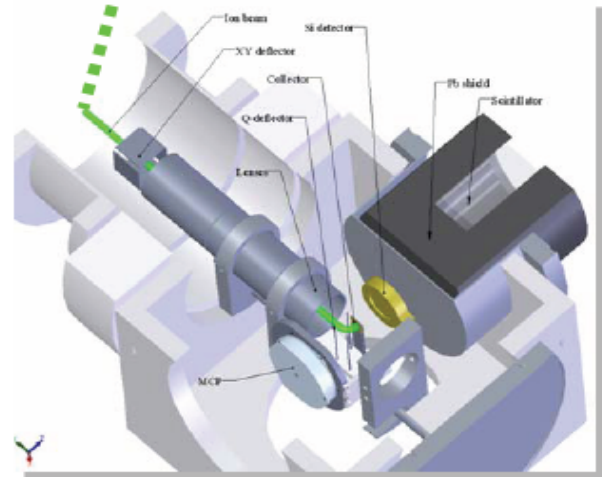
- 2007 г. Расчет и создание ионной оптики
- Изготовление и проверка *TOF*- сборки детекторов



RF-Cooler (JYFL)



RATOF



Планы на 2008 год

GSI:

1. Прямое измерение масс трансурановых нуклидов, включая сверхтяжелые.
2. Работа над проектом прецизионной масс-спектрометрии, ориентированной на определение массы нейтрино в процессе захвата ядром электрона (в рамках проектов FaNtOME и HITRAP).
3. Участие в R&D нового проекта MATS в будущем комплексе FAIR.

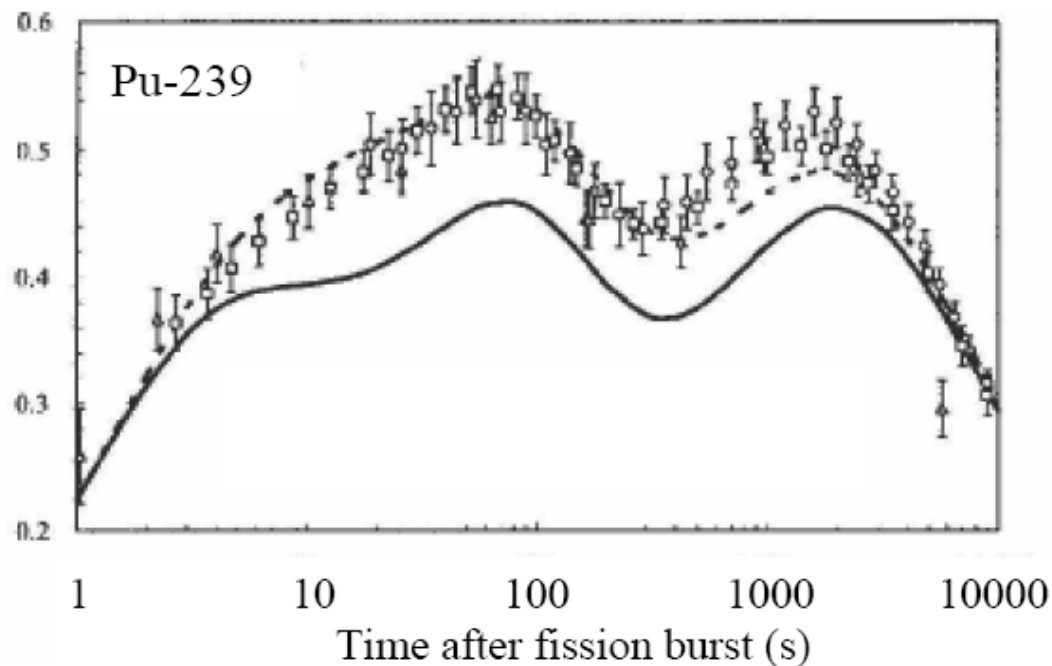
Университет Юваскюля (JYFL):

Измерения масс нейтроноизбыточных экзотических ядер в районе свинца

JYFLTRAP+TAGS

Measurement of the β -decay intensity distribution for the decay of specific nuclei (Mo, Tc, Nb-isotopes) that are important contributors to the heat emitted by the reactor core immediately following shutdown

Decay heat after a burst fission in ^{239}Pu
(γ -ray component)



- calculations based exclusively on experimental data on β decay ;
- - - experimental data implemented with theoretical calculations (gross theory)

Разработка методов внедрения долгоживущих радионуклидов в углеродную матрицу для их хранения и трансмутации.

Создана универсальная термически, радиационно и химически устойчивая углеродная матрица для хранения и трансмутации долгоживущих радиоактивных нуклидов: редкоземельных и трансурановых элементов, а также ^{129}I и ^{99}Tc .

Главные отличия от существующих матриц:

- Внедрение радионуклидов происходит на молекулярном уровне. Атом радионуклида вводится в состав молекулы дифталоцианина, $\text{C}_{64}\text{H}_{32}\text{N}_{16}\text{Me}$. После пиролиза такая молекула превращается в замкнутую углеродную ячейку с атомом радионуклида внутри.
- Матрица **не содержит** легко активируемых нейтронами элементов.

Основные характеристики:

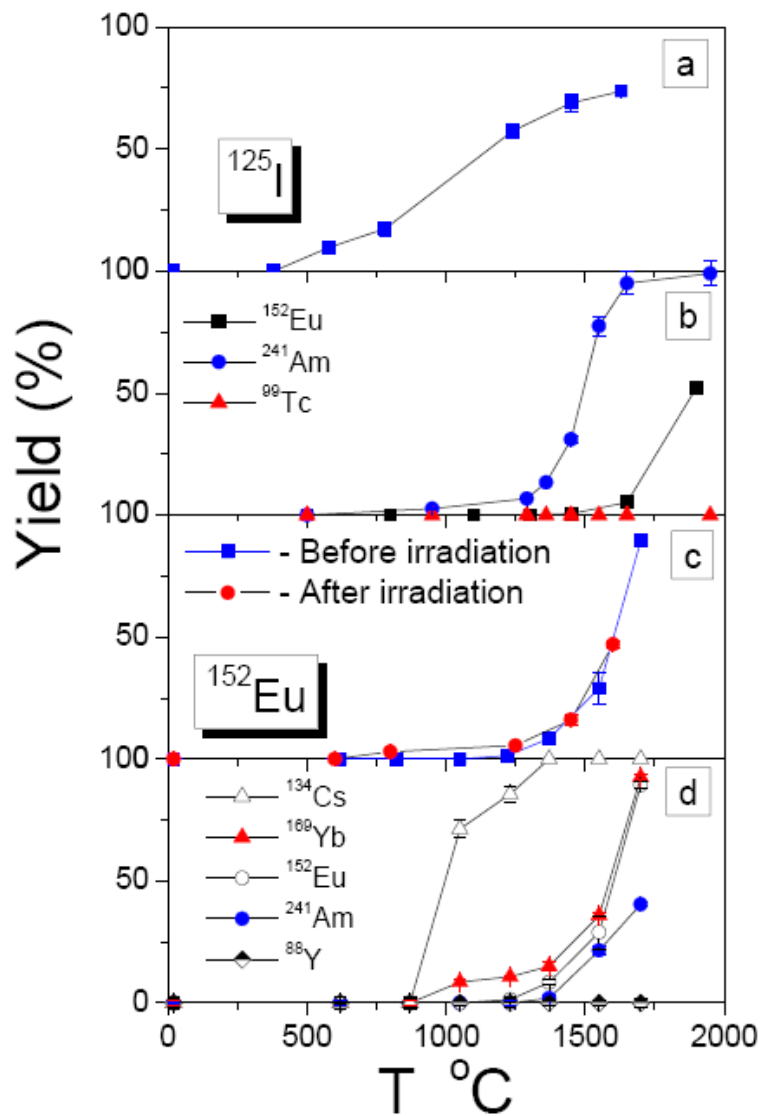
- содержание радионуклида в матрице 20-30 вес. %.
- термостабильность выше 1200°C (требования ГОСТа и стандартов МАГАТЭ – не ниже 550°C)
- Химическая устойчивость к выщелачиванию в водных растворах на 3-4 порядка выше, чем допустимо по ГОСТу.
- Радиационная устойчивость матрицы характеризуется изменением параметров термостабильности и выщелачивания после облучения. Как видно из рисунков, после облучения в потоке нейтронов реактора ВВР-М (интегральный поток $\sim 10^{19}\text{н/см}^2$, интегральная доза облучения $\sim 10^8$ Грей) эти параметры практически не изменились.

Технология иммобилизации РАО в углеродной матрице этим способом представляется достаточно простой, исходные реагенты недороги, радиационная, термическая и химическая устойчивость намного превышает требования ГОСТа и Стандартов МАГАТЭ (в особенности, для РЗЭ и ТУЭ), а матрица может использоваться как для длительного хранения долгоживущих, в том числе высокоактивных РАО, так и для их возможной (в будущем) трансмутации без какой-либо специальной подготовки.

Для практического использования этой методики необходимо:

- специальное радиохимическое оборудование (горячие камеры),
- дополнительное финансирование и привлечение специалистов разного профиля.

Испытание термостабильности при нагревании в вакууме



Выход из углеродной матрицы, %

a) - ^{125}I

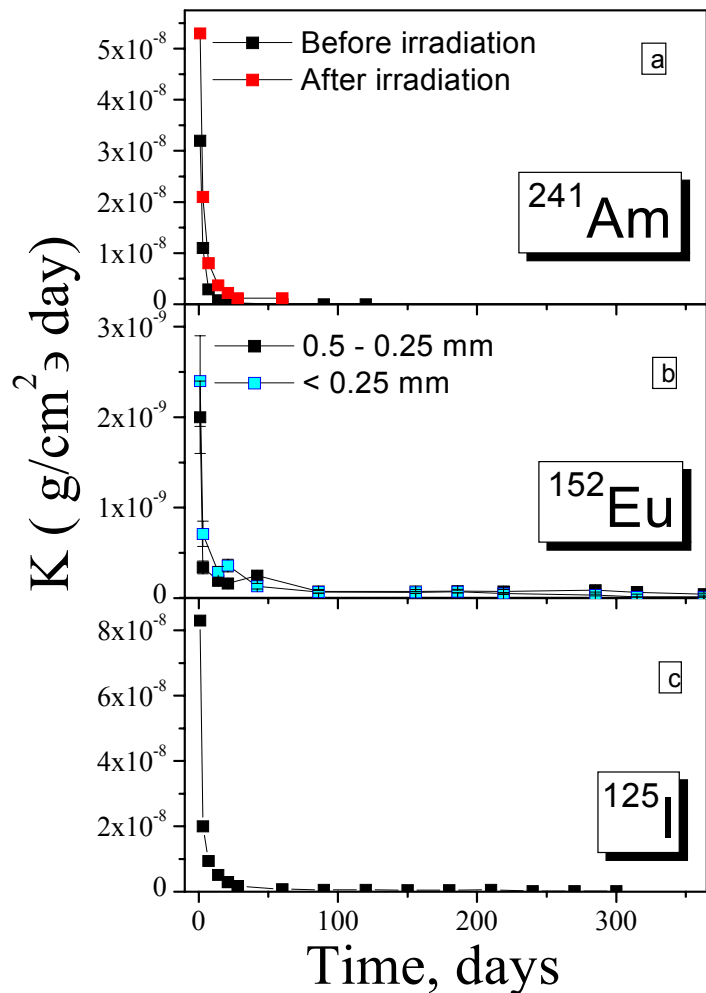
b) - ^{152}Eu , ^{241}Am , ^{99}Tc

c) - изотопов Eu до и после
облучения нейтронами

d) - изотопов Cs, Yb, Eu, Am и Y
после облучения нейтронами

(интегральный поток $\sim 10^{19}\text{н/см}^2$,
радиационная доза $\sim 10^8\text{ Гр}$)

Химическая устойчивость матрицы при вымывании радионуклидов водой



- a) — скорость вымывания (коэффициент выщелачивания) ^{241}Am из углеродной матрицы до и после облучения нейтронами (10^{19}n/cm^2)
- b) — скорость вымывания ^{152}Eu из порошка углеродной матрицы с различными размерами частиц в порошковой фракции
- c) — скорость вымывания ^{125}I из углеродной матрицы

CASTOR 2007

Прототип детектора **CASTOR** исследовался в августе – сентябре 2007 года на пучке H2 ускорителя SPS, ЦЕРН. Калориметр азимутально симметричен вокруг пучка и расположен на расстоянии 14385мм от точки пересечения. Перекрываемый интервал углов: $5.15 \leq \eta \leq 6.59$. Состоит из электромагнитной (32 канала) и адронной (192 канала) частей.



CASTOR 2007

Схема прототипа детектора:

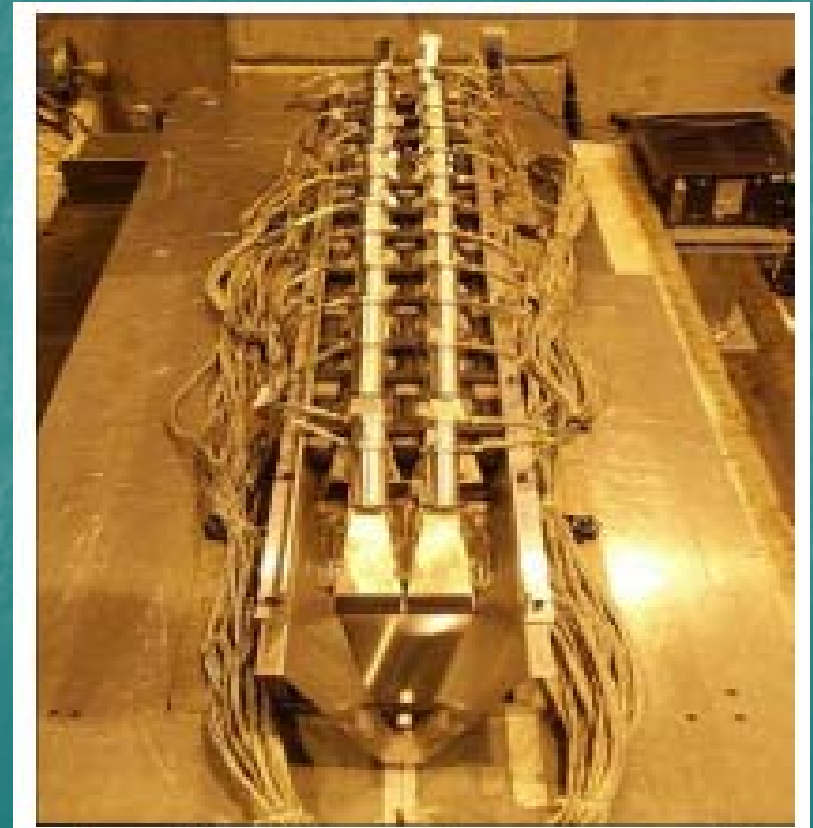
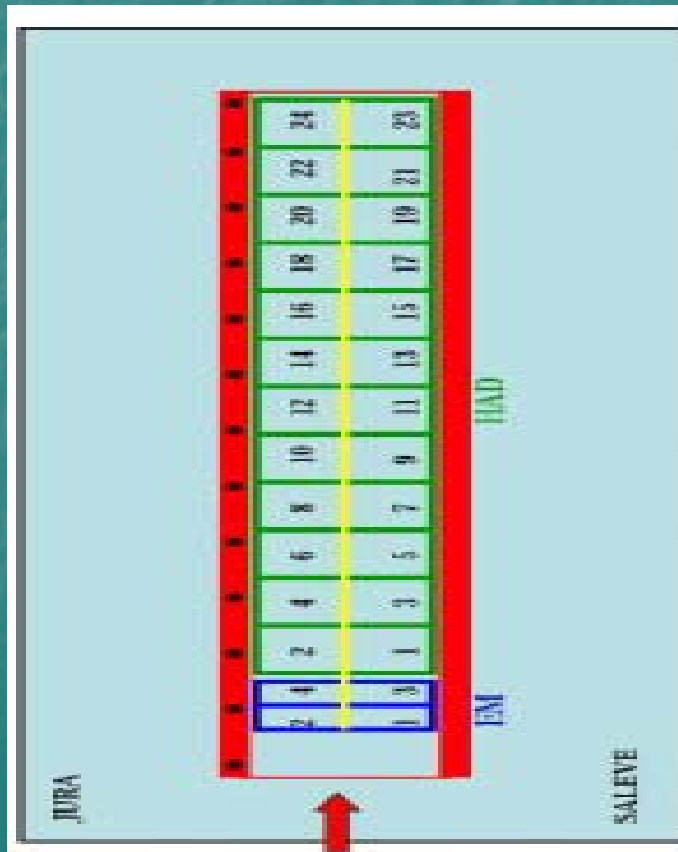
Поглотитель: вольфрам, активная среда: кварц, расположены под углом 45°

Толщина пластин: EM часть – 5 W пластин по 5 мм и 5 Q пластин по 2 мм

Н часть – 5 W пластин по 10 мм и 5 Q пластин по 4 мм

Электромагнитная часть: 2 секции на входе, ~ 20 радиационных длин

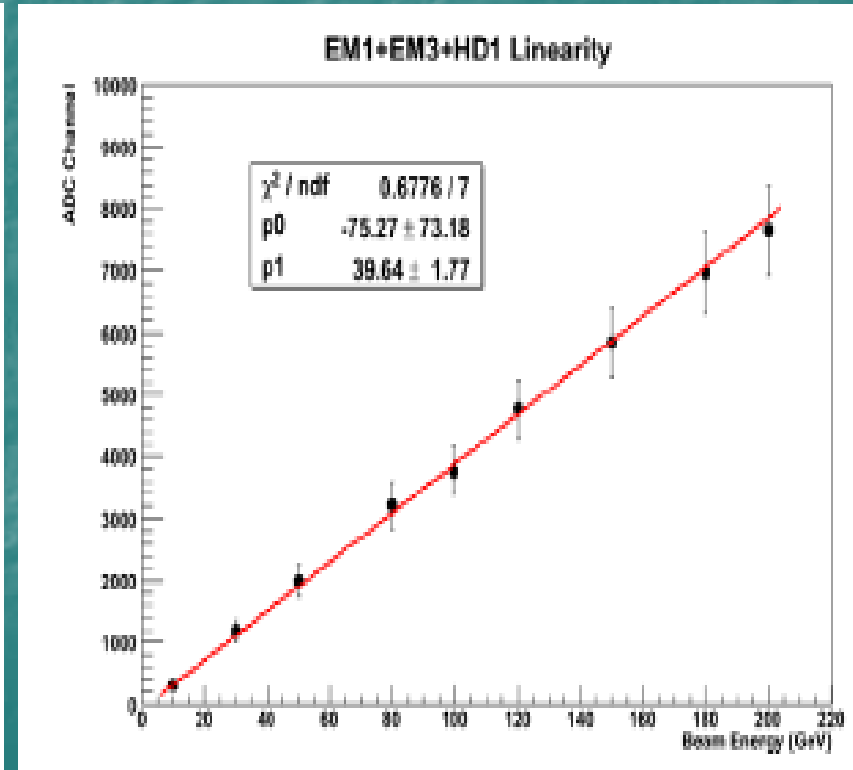
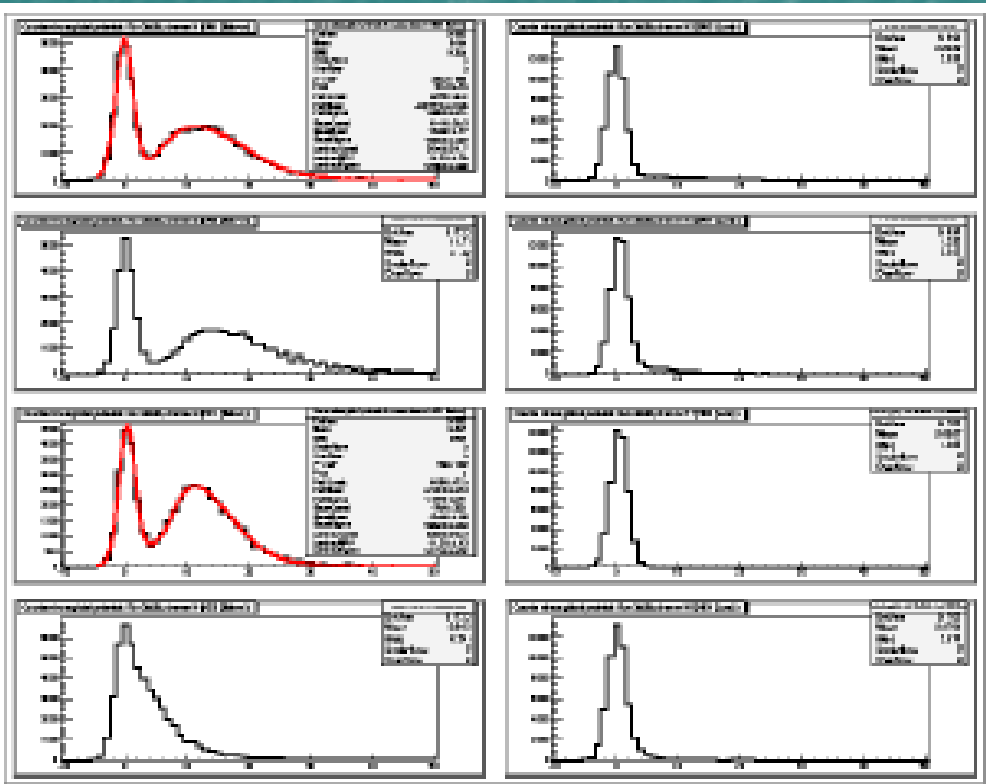
Адронная часть: 12 секций после ЭМ части.



CASTOR 2007

Тест проводился на пучке электронов с $E=10-200$ ГэВ, а также на пучке пионов с $E=20-350$ ГэВ.

Проведен тест прототипа калориметра на энергетическую линейность, наличие утечек развивающегося ливня, а также сделана оценка разрешения.



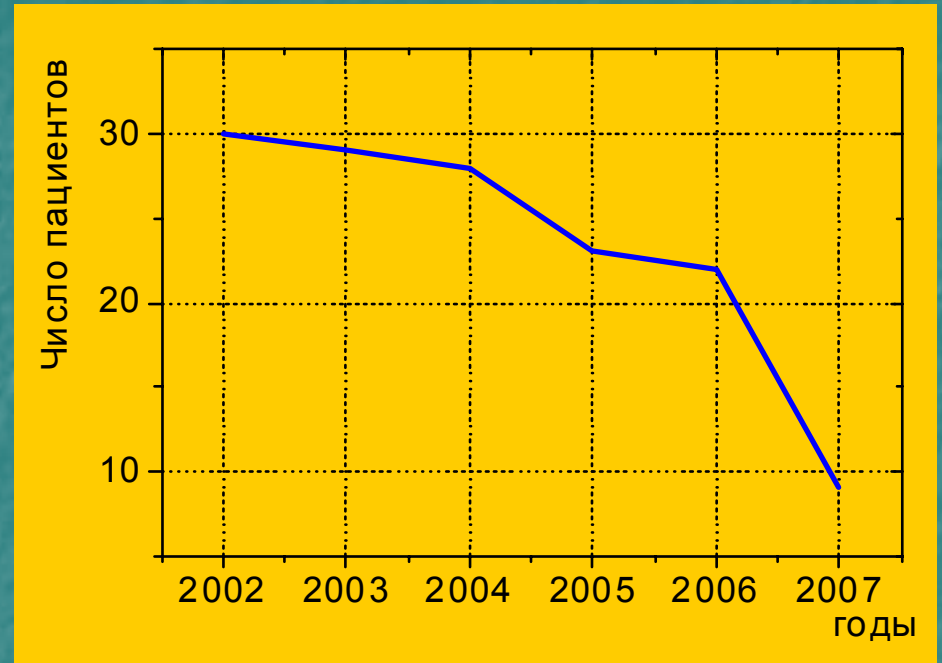
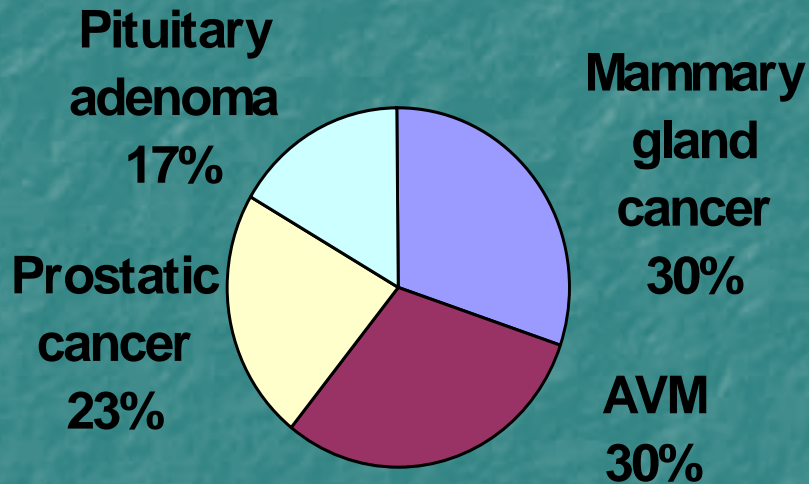
Множественное образование двухзарядных фрагментов при фрагментации релятивистских ядер.

Исследованы угловые характеристики событий с двумя и более двухзарядными фрагментами релятивистских ядер ^{22}Ne , ^{24}Mg , ^{14}N , ^{11}B , ^{10}B в фотоэмульсии. Инклюзивные угловые распределения фрагментов ядер при числе частиц от одного до пяти. Таким образом, угол вылета каждого фрагмента релятивистского ядра не зависит не только от других фрагментов, но и от наличия или отсутствия рожденных частиц и фрагментов ядра мишени в событии. Эти данные опровергают утверждение о происхождении фрагментов релятивистского ядра в результате распада возбужденного ядра.

ядро	k	σ_k	σ_{exper}
^{10}B	4	40.0	39.7 ± 1.3
^{11}B	4	25.0	25.8 ± 1.0
^{14}N	3	17.3	18.5 ± 2.2
^{22}Ne	2	16.8	17.2 ± 0.3
^{22}Ne	3	20.0	22.8 ± 2.2
^{22}Ne	4	15.6	18.2 ± 4.0
^{22}Ne	5	27.8	27.8 ± 9.0
^{24}Mg	3	14.8	14.6 ± 0.3

В таблице для наборов событий с испусканием двух и более двухзарядных фрагментов приведены ожидаемые величины стандартного распределения суммы углов ϕ для 2, 3, 4, и 5 фрагментов при независимом их испускании, а также их экспериментальные оценки.

Протонная терапия



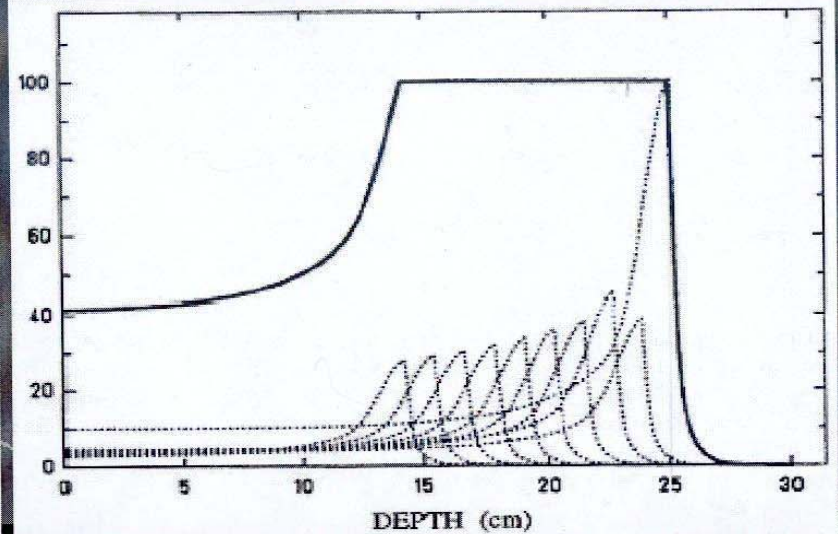
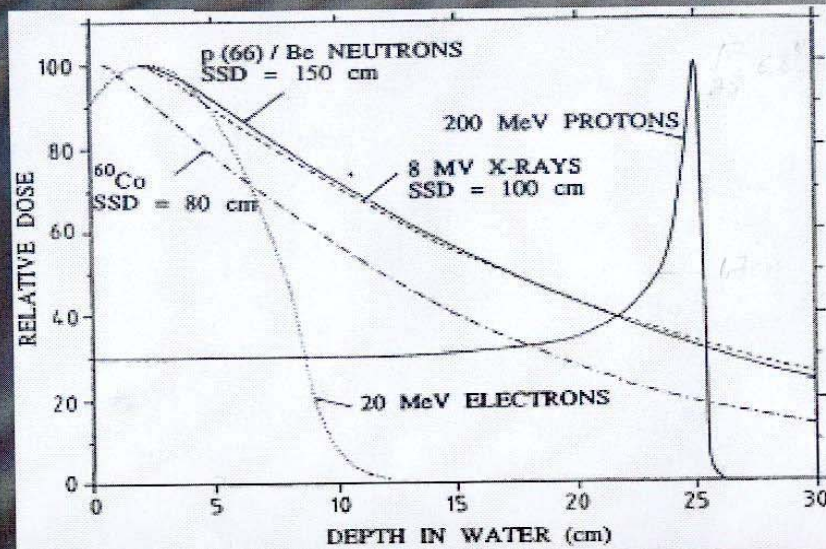
141 пациент за период с 2002 до 2007г.

Расходы из бюджета ОФВЭ:

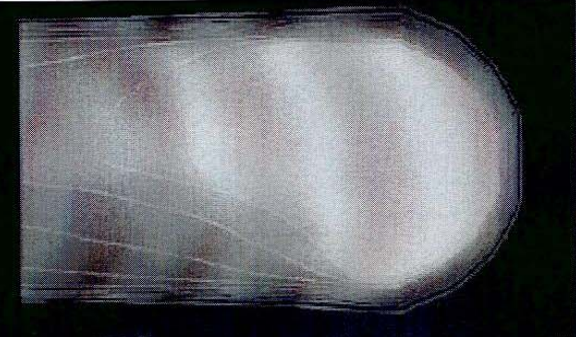
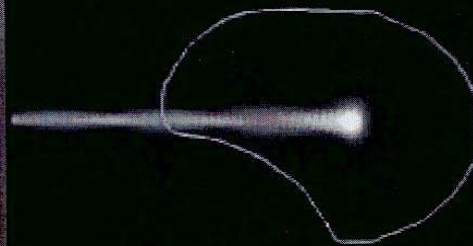
- | | |
|------------------------------|------------------|
| Материалы: (оргстекло) | - 50 тыс. рублей |
| Электроника (комплектующие) | - 25 тыс. рублей |
| Всего | - 75 тыс. рублей |

Протонная терапия

Protons and carbon ions are charged

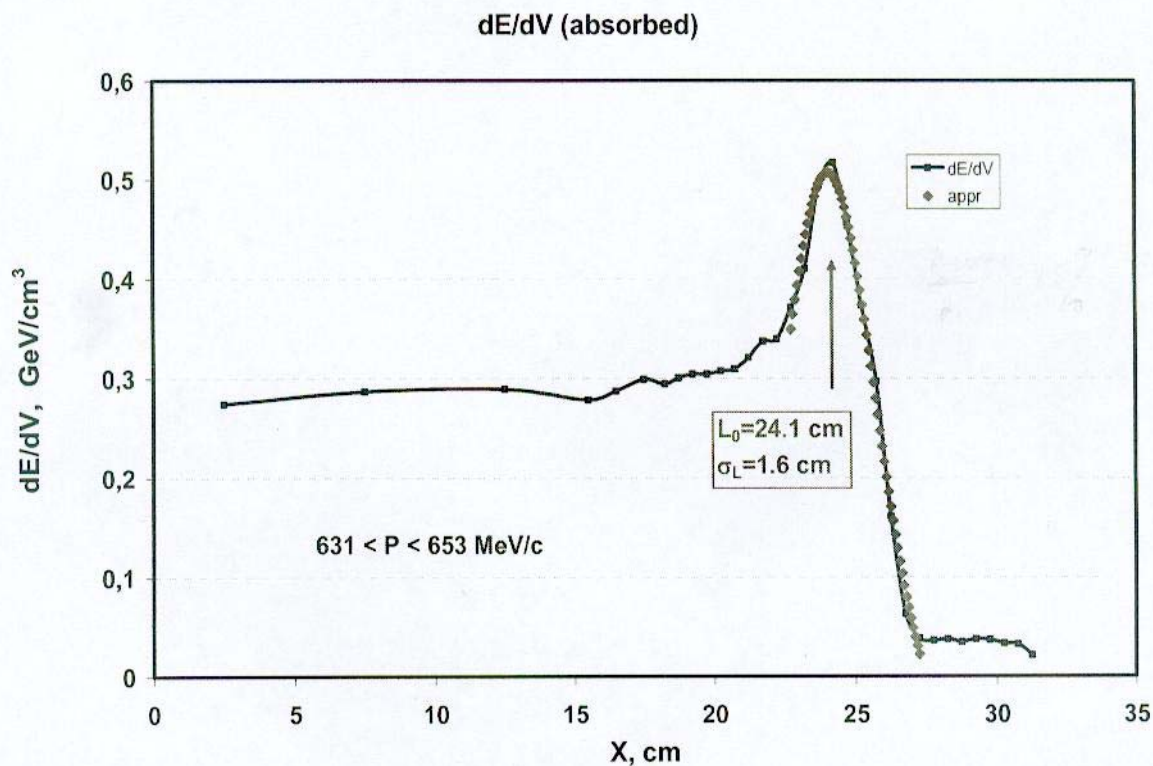


- Bragg peak
 - Pencil beam
- Healthy tissues are spared!



Courtesy PSI – Villigen (CH)

Протонная терапия



Распределение поглощенной дозы в водяном поглотителе для нового медицинского пучка с энергией 200 МэВ.

Новые проекты

1. R&D нового позитрон-эмиссионного томографического сканера на основе кристаллов BaF_2 в сотрудничестве с ЦНИИРИ.

Преимущества использования BaF_2 :

- + Быстродействие – время высвечивания 0.8 нсек для компоненты 200 нм
- + Меньшая стоимость (~ 10 раз) по сравнению с предлагаемыми в настоящее время кристаллами LSO.

Недостатки использования BaF_2 :

- Меньшая плотность (5,14) г/см³ по сравнению с LSO (7,2) г/см³ и, соответственно, меньшая эффективность регистрации $E_\gamma=511$ кэВ.
- Трудность создания детектора UV излучения для $\lambda=200$ нм.

В соответствии с концепцией развития медицинской физики в России планируется создание 30 новых центров ПЭТ общей стоимостью 30 млрд. рублей.

Преимуществом ПИЯФ является:

- a) участие в проекте совместно с ЦНИИРИ – головной организацией по ПЭТ технологиям.
- b) участие в создании Sr – Rb генераторов для ПЭТ

2. Участие в создании нового диагностического центра на основе использования поляризованного 3He

Список докладов ГФЭЯ за 2007 год.

1. **С.А.Елисеев** "A new cryogenic gas-filled stopping chamber for SHIPTRAP", Electro-Magnetic Isotope Separator (EMIS-2007) International Conference in Deauville, France 2007.
2. **Yu. N. Novikov** "Neutrino mass from electron capture" Workshop NeuMa at GSI, March 8-9, 2007.
3. **Yu. N. Novikov** "Towards neutrino mass determination by electron capture" NuMass-07- international workshop in Genova, Italy, July 19-20,2007
4. **S.A.Eliseev** "FaNtOME – a Facility for neutrino oriented mass exploration at GSI". NuMass-07- international workshop in Genova, Italy, July 19-20,2007.
5. **V. I. Tikhonov** "The carbon matrices made of pyrolised Bis-Phtalocyanines as a base for encapsulations of long-lived nuclides of Iodine, Technetium and Minor Actinides" International Conference ICEM'07 in Brugge, Sept.2-7, 2007.
6. **В.И.Тихонов.** "Новый углеродный материал для хранения и трансмутации долгоживущих радионуклидов " ¹¹_И Международный семинар "Российские технологии для индустрии" Санкт Петербург, 20-23 Ноября, 2007 г.

Публикации 2007 года (начало)

1. S. Eliseev, M. Block, ... G. Vorobjev et al. "Extraction efficiency and extraction time of the SHIPTRAP gas-filled stopping cell" Nucl. Instr. Meth. B258 (2007) 479-484.
2. S. Eliseev, M. Block, ... G. Vorobjev et al. "Octupolar excitations of ions stored in a Penning trap mass spectrometer" Int. J. Mass Spectrometry 262 (2007) 45-50.
3. A. Chaudhuri, M. Block, S. Eliseev, ... G. Vorobjev et al. "Carbon-clusters mass calibration at SHIPTRAP" Int. J. Mass Spectrometry 251 (2007) 212-219.
4. M. Block, S. Eliseev, ... G. Vorobjev et al. "Towards direct mass measurements of nobelium at SHIPTRAP" Europ. Phys. J. D45 (2007) 39-45.
5. H.-J. Kluge and Yu. N. Novikov "New Promises for the determination of the neutrino mass?" Nucl. Phys. News, 17 (2007) №4, 48-51.
6. Y. Gusev, V. Lukianov, G. Mamaeva, Y. Mousienko, D. Seliverstov et al. "Radiation-hard photodetectors on fine-mesh phototube for calorimetry in very forward rapidity" NIM A581 (2007)438-442.
7. O. Kavatsyuk, ...L. Batist et al. "Beta decay of ^{101}Sn " Eur. Phys. J. A31(2007) 319-325.
8. E. Roeckl, I. Mukha, L. Batist et al. "One proton and two proton Radioactivity of the (21+) isomer in ^{94}Ag " Acta Phys. Pol. B38, 1121 (2007)
9. Guseva I. S., Gusev Yu. I. "Rotation of nuclear system in trajectory calculations". Proceedings of XIV International Sem. ISINN-14, Dubna, 2007, p. 101-108.

Публикации 2007 года (продолжение)

10. I.S.Guseva and Yu. I. Gusev. “A Shift of the Angular Distribution of Light Charged Particles Due to the Rotation of the Fissioning Nucleus”. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2007, v.71, №.3, p. 367-372. Allerton Press, Inc., 2007.
11. И. С. Гусева, Ю. И. Гусев «Сдвиг углового распределения легких заряженных частиц, обусловленный вращением делящегося ядра». Изв. РАН, сер. физ., т.71, №3, с. 382, 2007.
12. F.Goennwein, M.Mutterer, A.Gagarski, I.Guseva, ... Yu.Gusev, at al. “Rotation of the compound nucleus $^{236}\text{U}^*$ in the fission reaction $^{235}\text{U}(n,f)$ induced by cold polarised neutrons”. Phis.Lett.B 652 (2007) p.13-20.
13. M. N. Andronenko, L. N. Andronenko and W. Neubert “Isotope ratios and isoscaling of spallation products in $p(1\text{GeV})+A$ reactions” Eur. Phys. J. A31(2007) 125-134.
14. Ф.Г. Лепехин “Некоторые особенности фрагментации релятивистского ядра ^{11}B в фотоэмульсии” Я.Ф. 70 (2007) с. 1-7.
15. Ф.Г. Лепехин “Вторичные взаимодействия в струях свинца с энергией 160 ГэВ/А в фотоэмульсии” Препринт ПИЯФ 2726, (2007) 14с.
16. Ю. Н. Сазанов, ... В. С. Гусельников “Термохимические аспекты взаимодействия полиамидных композиций с органическими сорбентами” Журнал Прикладной Химии 80 (2007) Вып. 8, с. 1341 – 1345.