

Группа физики экзотических ядер Д.М.Селиверстов

Состав: 21 сотрудник.

| | | |
|----------------------|---|---------|
| • Вед. научный сотр. | 2 | |
| • Ст. научный сотр. | 6 | 1 - 0.5 |
| • Научный сотрудник | 2 | |
| • Мл. научный сотр. | 3 | 3 - 0.5 |
| • Вед. инженер | 8 | 2 - 0.5 |
| • Рабочие | 2 | 1 - 0.5 |

23

7

Направления исследований ГФЭЯ.

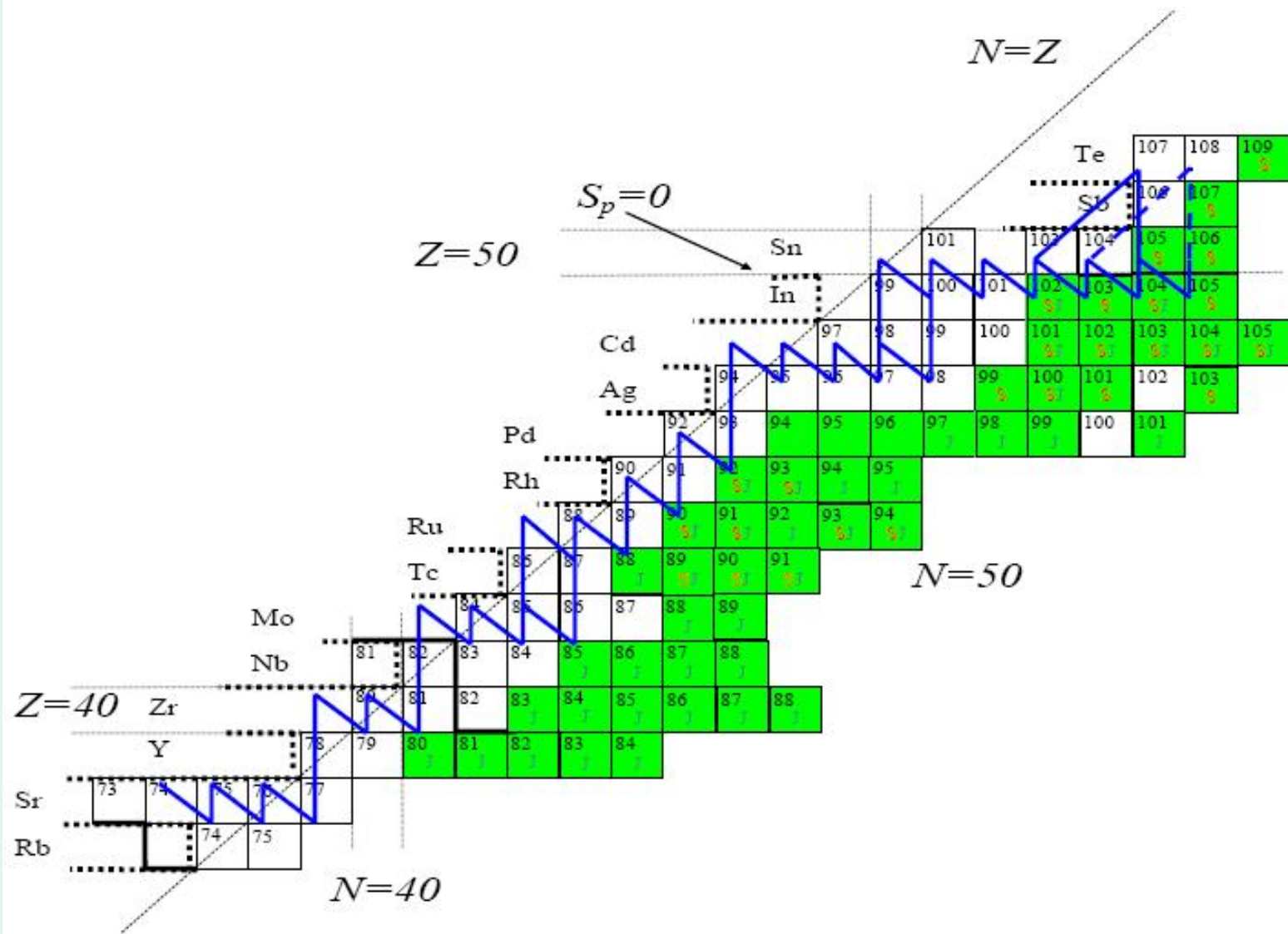
- 1. Измерения масс ядер в GSI.**
Ю.Н.Новиков, Г.К.Воробьев, С.А.Елисеев
- 2. Эксперименты на ускорителе K-130 в Юваскюля, Финляндия.**
Ю.Н.Новиков, А.В.Попов, Л.Х.Батист, Г.К.Воробьев, С.А.Елисеев
- 3. Исследование свойств ядер вблизи дважды магического ^{100}Sn , GSI.**
Л.Х.Батист
- 4. Фрагментация ядер.**
Ф.Г.Лепехин, Л.Н.Андроненко, М.Н.Андроненко, Л.Н.Ткач, О.В.Левицкая
- 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. Магнитно и радиационно- стойкий ФЭУ для экспериментов на LHC.
Эксперимент CASTOR (проект).**
Д.М.Селиверстов, Ю.И.Гусев, НПО «Электрон»
- 7. Протонная терапия.**
Д.Л.Карлин, В.В.Лысенко, М.В.Жидков, Ю.А.Малов

Измерение масс ядер GSI

Предложена программа измерения масс нуклидов, участвующих в астрофизическом процессе быстрого протонного захвата (rp – процесс). Масса нуклидов важна для расчета пути, продолжительности и энергетического баланса процесса. В экспериментах на SHIPTRAP проведены измерения масс 26 нуклидов в области $A=100$ с точностью, превышающей ранее полученные значения более чем на порядок. Группа ПИЯФ ответственна за функционирование газовой камеры и ловушки ионов.

Планы группы на 2007 г.:

- Участие в экспериментах по прямому прецизионному измерению масс трансурановых нуклидов на установке **SHIPTRAP** (GSI).
- Обработка и анализ информации о массах экзотических нуклидов в области астрофизического rp-процесса в районе массового числа $A=100$, полученной в экспериментах 2006 года, подготовка публикаций.
- Участие в продолжающихся экспериментах по измерению масс ядер, участвующих в астрофизическом rp-процессе.
- Участие в **R&D** новых проектов **MATS** и **ILIMA** в будущем комплексе **FAIR**



Terminal part of the rp – process path.

Измерение масс ядер на ускорителе K-130 Ювяскюля, Финляндия

На установке с пеннинг ловушкой IGISOL JYFLTRAP проведены измерения масс нуклидов $^{79-83}\text{Y}$, $^{83-88}\text{Zr}$, $^{83-88}\text{Nb}$, ^{86}Mo , находящихся на пути астрофизического rp – процесса. Данные эксперимента обработаны и опубликованы в 2006 году. Следующий сеанс эксперимента начат в декабре 2006 года. Подготовлено новое Предложение по прецизионному измерению масс за пределами замкнутого **Sn-Sb-Te** rp – цикла на установке **JYFLTRAP**. Предложение одобрено **PAC JYFL**. Пучковое время выделено на 2007-2008гг.

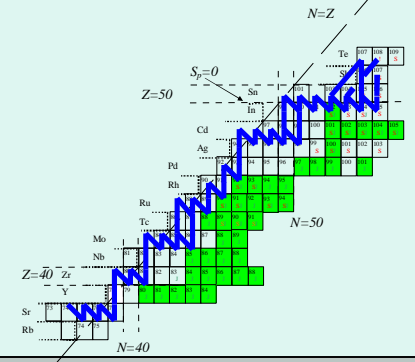
Планы на 2007 г.:

- Участие в эксперименте по измерению масс нуклидов за пределами замкнутого **Sn-Sb-Te** rp – процесса.
- Подготовка и участие в эксперименте по измерению масс нейтронноизбыточных нуклидов в области масс ядер в районе **Pb**
- Участие в обработке информации.

Формирование пучков ионов радиоактивных нуклидов

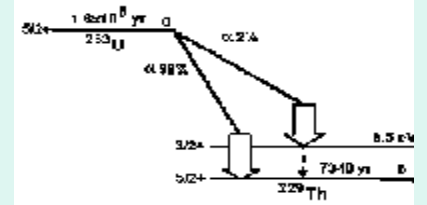
Ионный источник продуктов реакции слияния-испарения

- Система подвижных мишеней с газовым охлаждением для работы с интенсивными пучками тяжелых ионов.
- Адаптирован для получения ионов в режимах “внутренней” и “внешней” лазерной ионизации.
- Использовался при измерении масс нуклидов в области $N \sim Z$ и в методических работах по разработке лазерного ионного источника.



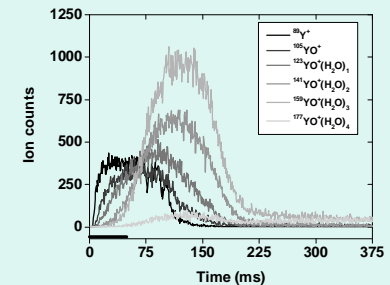
Источник ионов для поиска низколежащего изомера ^{229m}Th

- Отработана методика извлечения ионов из газовых ячеек большого объема ($\sim 1000 \text{ см}^3$) с помощью объемного заряда электронов.
- Проведены методические эксперименты.



Получение пучка ионов в режиме лазерной ионизации внутри и вне газовой ячейки

- Проведены расчеты для оптимизации геометрии и газовых потоков.
- Проведены методические эксперименты.



A. Kankainen, ..., L. Batist, S.A. Eliseev, Yu.N. Novikov, A.V. Popov, D.M. Seliverstov, G.K. Vorobjev **“Mass measurements of neutron-deficient nuclides close to $A \sim 80$ with a Penning trap”**. Eur. Phys. J. A (2006) DOI 10.1140/EPJA/I2006-10088-6.

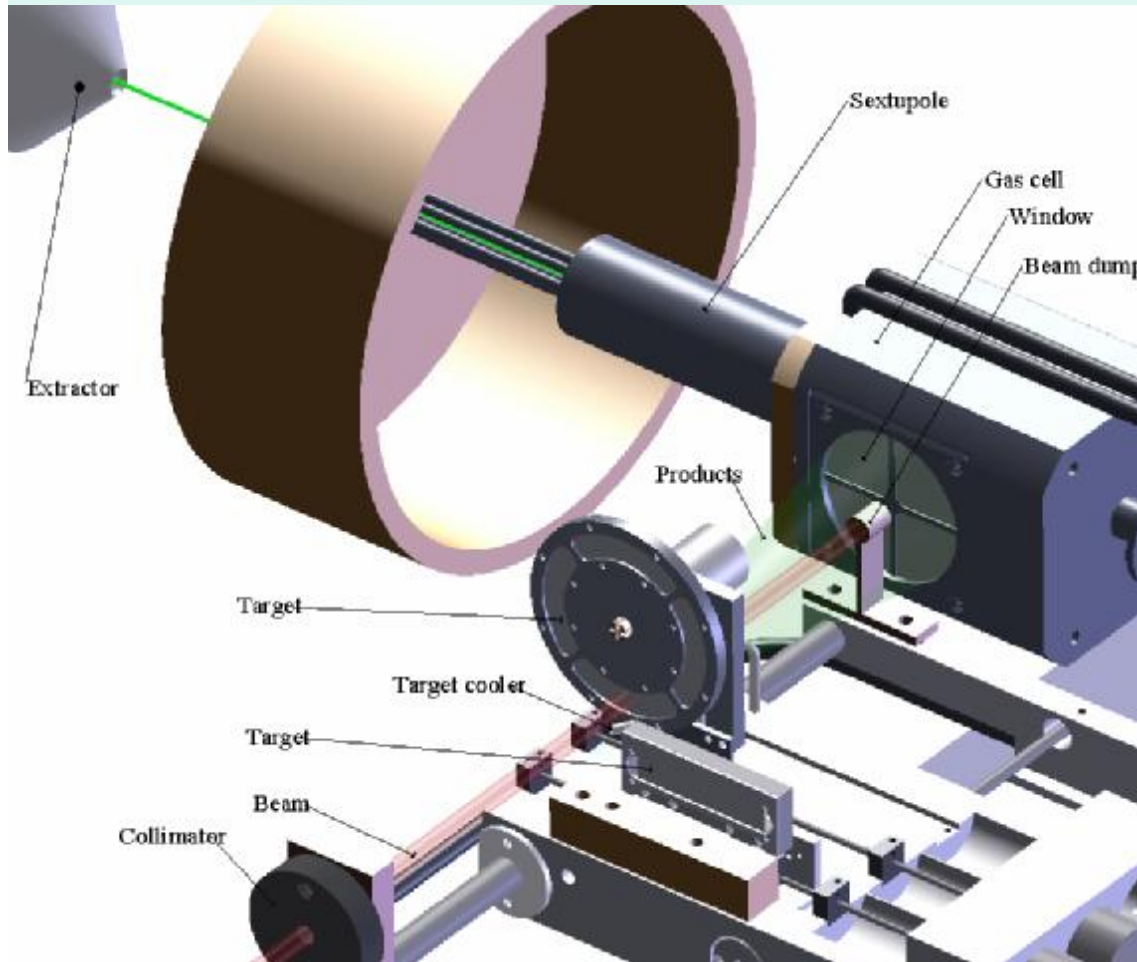
P. Karvonen, ..., A. Popov, ... **“LIST developments at IGISOL”**. RNB7 proceedings To be published in Eur. Phys. J. A.

B. Tordoff, ..., A. Popov, ... **“An Ion Guide for the Production of a Low Energy Ion Beam of Daughter Products of α -Emitters”** to be published 2006 (NIM)

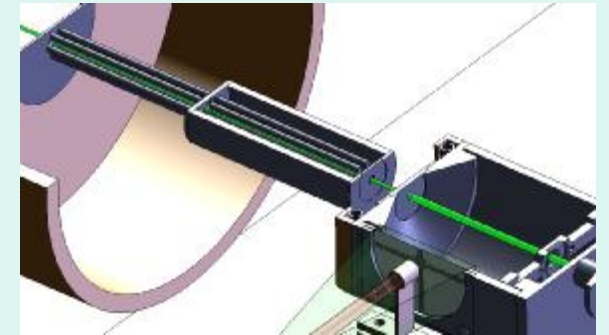
B. Tordoff, ..., A. Popov, ..., **“Investigations of the Low Lying Isomer in ^{229}Th by Collinear Laser Spectroscopy”**, submitted to Hyp. Int.

Получение пучков радиоактивных ионов

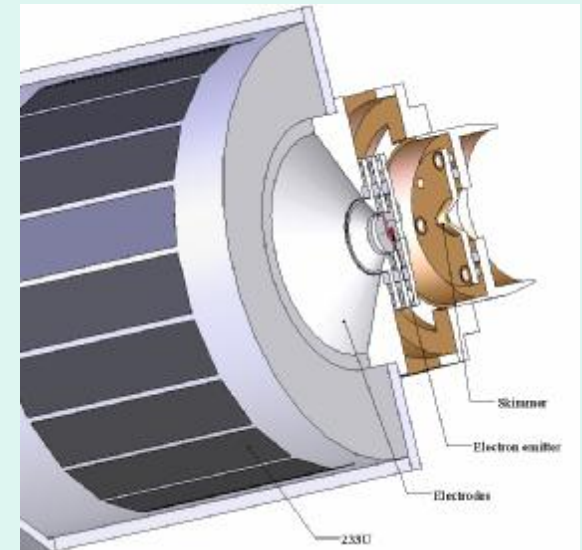
Реакция слияния-испарения



Лазерная ионизация



Формирование объемного заряда



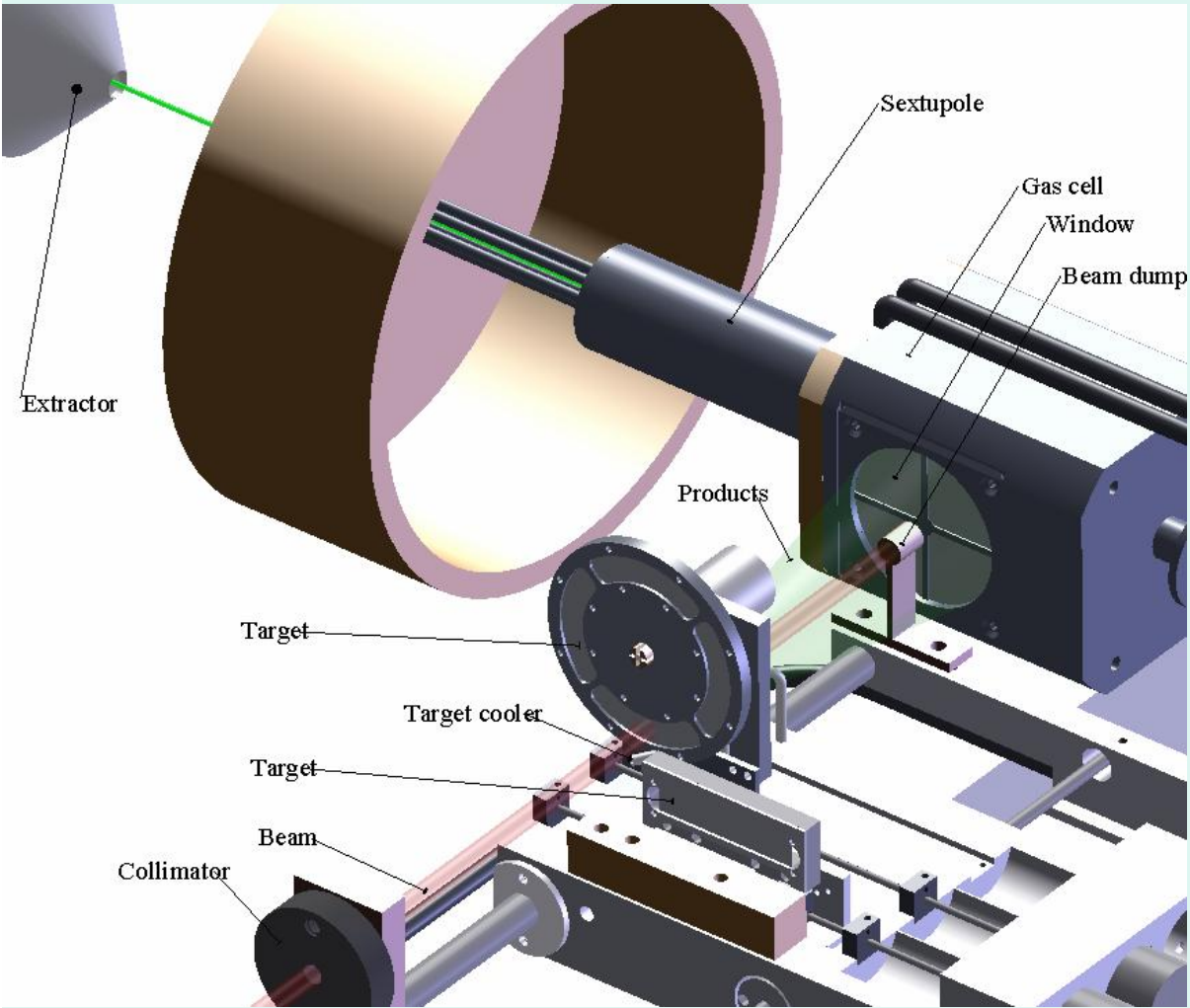
A. Kankainen, ..., L. Batist, S.A. Eliseev, Yu.N. Novikov, A.V. Popov, D.M. Seliverstov, G.K. Vorobjev *"Mass measurements of neutron-deficient nuclides close to A ~ 80 with a Penning trap"*. Eur. Phys. J. A (2006) DOI 10.1140/EPJA/I2006-10088-6.

P. Karvonen, ..., A. Popov, ... *"LIST developments at IGISOL"*. RNB7 proceedings To be published in Eur. Phys. J. A.

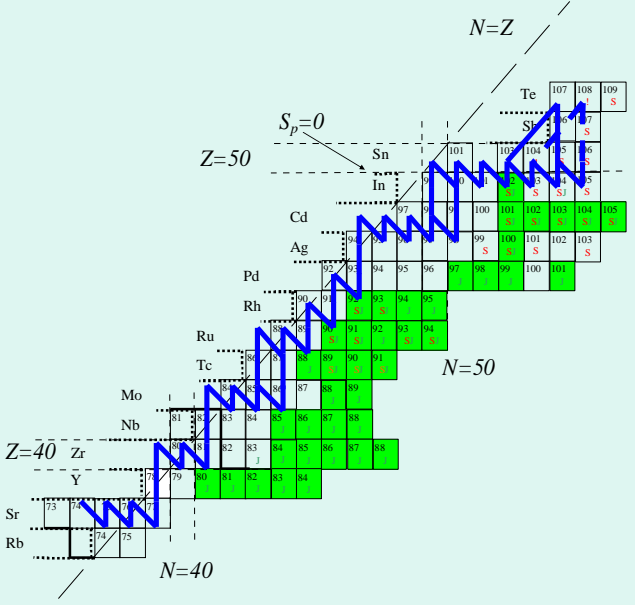
B. Tordoff, ..., A. Popov, ... *"An Ion Guide for the Production of a Low Energy Ion Beam of Daughter Products of α -Emitters"* to be published 2006 (NIM)

B. Tordoff, ..., A. Popov, ..., *"Investigations of the Low Lying Isomer in ^{229}Th by Collinear Laser Spectroscopy"*, submitted to Hyp. Int.

Ионный источник продуктов реакции слияния-испарения



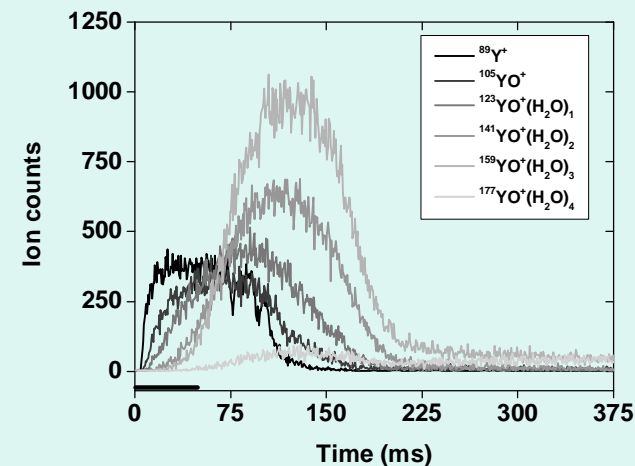
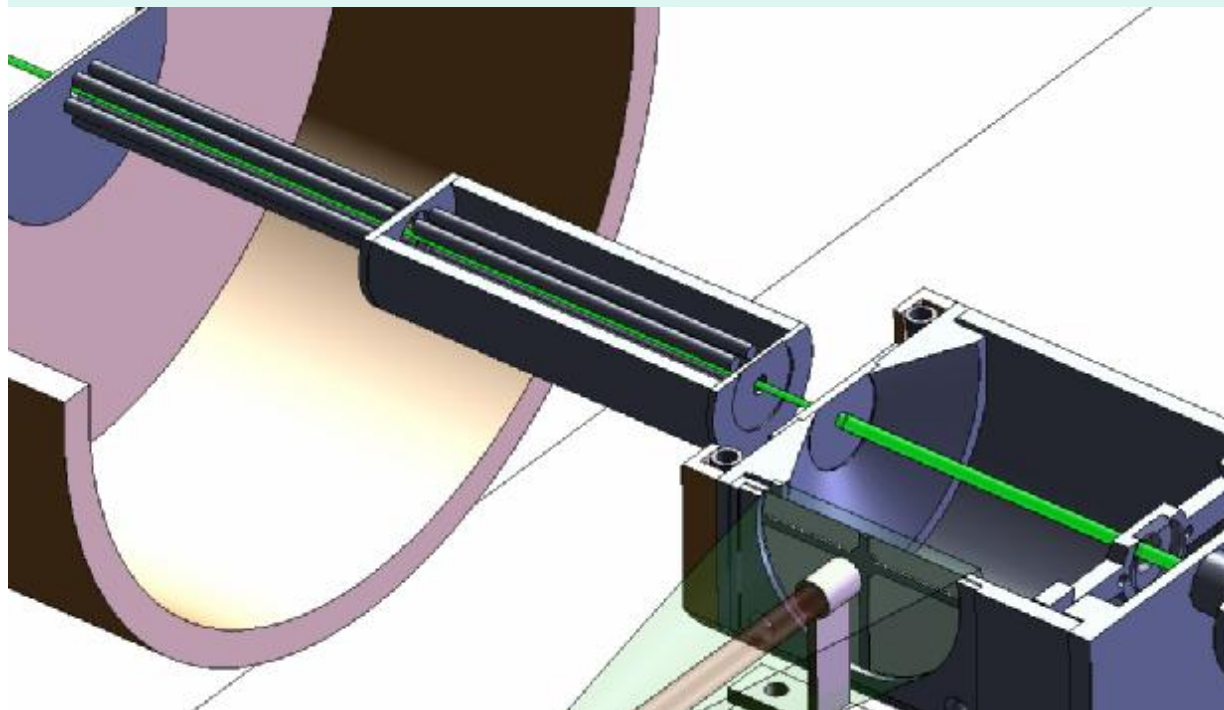
HIGISOL



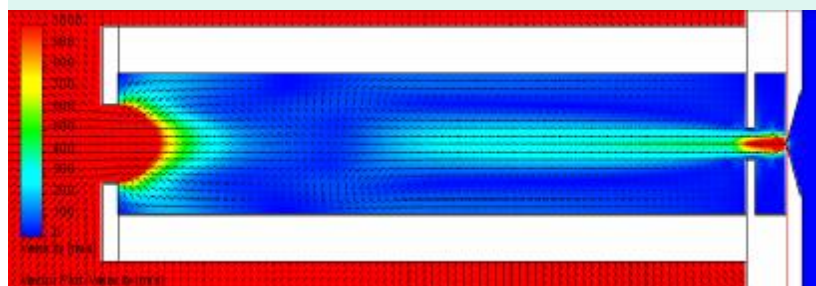
- Система подвижных мишеней с газовым охлаждением для работы с интенсивными пучками тяжелых ионов.
- Транспорт ионов в РЧ-секступоле позволяет эффективно проводить ионы в области дифференциальной откатки.
- Адаптирован для получения ионов в режимах “внутренней” и “внешней” лазерной ионизации.

A. Kankainen, ..., L. Batist, S.A. Eliseev, Yu.N. Novikov, A.V. Popov, D.M. Seliverstov, G.K. Vorobjev *“Mass measurements of neutron-deficient nuclides close to A ~ 80 with a Penning trap”*. Eur. Phys. J. A (2006).

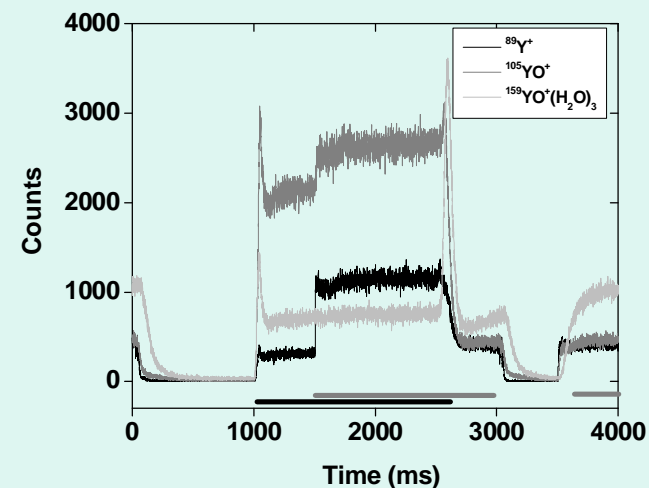
Получение ионов в режимах “внутренней” и “внешней” лазерной ионизации.



“Отклик” на лазерный импульс (100мс)

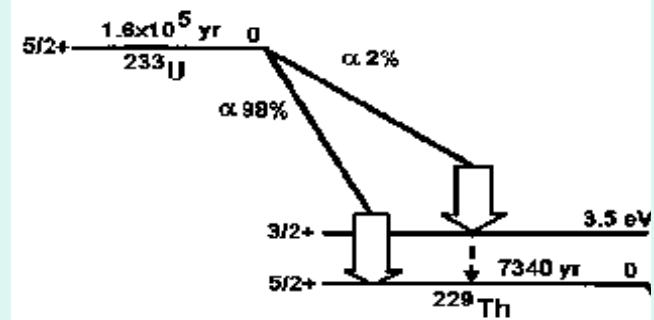
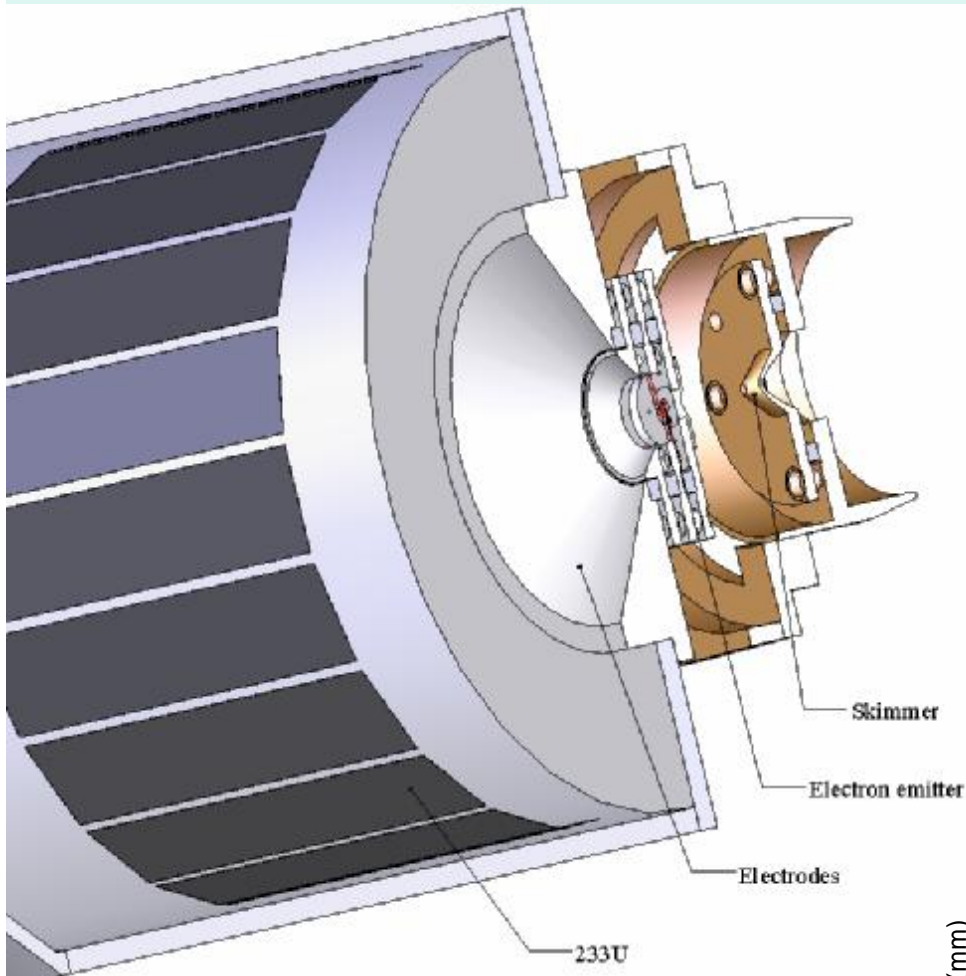


Распределение скоростей в первом секступоле



“Отклик” на лазерный импульс в присутствии пучка

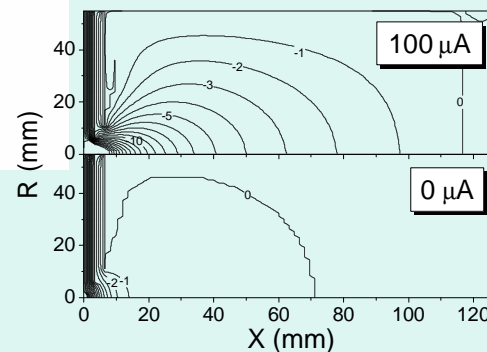
Источник ионов для поиска низколежащего изомера ^{229m}Th



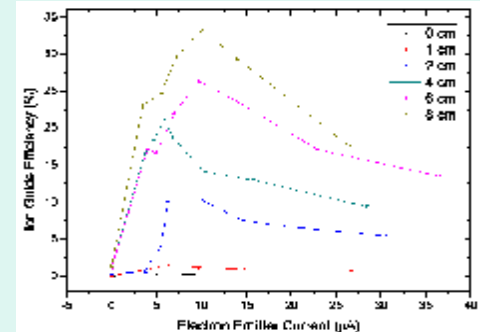
Для обнаружения изомера предполагается использование коллинеарной лазерной спектроскопии масс-сепарированного пучка.

Атомы отдачи из распада ^{233}U тормозятся в 50мбар He и в состоянии 1^+ и извлекаются с помощью эл.поля.

Электростатический потенциал формируется с помощью объемного заряда электронов.



Распределение потенциала



Эффективность

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

Л.Х.Батист

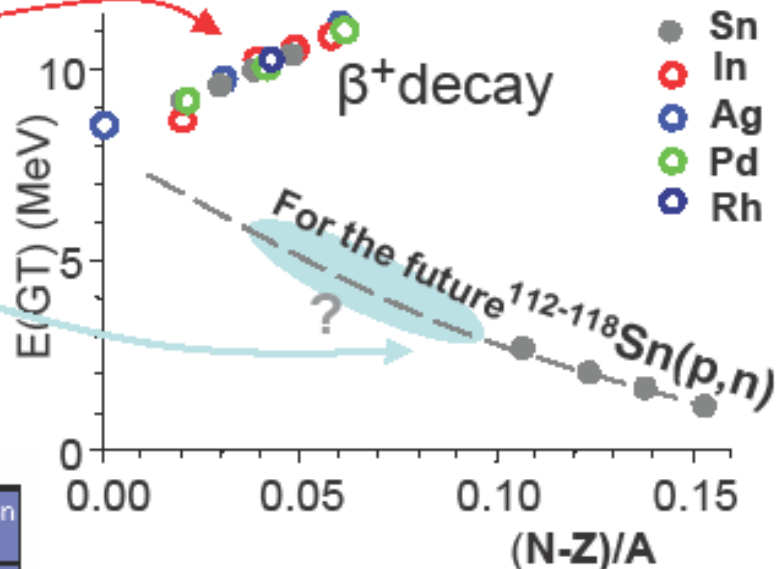
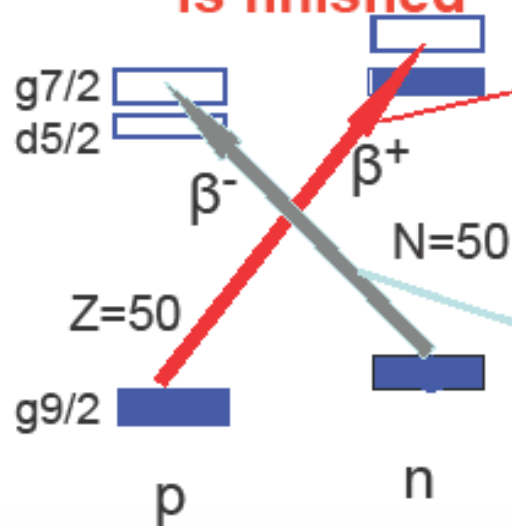
- Эксперименты по программе «исследование бета - распада ядер вблизи ^{100}Sn » были завершены 2 года назад. В 2005 году продолжалась подготовка данных для печати. В первой половине 2006 года были завершены публикации всех результатов кроме данных по распаду ^{101}Sn . В настоящее время результаты практически подготовлены для печати.
- В связи с завершением темы стоит задача обзора данных по характеристикам ГТ-резонанса в области $N, Z=50$. Результаты по энергии ГТ возбуждений при бета плюс распаде показаны на рисунке в качестве примера вместе с данными для бета минус ветви, полученными в реакциях на стабильных ядрах.

Бета распад ядер вблизи ^{100}Sn

Энергии

Experimental program is finished

резонанса Гамова-Теллера в β^+ и β^- каналах



опубликовано
 готовится к публикации

| | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | ^{100}Sn | ^{101}Sn | ^{102}Sn | ^{103}Sn | ^{104}Sn | ^{105}Sn | ^{106}Sn | |
| | | | | | ^{99}In | ^{100}In | ^{101}In | ^{102}In | ^{103}In | ^{104}In | ^{105}In |
| | ^{84}Ag | ^{85}Ag | ^{86}Ag | ^{87}Ag | ^{88}Ag | ^{89}Ag | ^{90}Ag | ^{91}Ag | ^{92}Ag | ^{93}Ag | ^{94}Ag |
| | | ^{94}Pd | | | | | | | | | |
| | | | ^{94}Rh | | | | | | | | |
| N | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | |

Экспериментальные данные (p,n)-реакции: K. Pham et al., Phys. Rev. C 51, 526 (1995) 1

ФРАГМЕНТАЦИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР В ЭМУЛЬСИИ

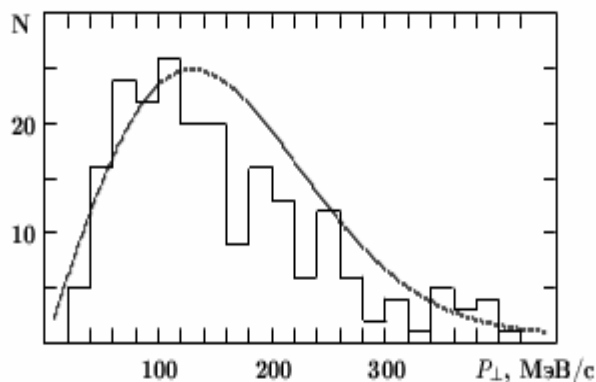
Лепехин Ф. Г. и Ткач Л. Н.

В 2006 году получены данные о распределении поперечных импульсов изотопов гелия при фрагментации ядер В-11 с имп. 2.75 А ГэВ/с, опубликованы в Препринте ПИЯФ и приняты к печати в ЯФ в 2007 году.

План 2007года:

- Исследование процессов неупругого взаимодействия нейтронов, фрагментов ядер свинца при энергии 160 А ГэВ/с с ядрами в фотоэмульсии.
- Изучение процесса множественного образования альфа-частиц при фрагментации релятивистских ядер магния и азота фотоэмульсии

На рисунке кривая – это то, что должно было бы быть, если справедлива гипотеза предельной фрагментации ядер, гистограмма – эксперимент.



Исследование “projectile- fragmentation” в реакциях расщепления ядер

Эксперименты в Циклотронной лаб. Мичиганского Университета.

В 2006 г. в рамках коллаборации NSCL MSU и NEPD PNPi проведена обработка данных, полученных в экспериментах по projectile фрагментации изотопных пучков Ca и Ni с энергией 140 МэВ/нуклон на мишенях Be и Ta с целью измерения сечений образования редких изотопов на фрагмент-сепараторе NSCL A1900. Сечения были получены интегрированием импульсных распределений $P||$ изотопов с $Z \geq 5$.

На рис.1 представлены карты сечений образования 752 изотопов, измеренных при фрагментации вышеупомянутых пучков.

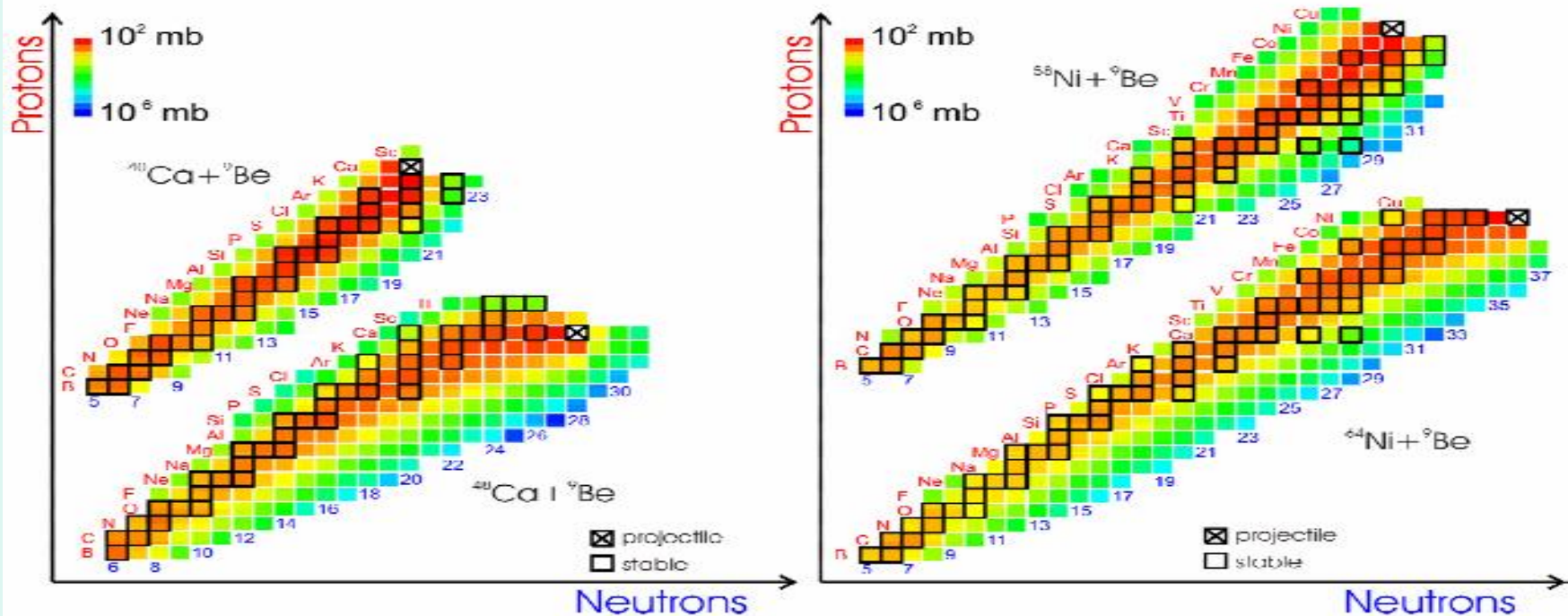
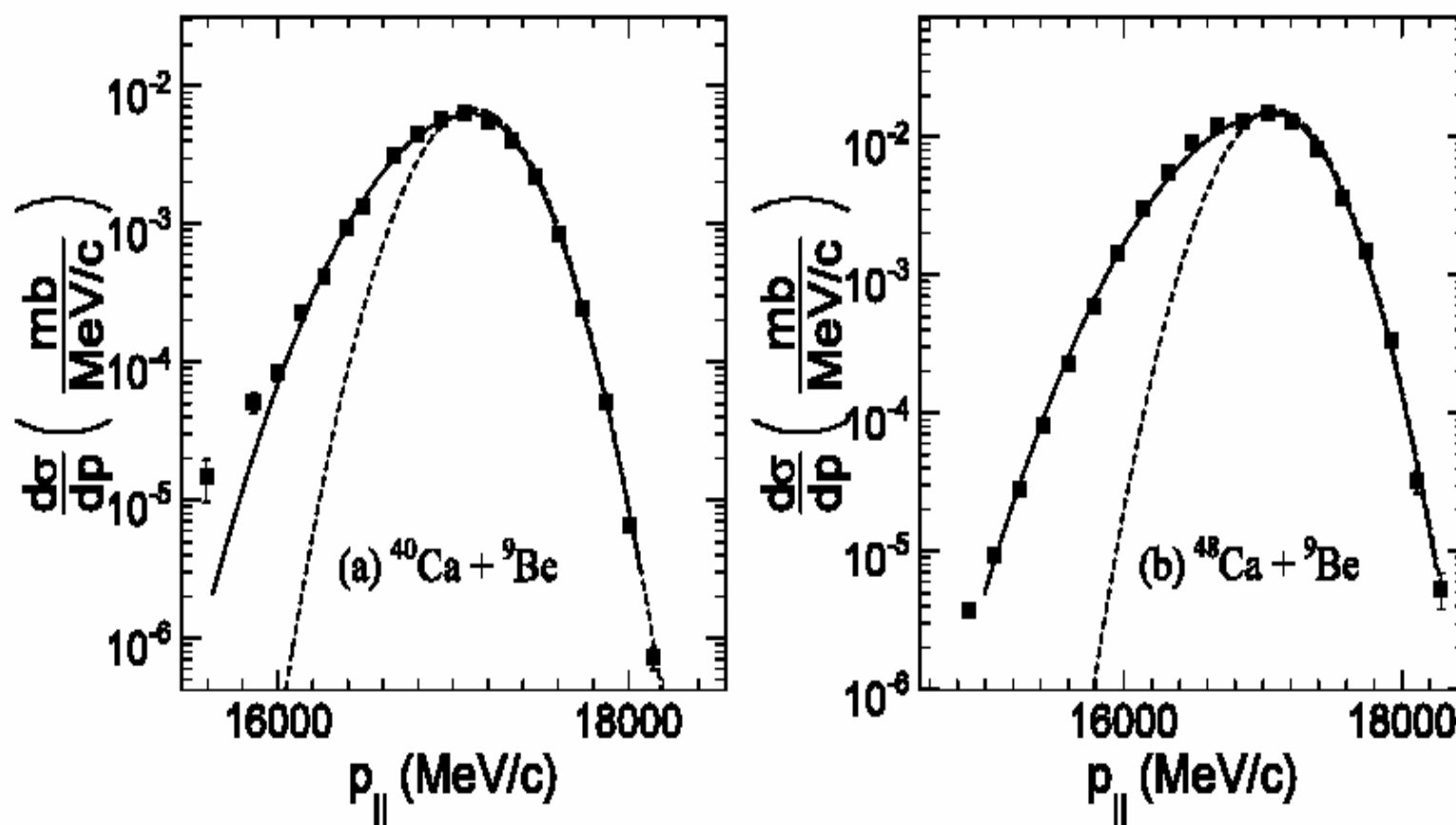


Рис.2 Пример импульсного распределения $P_{||}$ для ^{33}P , имеющего несимметричный характер при промежуточных энергиях в отличие от фрагментации при высоких энергиях в результате суперпозиции двух типов фрагментации: "projectile fragmentation" и "multifragmentation".



П Л А Н на 2007 год

1. Разработка алгоритма для автоматической идентификации продуктов при анализе данных с мультidetектора CHIMERA (LNS INFN).
2. Получить оценки температуры делящихся ядер на основании изоскейлинг-анализа продуктов низкоэнергетичного деления.
3. Участие в наборе и анализе данных в экспериментах по projectile фрагментации на фрагмент-сепараторе A1900 (NSCL MSU).

Разработка способов внедрения в углеродные матрицы радионуклидов I, Tc и трансплутониевых элементов (“minor actinides”) с целью их последующей трансмутации.

Основа способа:

- **пиролиз дифталоцианинов** соответствующих элементов в атмосфере аргона (рис.1).
- **для внедрения йода - пиролиз дифталоцианина иттрия** в автоклаве под давлением образующихся в результате пиролиза **газов в присутствии йода** (рис. 2).

Основные результаты:

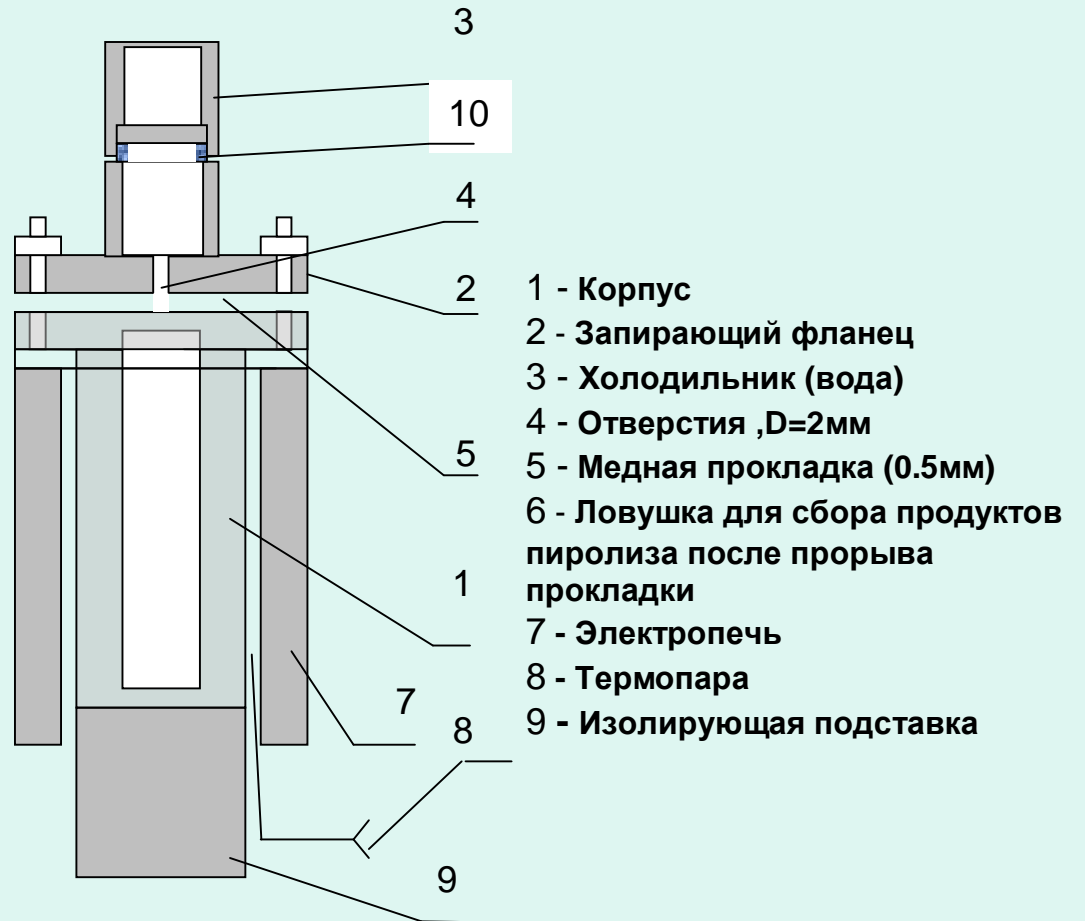
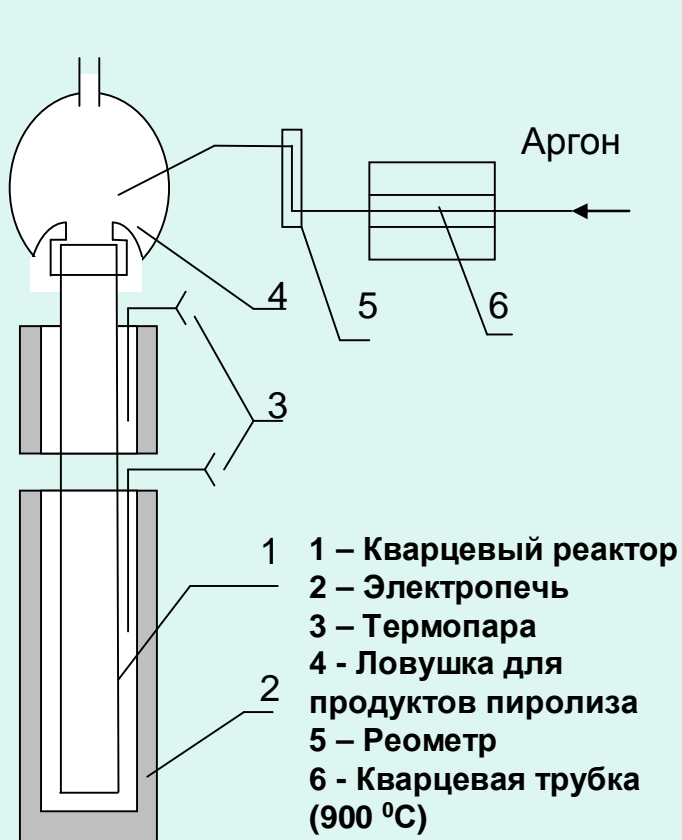
- **Эффективность** внедрения радионуклидов в матрицу (в % от исходного количества) составляет:
100% (>99 %) для Eu, Tc, Am и 85-90% - для йода.
- **Термическая устойчивость** (степень выделения из матрицы при нагревании) – результаты приведены на рисунках.
- **Элементный состав** углеродной матрицы после пиролиза в весовых процентах::
при внедрении йода : **I – 12-15, Y- 18-20, N – 1,5-2, H – 0,1, остальное – C(63-68)**
при внедрении других радионуклидов:
Me (Y, Tc, Eu, Am) -18-20, N – 1,5-2, H-0,1, C-78-80.

Всего за истекший год проведено свыше **30** синтезов углеродных матриц с внедрением **Eu, Re, I, Tc и Am.**

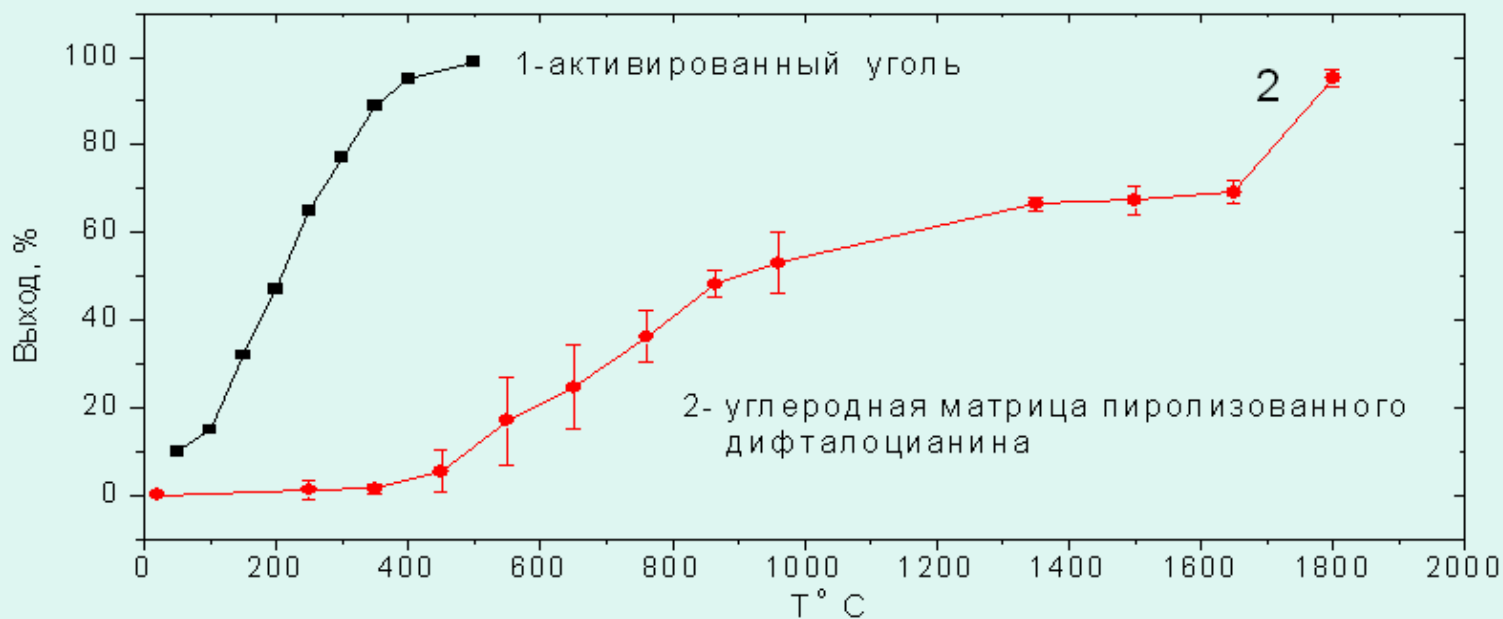
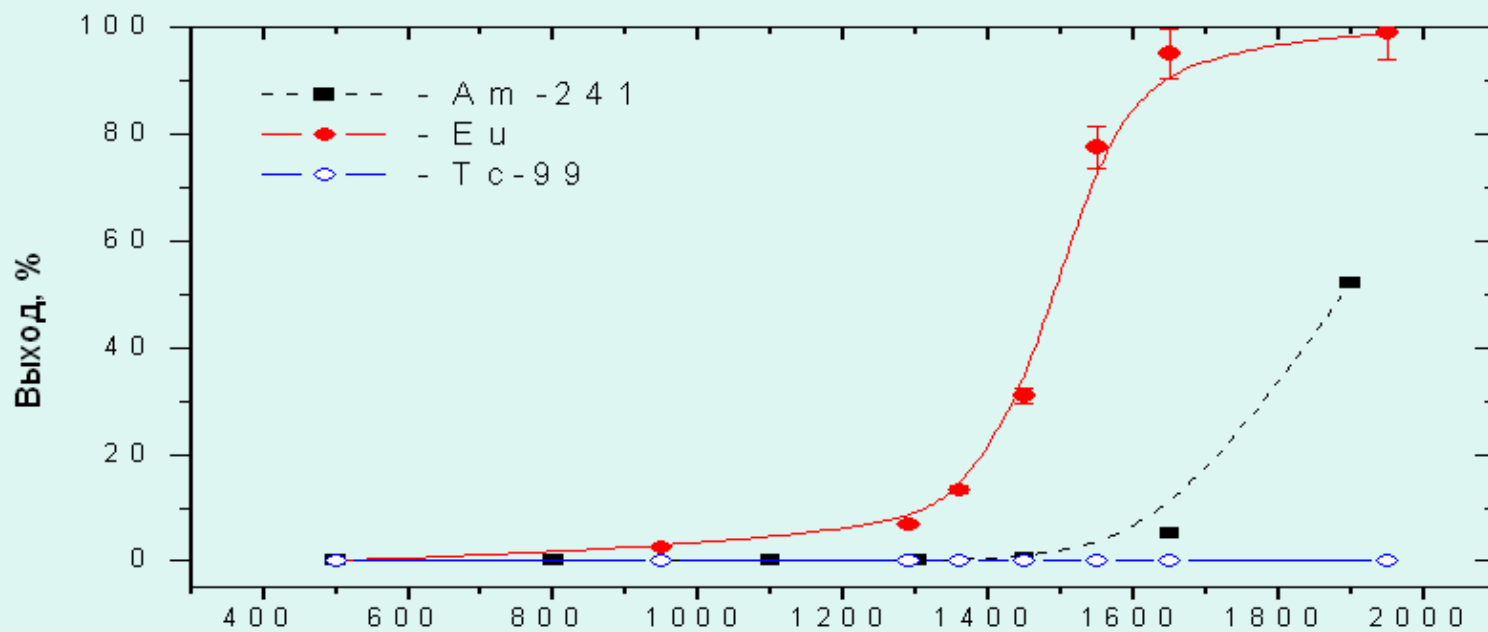
Полученные результаты позволяют с определенной уверенностью полагать, что наш метод иммобилизации радиоактивных нуклидов ТПЭ, йода и технеция с целью их хранения и, в особенности трансмутации, может быть успешно реализован на практике.

Схемы установок пиролиза

- Пиролиз в атмосфере аргона
- Пиролиз под давлением



Зависимость выделения элементов от температуры



Выделение йода из углеродной матрицы в вакууме

План по теме «Инкапсулирование р/а изотопов I, Tc и ТПЭ в углеродные матрицы» на 2007 год

1. Исследование радиационной устойчивости и устойчивости в нейтронном потоке углеродных матриц с внедрёнными в них р/а изотопами йода, технеция и америция.
2. Проведение синтеза углеродной матрицы, содержащей одновременно р/а изотопы I, Tc и Am, с целью повышения эффективности её использования для хранения и (или) трансмутации этих радионуклидов.
3. Исследование газоадсорбционных свойств углеродных матриц, образующихся при пиролизе металлоорганических соединений.
4. Изучение электрофизических свойств углеродных матриц.

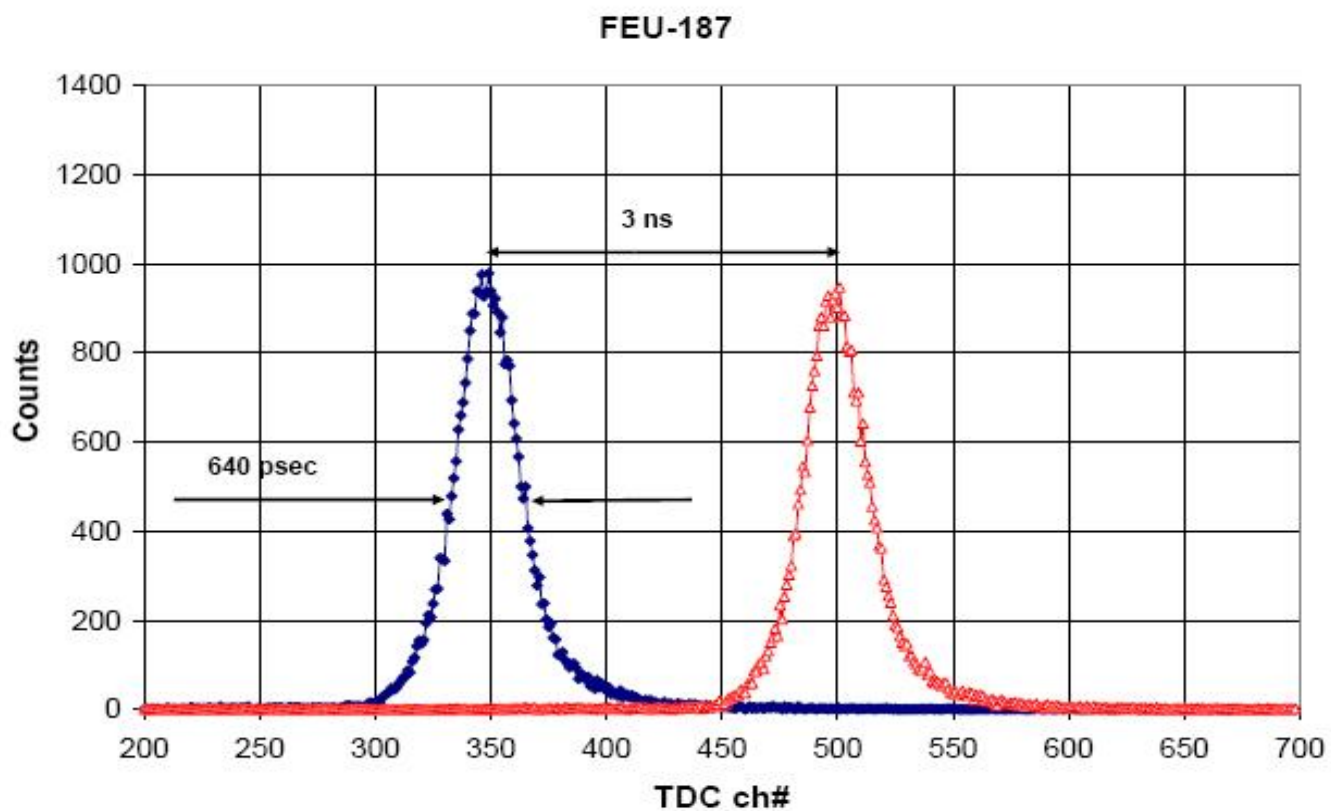
Временное разрешение FMPMT (ФЭУ-188)

Временное разрешение многокаскадных сеточных фотоумножителей (ФЭУ-187) определено двумя методиками :

1. Измерением времени пролета между двумя пластическими сцинтилляторами ВС-420 толщиной 2см на базе 4м. При импульсе налетающих частиц (π , K , p), составляющем $P=1,8\text{ГэВ/с}$, получено временное разрешение $\sigma=58$ пикосек на один детектор.
2. Измерением однофотонного сигнала ФЭУ-187 от лазера с длиной волны 635нм и длительностью импульса 35 пикосек. При пороге регистрации $\sim 0,4$ ph.e. получено временное разрешение $\sigma=270$ пикосек .

На 2007 год запланировано участие в тестовых измерениях по программе эксперимента "CASTOR" в CERN.

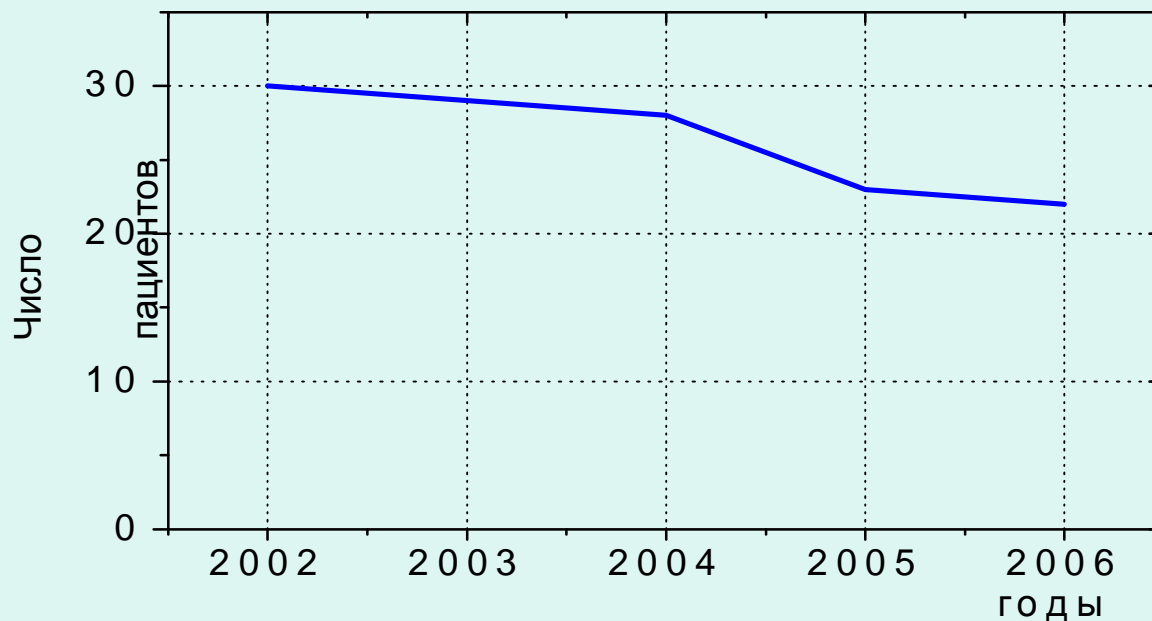
Временное разрешение ФЭУ-188 с однофотонным сигналом



Опыт протонной стереотаксической терапии ЦНИИРИ на синхроциклотроне ПИЯФ РАН в 2006 году

| Заболевание | Число пациентов |
|--|------------------------|
| Нормальный аденогипофиз | |
| Рак предстательной железы | 6 |
| Рак молочной железы | 6 |
| Аденома гипофиза | |
| Болезнь Иценко-Кушинга | 2 |
| Соматотропная | 4 |
| Артерио-венозные аневризмы головного мозга | 4 |
| ИТОГО: | 22 |

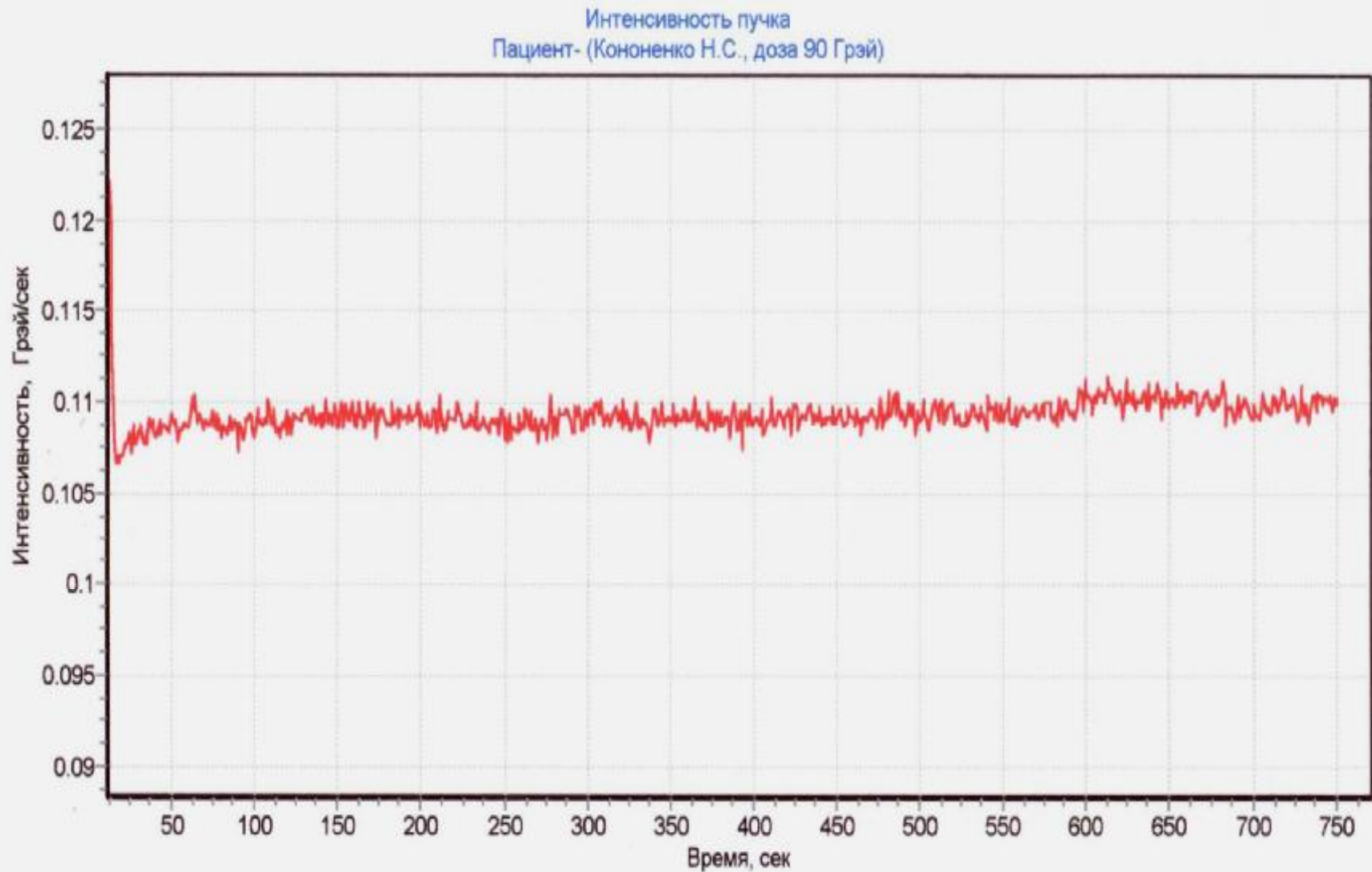
Динамика лечения больных на синхроциклотроне ПИЯФ РАН



| Год | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|---------------|------|------|------|------|------|
| Число больных | 30 | 29 | 28 | 23 | 22 |

Общее число больных: 132 человека

Временное распределение интенсивности протонного пучка во время облучения



Список докладов и публикаций ГФЭЯ за 2006 год.

Доклады:

- **С.А.Елисеев “Extraction efficiency and extraction times of the SHIPTRAP gas stopping cell”**, International Workshop on Stopping and Manipulating of Ions CMI-2006, Groningen Germany 2006.
- **Д.М.Селиверстов “Proton therapy facility at Petersburg Nuclear Physics Institute”**, PTGOG44, Zurich Switzerland 2006.

Публикации:

1. **Vector and tensor analyzing powers of the $^1\text{H}(d,g)^3\text{He}$ capture reaction** T. Klechneva, Y. Gusev, D. Seliverstov et al. Phys. Rev. C 73, 03 4005, (2006)
2. **Mass measurement of neutron-deficient nuclides close to $A=80$.** A. Kankainen,.. L. Batist,.. S.A.Eliseev, Yu. N. Novikov, A.V.Popov, D.M.Seliverstov, G.K.Vorobjev et. al. EPY A20 (2006) 271-286.
3. **1000 MeV Proton beam therapy facility at Petersburg Nuclear Physics Institute Synchrocyclotron.** N.K. Abrosimov et. al. Journal of Physics: Conference Series 41 (2006) 424-432.
4. **Experiments with stored exotic nuclei at relativistic energies.** F. Bosch, H. Geissel, Yu. Novikov et. al. Inter. Journal of Mass Spectr. 251(2006) 212-219.
5. **Proton-proton correlation observed in two-proton radioactivity of ^{94}Ag .** T. Mikha, E. Roeckl, L. Batist et. al. Nature 439 (2006) 298.
6. **Beta decay ^{94}Pd and of the 71S isomer of ^{94}Rh .** L. Batist et. al. Euro Phys. J. A 29 (2006) 175.
7. **Beta decay of the proton-rich nuclei ^{102}Sn and ^{104}Sn .** M. Karny, L. Batist et. al. Euro Phys. J. A 27 (2006) 129.

8. **Gamov – Teller beta-decay of ^{105}Sn .** M.Kavatshuk, L. Batist et. al. Euro Phys. J. A 29 (2006) 183.
9. **Decay Q value of ^{105}Sn and of others near ^{100}Sn measurements on GSI on-line mass-separator.** L. Batist et. al. Inter. Journ. of Mass Spectr. 251(2006) 138.
10. **Поперечные импульсы изотопа гелия при фрагментации релятивистских ядер ^{11}B в фотоэмульсии.** Ф.Г. Лепехин. Препринт ПИЯФ № 2674, (2006) 24 с. Принято к публикации в ЯФ.
11. **Метод классификации изотопов водорода и гелия по их массовым числам.** Ф.Г. Лепехин. Препринт ПИЯФ № 2662 (2006) 11 с.
12. **Projective fragmentation of ^{40}Ca , ^{48}Ca , ^{58}Ni and ^{64}Ni at 140 MeV/c.** M. Mosco, L. Andronenko, M. Andronenko et. al. Submitted to Phys. Rev. (2006).
13. **Isotope ratios and isoscaling of spallation products in p(1GeV) + A reactions.** L. Andronenko, M. Andronenko, W. Neubert et. al. Submitted to Eur. Phys. Jour. (2006) .