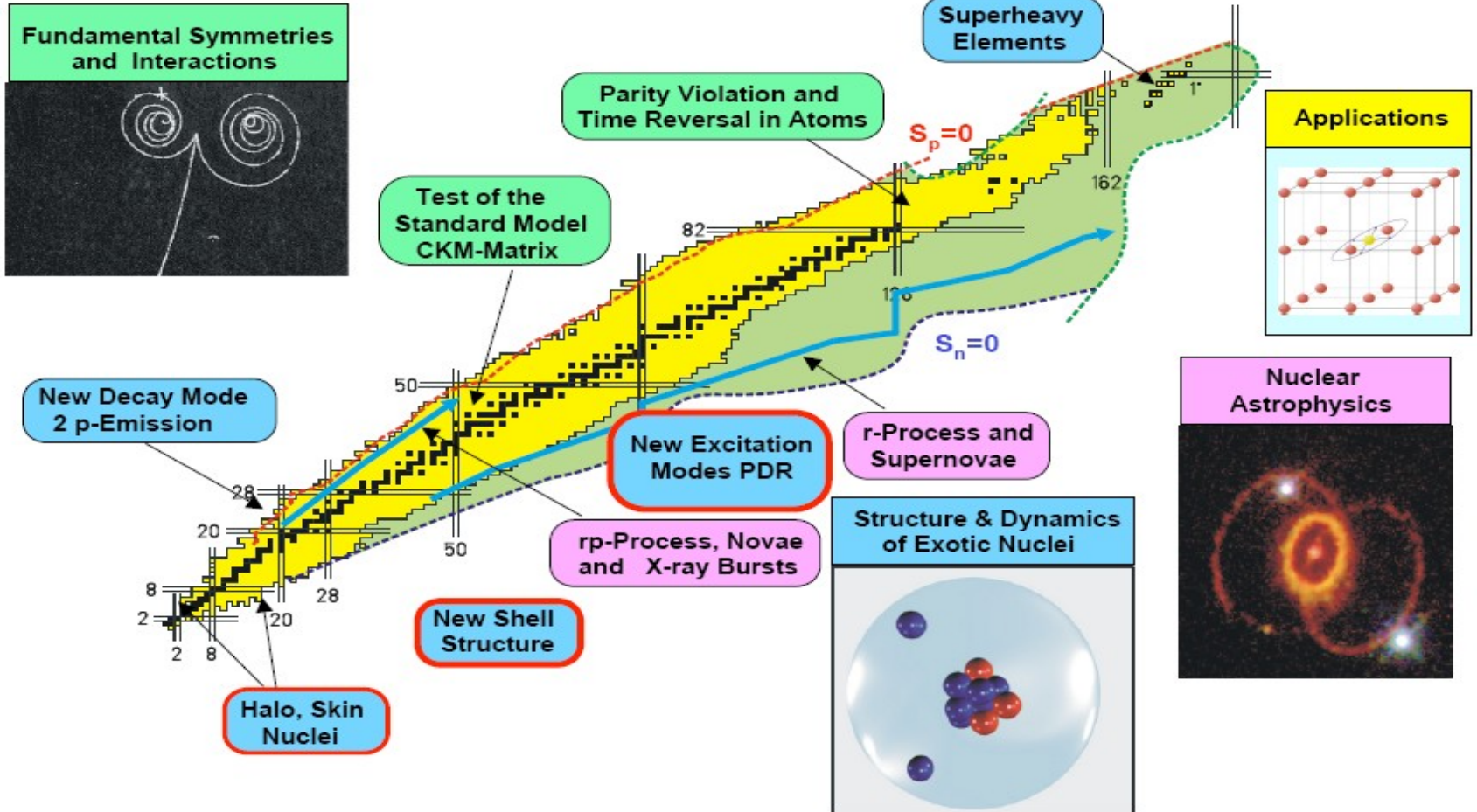


Сессия ученого Совета ОФВЭ, 26-28 декабря 2011г.,

*Лаборатория короткоживущих ядер
В. Н. Пантелеев*

Эксперименты на установке ИРИС

Physics with Exotic Nuclei



Далеко не полный список радионуклидов, которые используются и, возможно, могут быть использованы для диагностики и терапии: **55** изотопов, **38** элементов

11C (20.38 мин., β^+ 1.0 МэВ, нет γ)
13N (9.96 мин., β^+ 1.2 МэВ, нет γ)
15O (2.03 мин., β^+ 1.7 МэВ, нет γ)
18F (109.7 мин., β^+ 0.6 МэВ, нет γ)
28Mg (20.9 ч., β^- 0.5, 0.9 МэВ, γ 31, 1342, 401. 942... кэВ)
30P (2.5 мин., β^+ 3.2 МэВ, γ 2235 кэВ)
34mCl (32 мин., β^+ 2.5 МэВ, γ 2127, 1178, ... кэВ)
38K (7.8 мин., β^+ 2.7 МэВ, γ 2168 кэВ)
43K (22.2 ч., β^- 0.8, 1.8 МэВ, γ 343, 618, ... кэВ)
44Sc (3.92 ч., β^+ 1.3 МэВ, γ 1157 кэВ)
44mSc (2.44 дн., γ 1002, 1281, ... кэВ)
45Ti (3.08 ч., β^+ 1.0 МэВ, γ 720 кэВ)
48Cr (3.92 ч., β^+ 1.3 МэВ, γ 1157 кэВ)
48Cr (3.92 ч., β^+ 1.3 МэВ, γ 1157 кэВ)
51Cr (27.7 дн., ϵ , γ 320 кэВ)
52Fe/52mMn (8.27 ч., β^+ 0.8 МэВ, γ 378 кэВ /21мин., β^+ 0.8 МэВ, γ 1434, 906, ... кэВ)
55Co (17.54 ч., β^+ 1.5 МэВ, γ 931, 477, ... кэВ)
57Ni (36.0 ч., β^+ 0.8 МэВ, γ 1378, 1920, ... кэВ)
61Cu (3.4 ч., β^+ 1.2 МэВ, γ 283, 656, ... кэВ)
64Cu (12.7 ч., β^+ 0.7 МэВ, β^- 0.6 МэВ, γ 1346 кэВ)
67Cu (61.9 ч., β^- 0.4, 0.6 МэВ, γ 185, 93, ... кэВ)
62Zn/62Cu (9.13 ч., β^+ 0.7 МэВ, γ 41, 597, ... кэВ /9.74 мин., β^+ 2.9 МэВ, γ 1173 кэВ)
66Ga (9.4 ч., β^+ 4.2, , γ 1039, 2752, ... кэВ)
67Ga (78.3 ч., ϵ , γ 93, 185, ... кэВ)
68Ge/68Ga (270.82 дн., ϵ , нет γ /67.63 мин., β^+ 1.9 МэВ, γ 1077, 1833, ... кэВ)
72As (26.0 ч., β^+ 2.5, 3.3 МэВ, γ 834, 630 кэВ)
72As (26.0 ч., β^+ 2.5, 3.3 МэВ, γ 834, 630 кэВ)
74As (17.77 дн., β^+ 0.9, 1.5, МэВ, β^- 1.4, МэВ, γ 596, 635 кэВ)
73Se (7.1 ч., β^+ 1.3, 1.7 МэВ, γ 381, 67 кэВ)
75Br (1.6 ч., β^+ 1.7 МэВ, γ 287, 141 кэВ)
76Br (16.0 ч., β^+ 3.4, 3.9 МэВ, γ 559, 667 кэВ)
77Br (57.0 ч., ϵ , β^+ , γ 238, 521 кэВ)
79Kr (34.9 ч., ϵ , β^+ 0.6, γ 261, 388 кэВ)
81Rb/81mKr (4.58 ч., ϵ , β^+ 1.1 МэВ, γ 488 кэВ /13.1 сек., $\text{I}\gamma$ 180 кэВ)
82Sr/82Rb (106 дн., ϵ , β^+ , γ 1836, 898 кэВ)
85Sr (64.9 дн., ϵ , нет β^+ , γ 514 кэВ)
87Y/87mSr (80.3 ч., ϵ , β^+ , γ 485 кэВ /2.81 ч., $\text{I}\gamma$ 388 кэВ)
88Y (106 дн., ϵ , β^+ , γ 1836, 898 кэВ)
111In (2.81 дн., ϵ , γ 245, 171 кэВ)
118Te/118Sb (6 дн., ϵ , нет β^+ , γ 3.5 мин., β^+
125I (59.41 дн., ϵ , γ 35 кэВ) 2.7, γ 1230, 1287 кэВ)
123I (13.2 ч., ϵ , нет β^+ , γ 159 кэВ)
122Xe/122I (20.1 ч., ϵ , γ 350, 149 кэВ /3.6 мин., β^+ 3.1 γ 564 кэВ)
127Xe (36.4 дн., ϵ , γ 203, 172 кэВ)
128Ba/128Cs (2.43 дн., ϵ , γ 273 кэВ /3.8 мин., β^+ 2.9, γ 443, 527 кэВ)
155Dy (10.0 ч., ϵ , β^+ 0.9, 1.1 МэВ, γ 227 кэВ)
167Tm (9.25 дн., ϵ , γ 532 кэВ)
166Yb (56.7 ч., ϵ , γ 82 кэВ)
195mHg/195mAu (40 ч., ϵ /30.5 сек., $\text{I}\gamma$ 262)
199Tl (7.42 ч., ϵ , γ 455, 208, ... кэВ)
201Tl (73.1 ч., ϵ , γ 167, 135 кэВ)
203Pb (51.9 ч., ϵ , γ 279, 401 кэВ)
205Bi (15.31 дн., ϵ , β^+ , γ 1764, 703, ... кэВ)
206Bi (6.24 дн., ϵ , β^+ , γ 803, 881, ... кэВ)
211At (7.22 ч., ϵ , α 5,86 МэВ, γ 887 кэВ)

Имплантированные в образцы ионы долгоживущих изотопов Zn и Ag также используются для исследований по физике твердого тела

Основные направления работ в 2011 году:

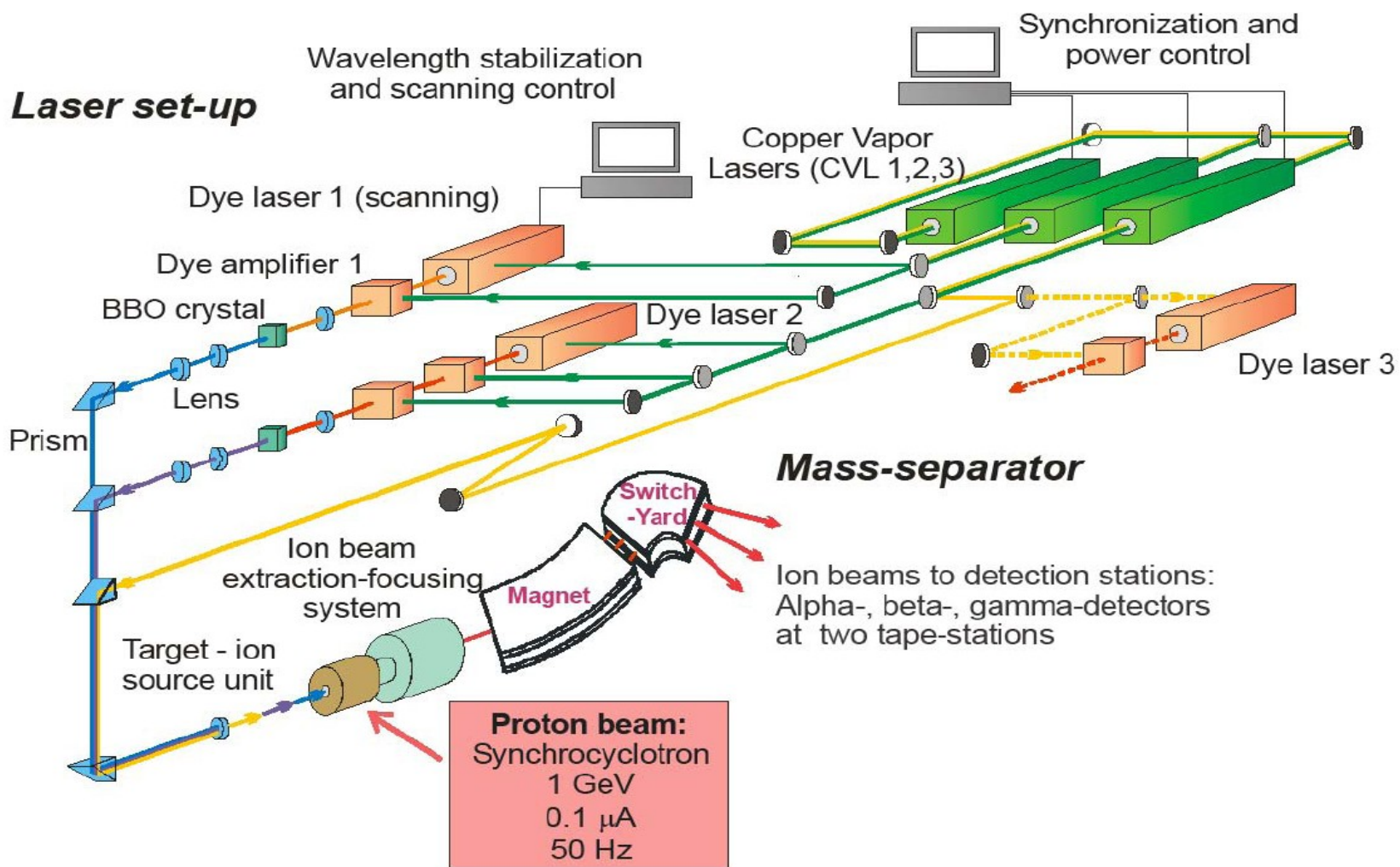
ИРИС

1. Запуск в рабочем режиме установки УЛИСС и проведение экспериментов по измерению изотопических сдвигов и сверхтонкой структуры изотопов Tl
2. Тесты по выделению генераторного изотопа ^{82}Sr из облученной ниобиевой мишени
3. Исследования выходов радионуклидов из различных мишеней
4. Работа над проектом ИРИНА
5. Подготовка тех. задания проекта РИЦ-80

ISOLDE

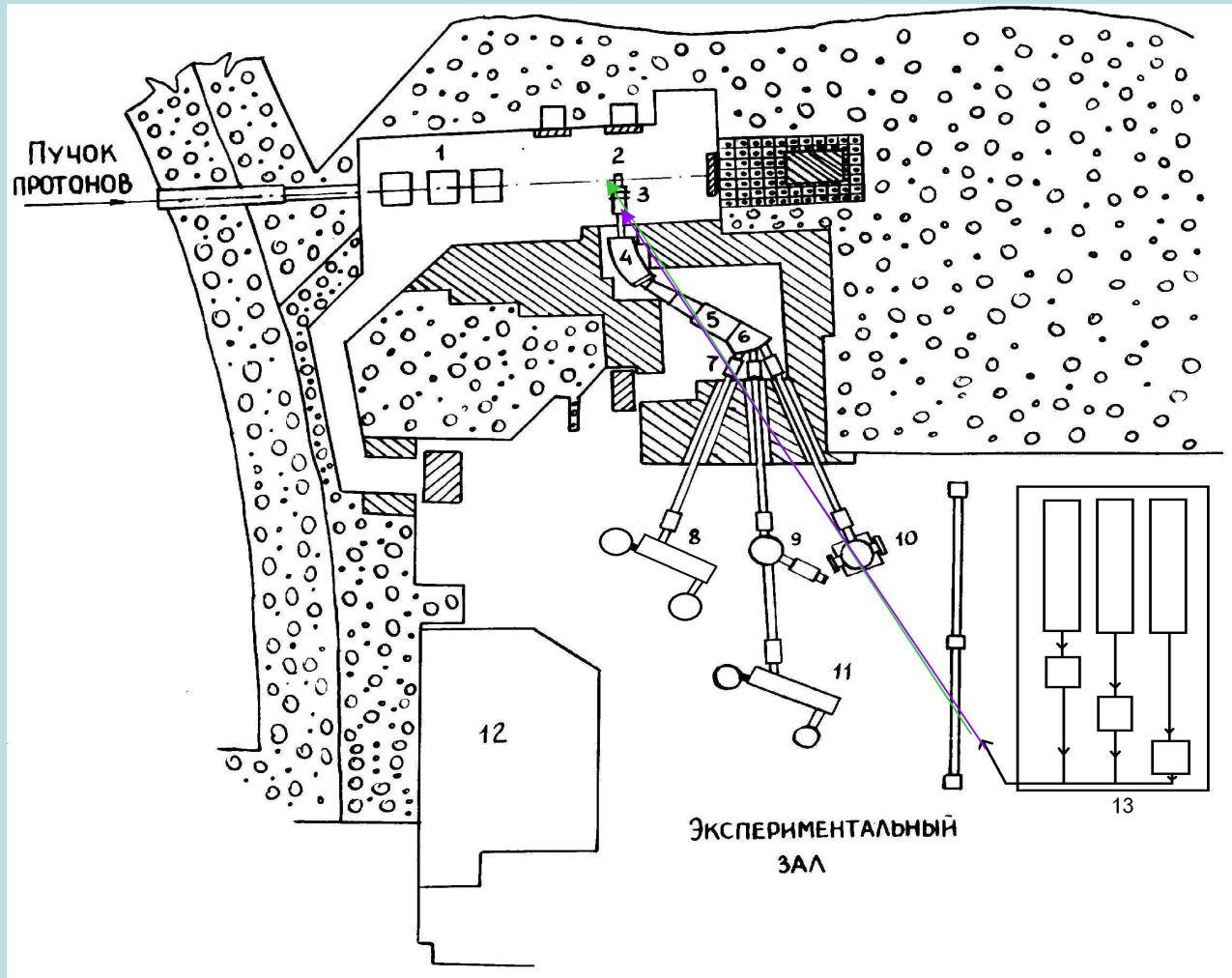
6. Обработка результатов исследований нейтронно-дефицитных изотопов Tl.
Лазерно-спектроскопические исследования изотопов At

Схема новой лазерной установки УЛИСС



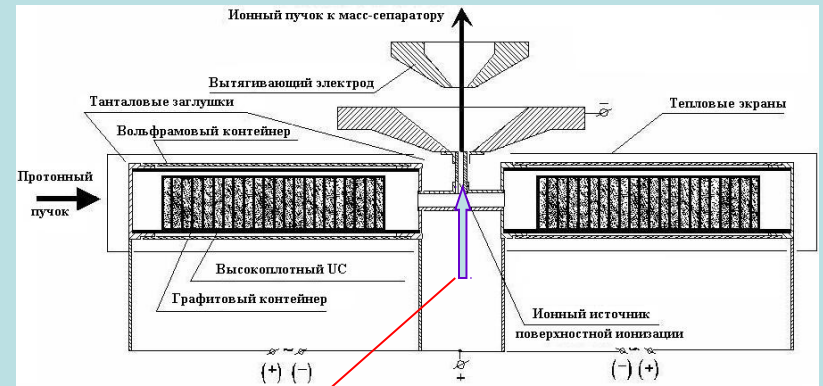
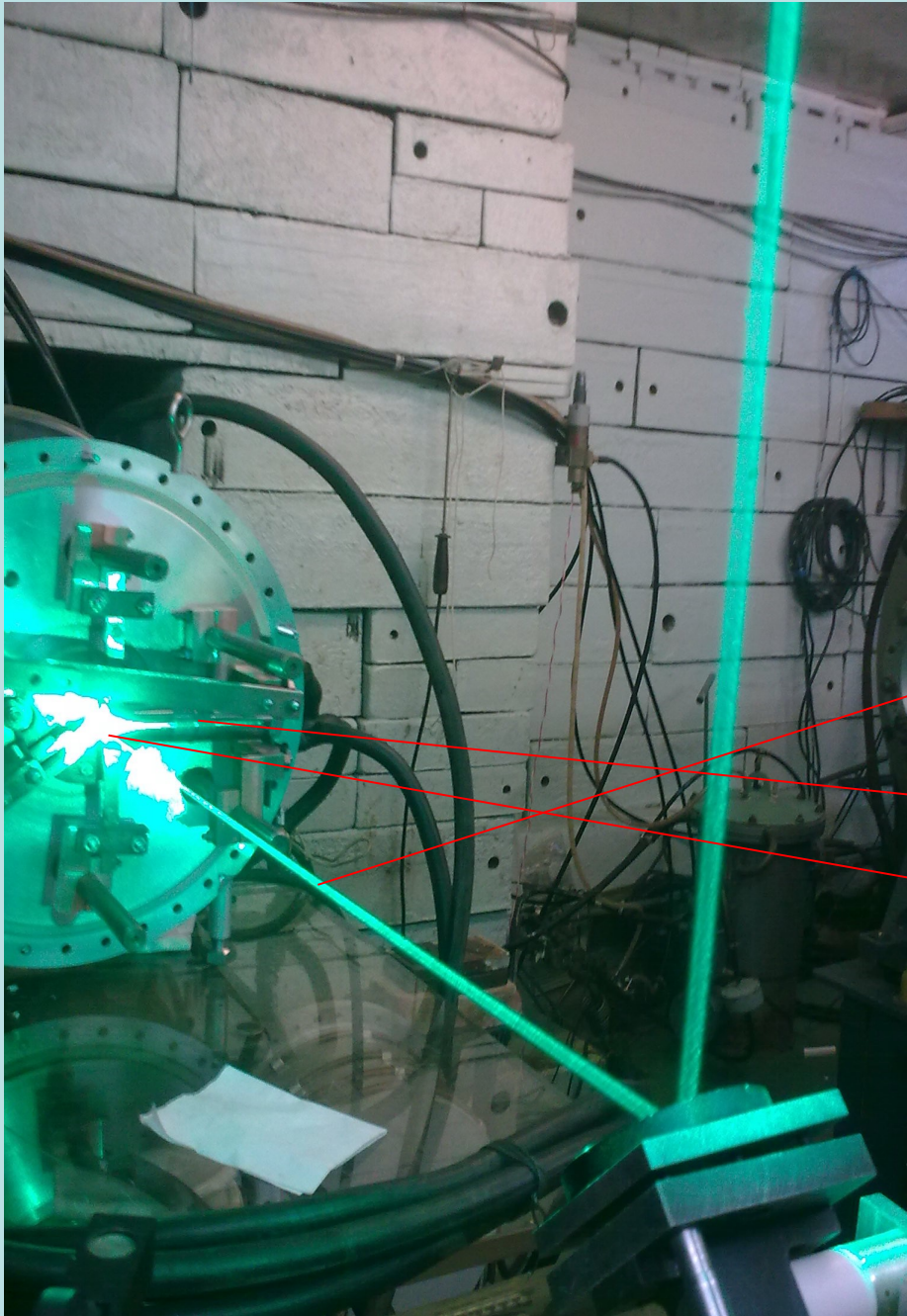
Экспериментальный зал ИРИС с новой лазерной установкой УЛИСС

ток протонов на мишени во время эксперимента 0.1 μ А



1. Магнитные линзы
2. Мишенное устройство
3. Линзовая камера масс-сепаратора
4. Анализирующий магнит
5. Дисперсионная камера
6. Камера разводки ионных пучков
7. Электростатические триплеты
8. Быстрая лентопротяжная система
9. Камера поворота ионного пучка
10. Поворотная камера
11. Лентопротяжное устройство
12. Off-line масс-сепаратор для исследования мишенно-ионных устройств для медицины
13. Универсальная лазерная ионизационно-спектроскопическая система (УЛИСС)

“Толстая” мишень: 91г/см² U-238



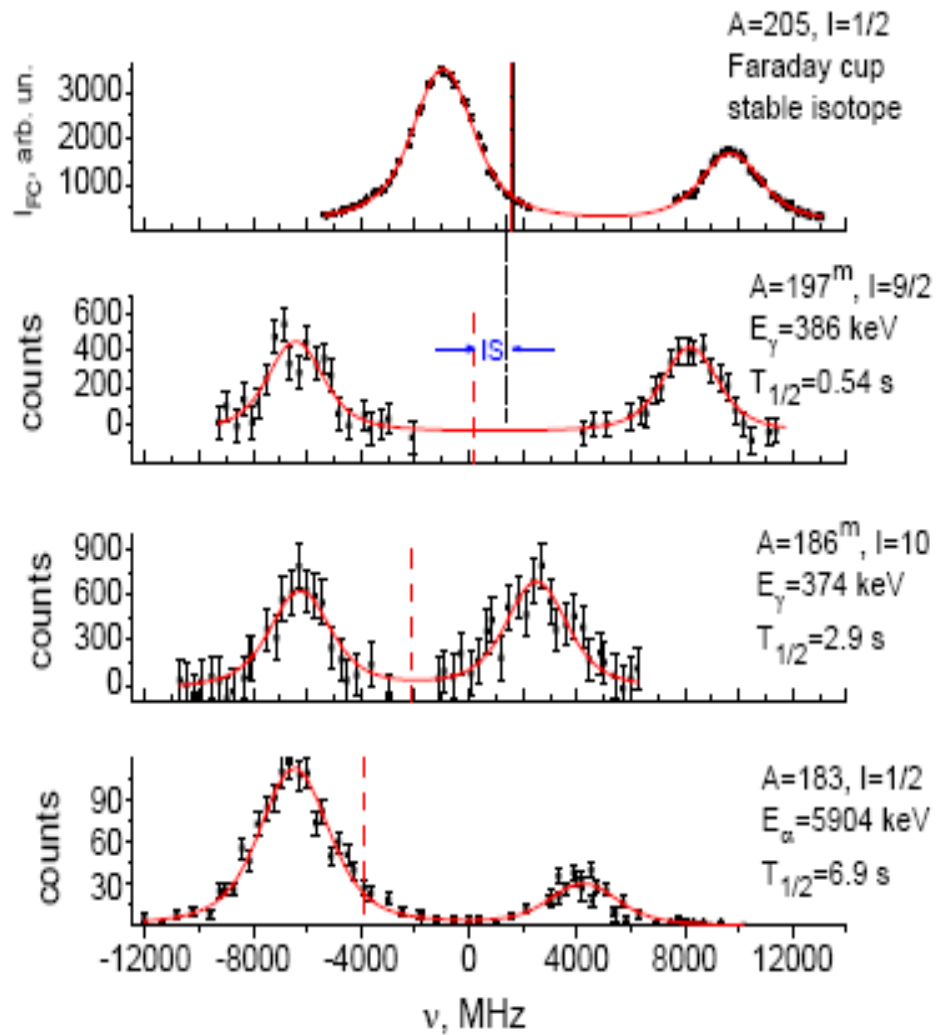
Ультрафиолетовый и зеленый лазерные лучи, сфокусированные в объем лазерного ионного источника

Мишень с карбидом урана высокой плотности

Лазерный ионный источник

Система УЛИСС работала в режиме “в линию” пять суток без перерыва

Сверхтонкая структура, изомерные и изотопические сдвиги Tl



На новой установке УЛИСС в режиме "on-line" впервые проведены измерения изотопических и изомерных сдвигов следующих 19-ти изотопов Tl:

183, 184, 185g, 185m, 186g, 186m, 187m, 188g, 189m, 190m, 190g, 191m, 192m, 192g, 193m, 194m, 194g, 195m, 197m.

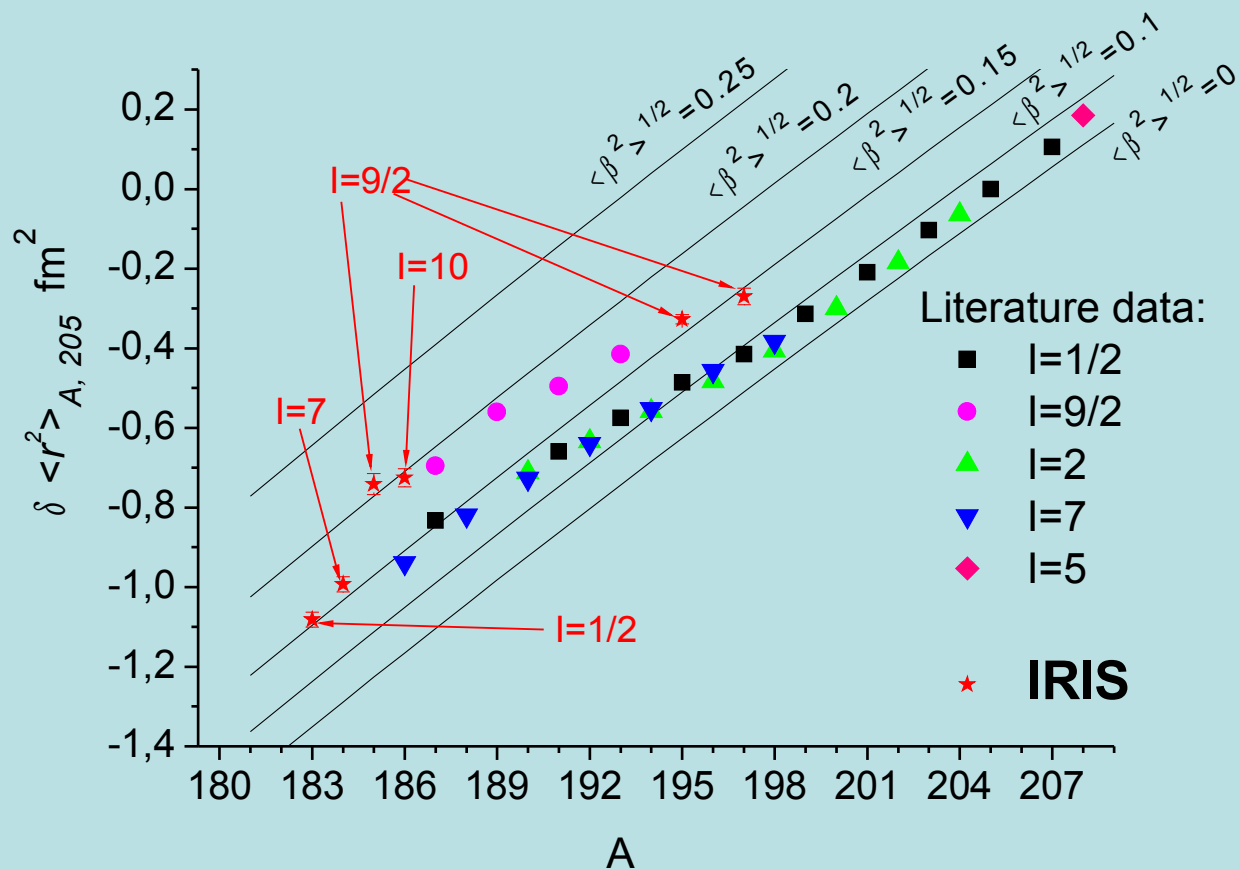
Впервые определены изменения среднеквадратичных зарядовых радиусов для:

183, 184, 185g, 185m, 186m, 195m, 197m.

Впервые измерены магнитные моменты: 183, 184, 185g, 185m, 186m, 195m, 197m.

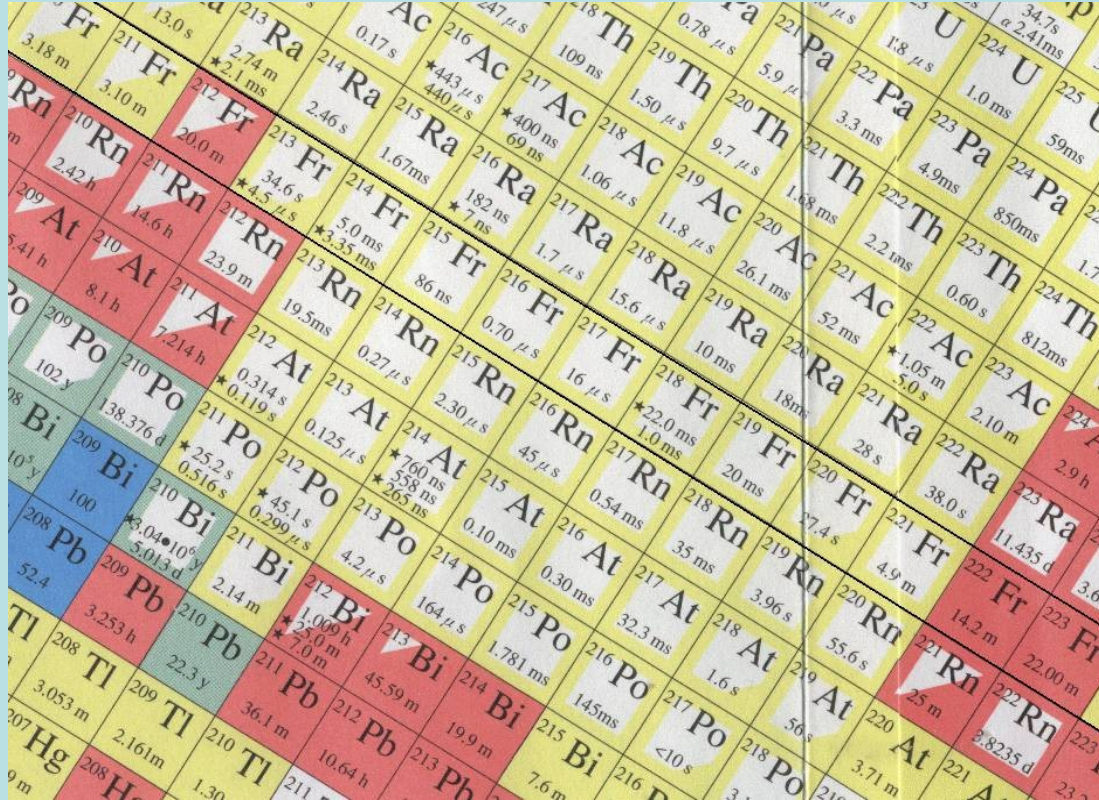
Магнитные моменты уточнены и исправлены для: 187m, 189m, 191m, 193m.

Впервые измерена аномалия сверхтонкой структуры для изомеров с $I=9/2$



Планы дальнейших лазерно-спектроскопических исследований на установке ИРИС

Область тяжелых α -распадчиков



Падение периодов полураспада более чем на три порядка у изотопов на максимуме сечения их образования в окрестности $N=126$

(^{219}Fr , $T_{1/2}=20\text{ ms}$; ^{220}Fr $T_{1/2}=27,4\text{ s}$)

(^{220}Ra , $T_{1/2}=18\text{ms}$; ^{221}Ra , $T_{1/2}=28\text{s}$)

(^{221}Ac , $T_{1/2}=52\text{ms}$; ^{222}Ac , $T_{1/2}=5\text{s}$)

Выходы ^{219}Fr

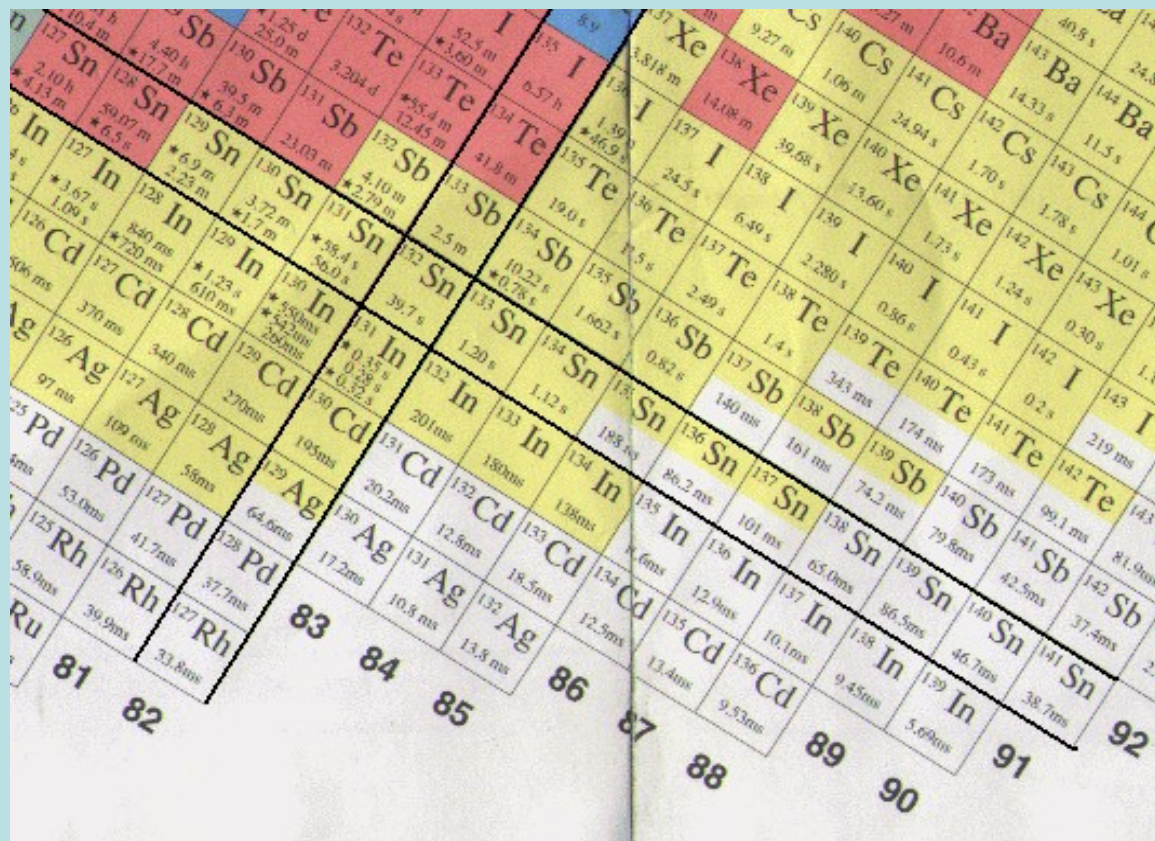
ИРИС 1.2×10^5

ISOLDE 9×10^3

Будет разработана мишень из карбида тория высокой плотности, выходы тяжелых радионуклидов из которой на порядок выше, чем из урановой мишени

Планы дальнейших лазерно-спектроскопических исследований на установке ИРИС и установках РИЦ-80 и ИРИНА

Область нейтроноизбыточных ядер, прилегающая к дважды магическому ^{132}Sn



Наиболее интересные объекты исследований - Te, Sb, Sn ($Z=50$), In, Cd и Ag с числом нейтронов близким к $N=82$

Выход ^{132}Sn

ИРИС 5×10^6

ISOLDE 8×10^7

РИЦ-80 2×10^8

ИРИНА 1×10^9

Разработанная и используемая в настоящее время мишень из карбида урана высокой плотности обеспечивает высокий и быстрый выход радионуклидов этой области

Планы дальнейших лазерно-спектроскопических исследований на установке ИРИС и установках РИЦ-80 и ИРИНА

Область нейтроноизбыточных ядер в окрестности магического числа нейтронов $N=50$ (Ge, Ga, Zn, Cu и Ni)



Исследование формы ядер изотопов Ge, Ga, Zn, Cu и Ni (в окрестности оболочки с магическим числом протонов $Z=28$ и магическим числом нейтронов $N=50$) с целью изучения влияния на форму ядра оболочечного эффекта.

Получение удаленных нейтроноизбыточных изотопов Ni требует разработки "быстрых" мишеней из карбида урана

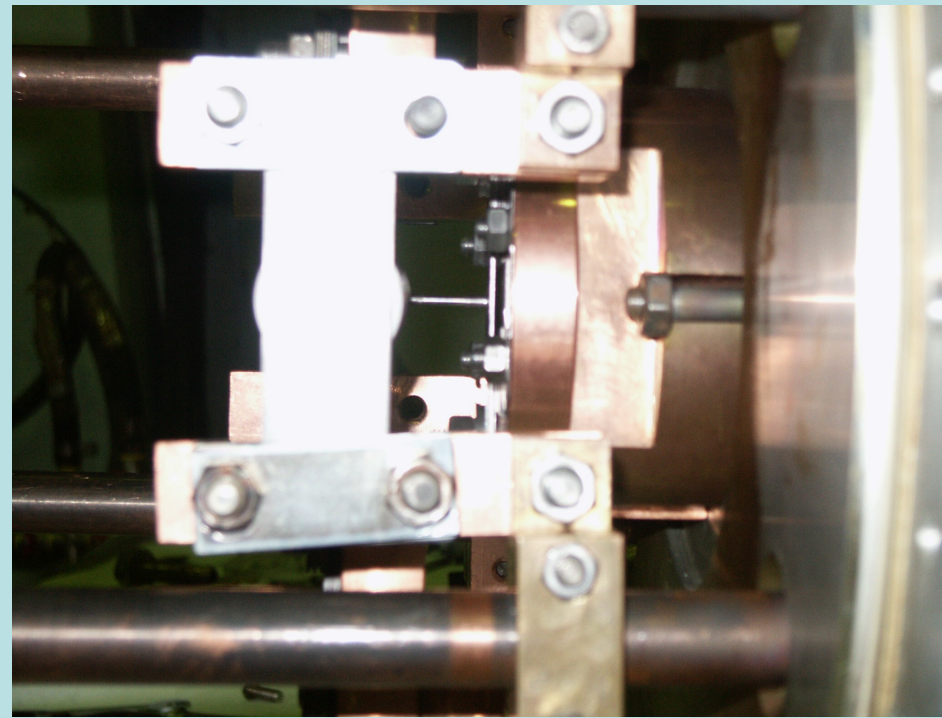
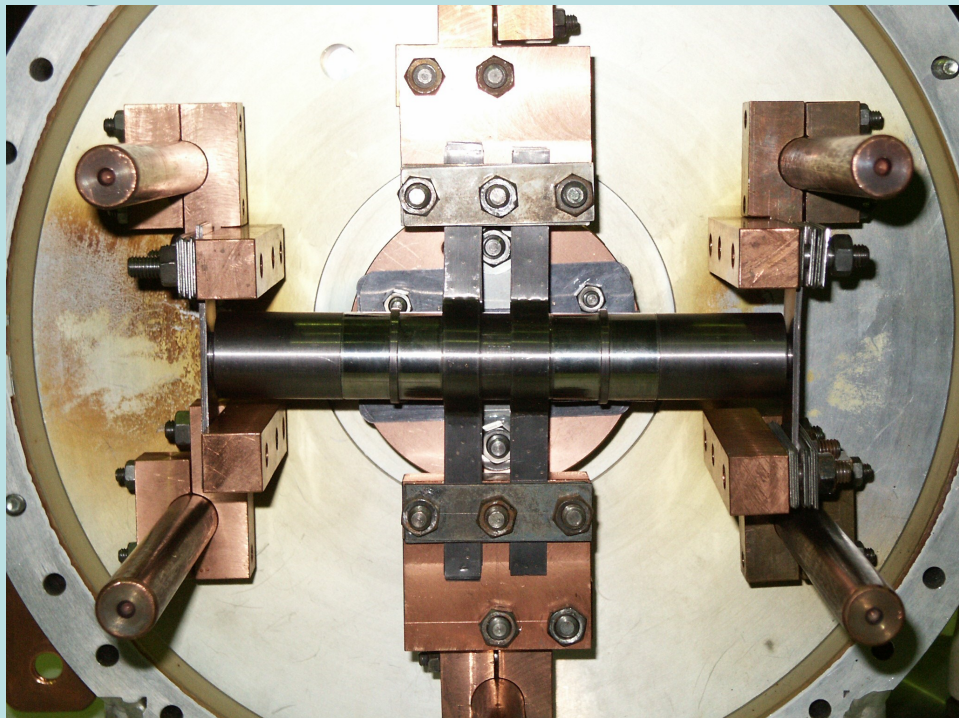
**Исследование и разработка новых мишенно-ионных устройств
для ядерно-физических экспериментов и медицины**

**Результаты первых экспериментов по получению генераторного
изотопа ^{82}Sr**

Масс-сепараторная мишень для выделения медицинских радионуклидов

длина мишенного контейнера
Диаметр мишени
толщина (ниобиевые фольги)

20 см;
3 см;
16 г/см²



Мощность рассеиваемая на мишени ~ 9 кВт при $T = 2200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Танталовая фольга, используемая в качестве коллектора

Танталовая фольга-коллектор с
высаженным источником
 ^{82}Sr



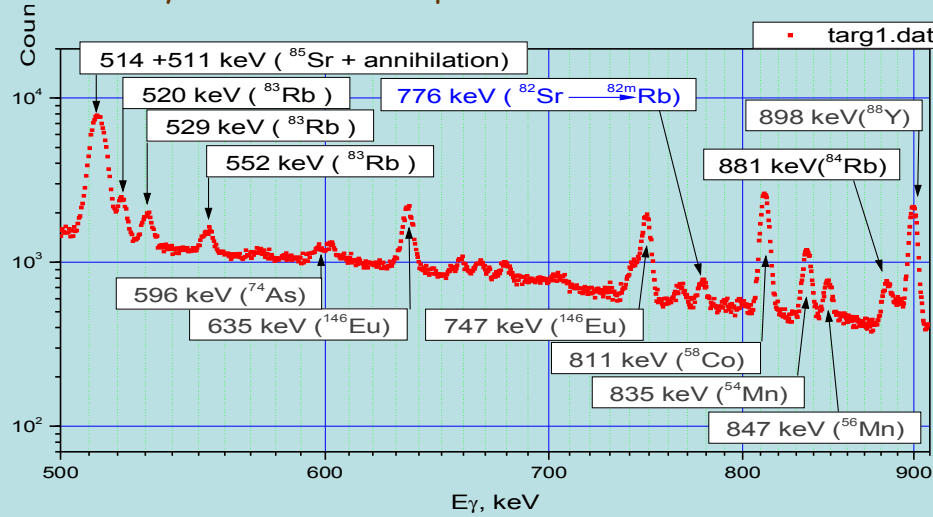
Танталова фольга коллектор после
смыывания высаженного источника
азотной кислотой

На фольги коллекторы высажено **65%**
 ^{82}Sr от накопленного в мишени
за суммарное время около **20-ти** часов
при температуре **1700-2000 °C**.
В мишени осталось **7%** от первоначально
Наработанного количества

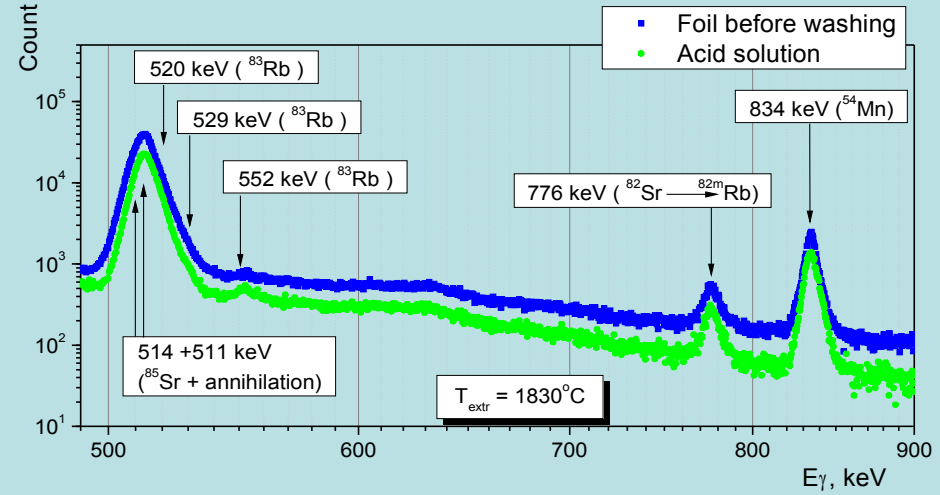
Более **90 %** активности сосредоточено
в пятне диаметром около **5мм**

Фольга-коллектор может нагреваться проходящим через нее током для
очистки получаемого источника от легко-летучих примесей

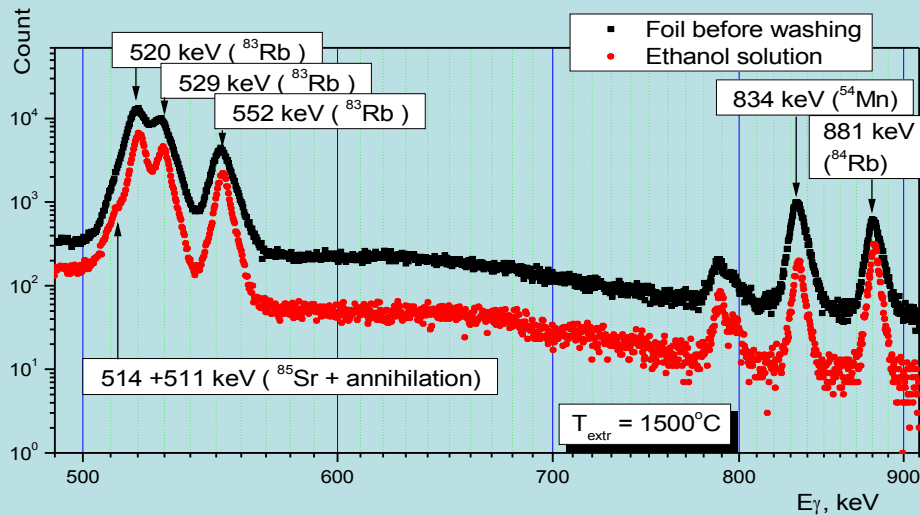
Участок γ -спектра облученной мишени после двухмесячной выдержки



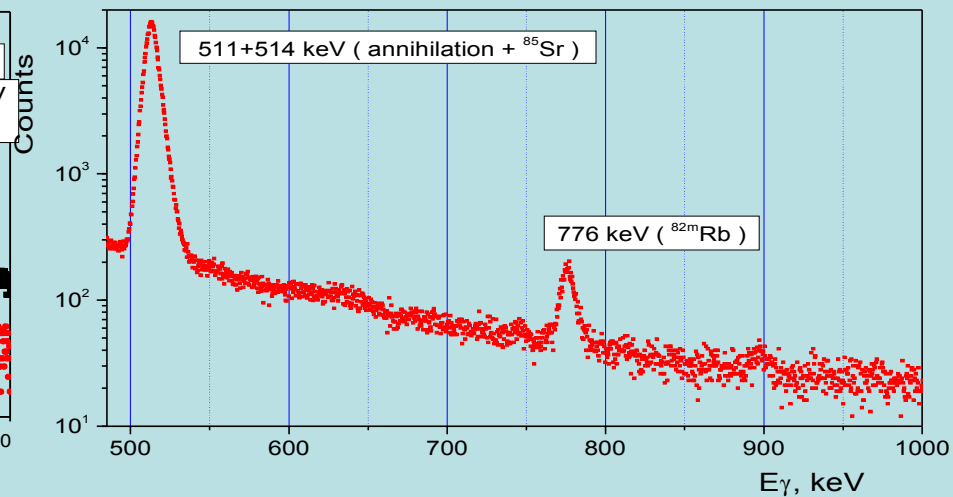
Тот же участок γ -спектра образца высаженного на коллектор при температуре мишени 1830 °C и смывого азотной кислотой



Тот же участок γ -спектра образца высаженного на коллектор при температуре мишени 1500 °C и смывого спиртом



Тот же участок γ -спектра образца высаженного на коллектор при температуре мишени 2000 °C и температуре коллектора около 1000 °C



Процент смывания с коллекторов различных нуклидов азотной кислотой

Температура выделения 1830°C

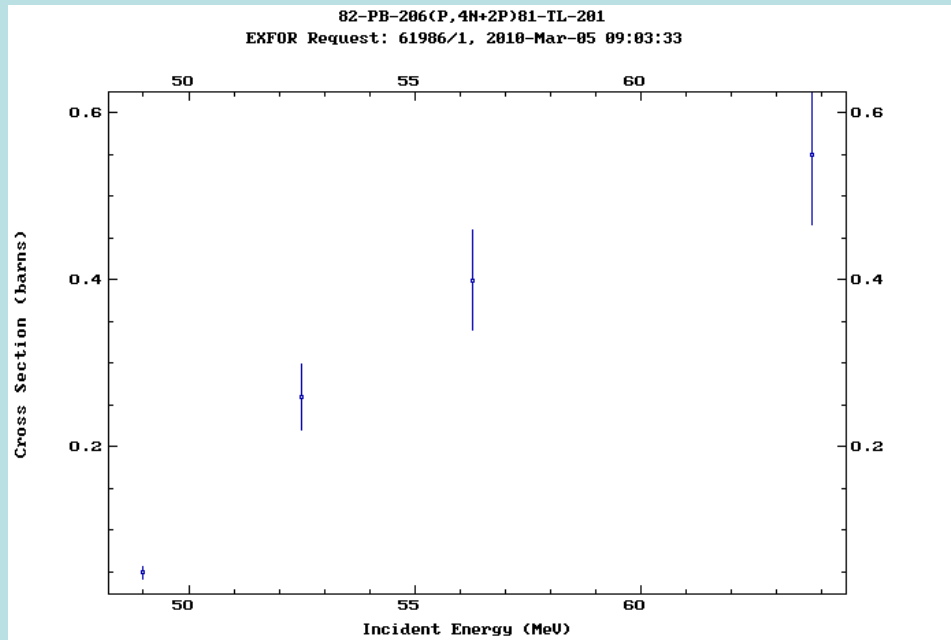
Foil 6

Nuclide	Eg, keV		S (acid)
^{85}Sr	514,1+511	1 069 737	627 875
^{82}Sr	776.5	8 259	

Выделение Tl из облученного свинца

Для ОФЭТ в диагностике заболеваний миокарда используется

^{201}Tl ($T_{1/2}=3.038$ d, $E_{\gamma}=167; 135$ keV)



С близкими выходами получаются два соседних изотопа

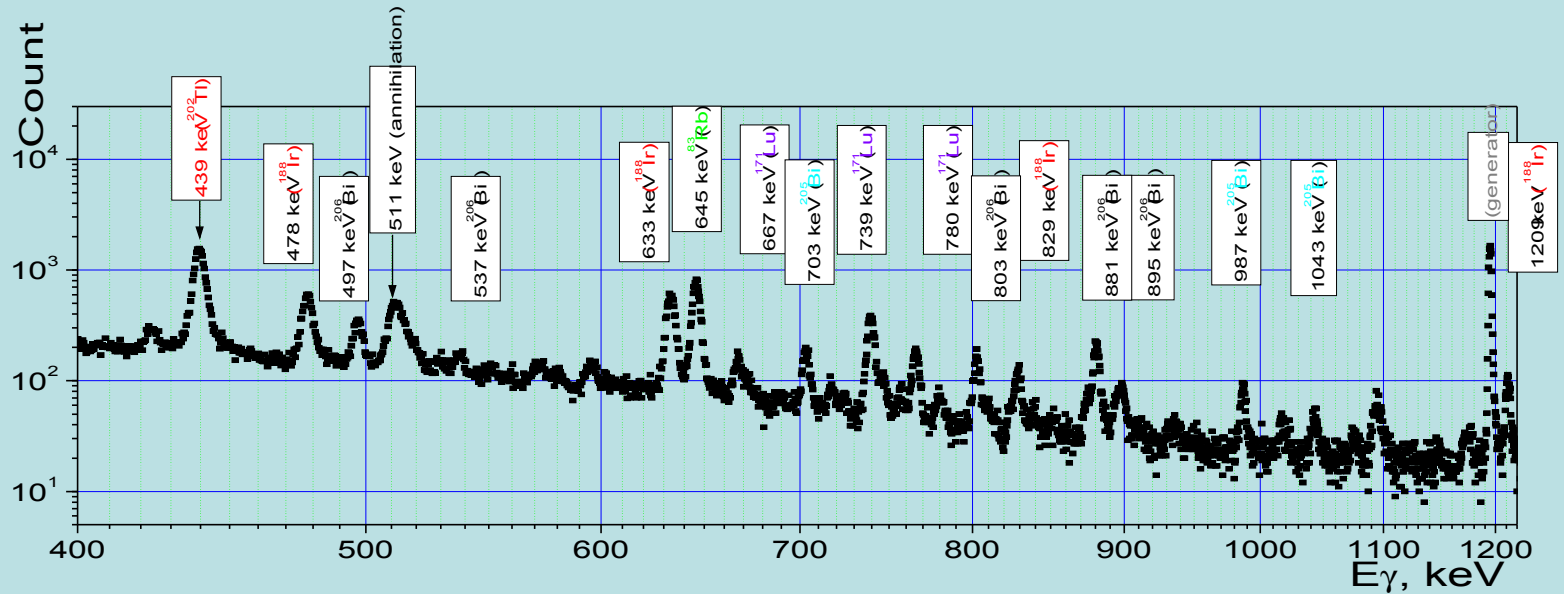
^{202}Tl ($T_{1/2}=12,23$ d, $E_{\gamma}=439; 520$ keV)

^{200}Tl ($T_{1/2}=1.09$ d, $E_{\gamma}=368; 1206$ keV)

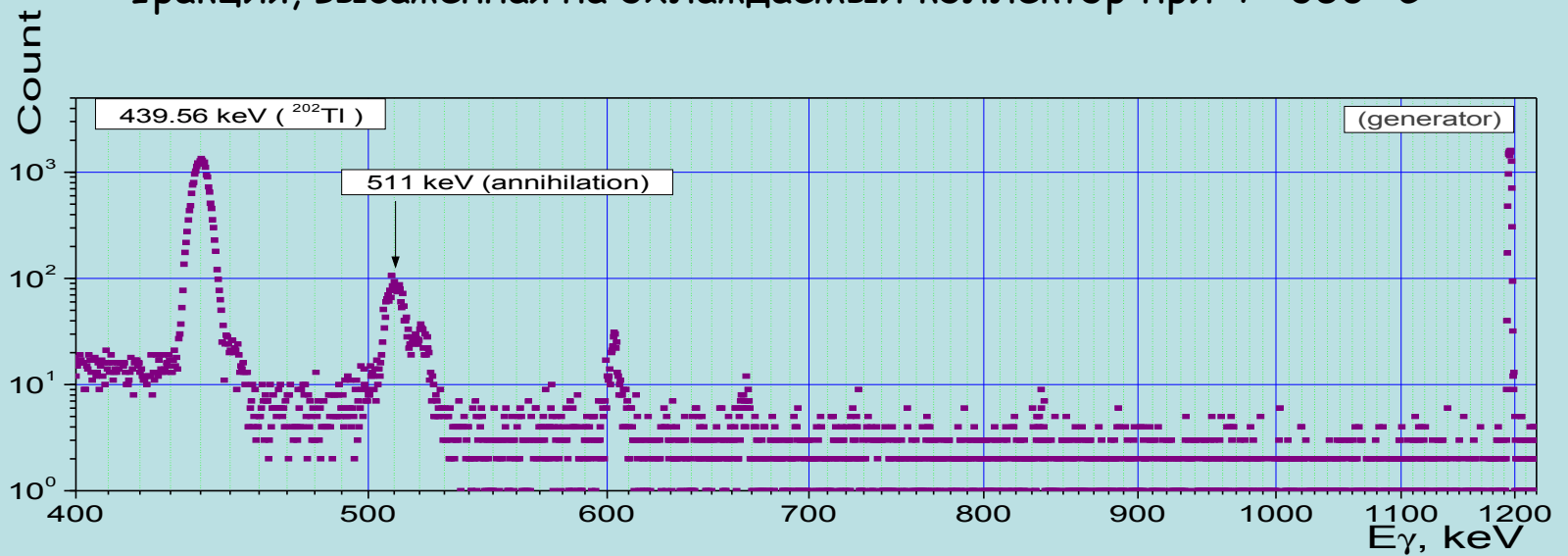
Сечения образования ^{201}Tl из ^{206}Pb (24%)

Необходима электромагнитная масс сепарация

Спектр облученного свинца:



Фракция, высаженная на охлаждаемый коллектор при $T = 350^\circ\text{C}$



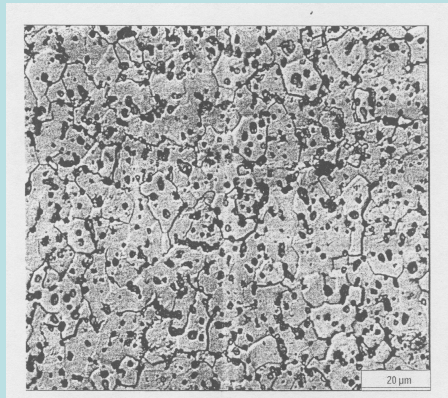
Другие радионуклиды

Из облученных на протонном пучке мишеней: ниобиевых фольг, **UC** высокой плотности, жидкого **Pb**, соли **RbCl**, жидкой **меди** выделены долгоживущие изотопы более 35-ти элементов от ${}^7\text{Be}$ до ${}^{233}\text{Pa}$ (протактиний)

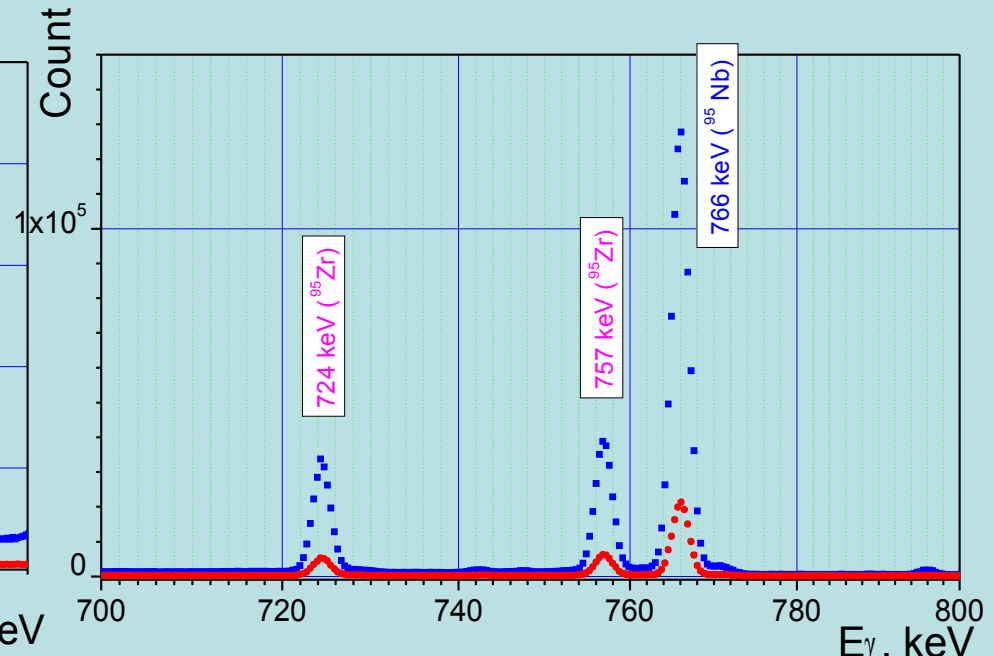
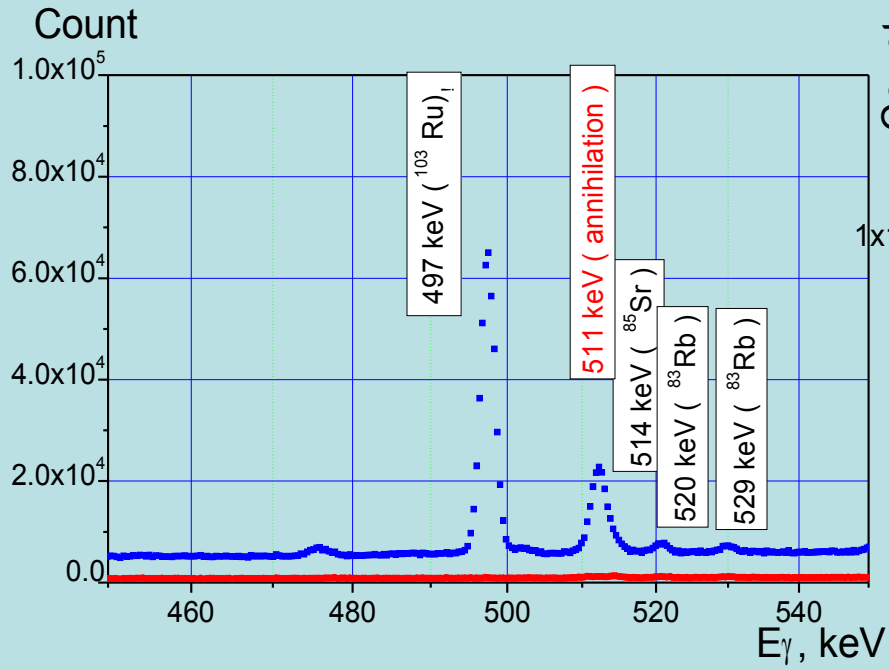
${}^7\text{Be}$	${}^{195}\text{Au}$
${}^{46}\text{Sc}$	${}^{202}\text{Tl}$
${}^{51}\text{Cr}$	${}^{206}\text{Bi}$
${}^{54}\text{Mn}$	${}^{228}\text{Th}$
${}^{56}\text{Co}$	${}^{233}\text{Pa}$
${}^{59}\text{Fe}$	
${}^{65}\text{Zn}$	
${}^{74}\text{As}$	
${}^{75}\text{Se}$	
${}^{83}\text{Rb}$	
${}^{82}\text{Sr}$	
${}^{85}\text{Sr}$	
${}^{88}\text{Y}$	
${}^{91}\text{Nb}$	
${}^{95}\text{Zr}$	
${}^{102}\text{Rh}$	
${}^{103}\text{Ru}$	
${}^{110}\text{Ag}$	
${}^{115}\text{Cd}$	
${}^{117}\text{Sn}$	
${}^{121}\text{Te}$	
${}^{125}\text{Sb}$	
${}^{127}\text{Xe}$	
${}^{136}\text{Cs}$	
${}^{140}\text{Ba}$	
${}^{141}\text{Ce}$	
${}^{144}\text{Pm}$	
${}^{148}\text{Eu}$	
${}^{171}\text{Lu}$	
${}^{175}\text{Hf}$	
${}^{185}\text{Os}$	
${}^{188}\text{Pt}$	
${}^{188}\text{Ir}$	

Предложена и экспериментально осуществлена принципиально новая возможность выделения изотопов труднолетучих элементов из легкоплавких мишеней

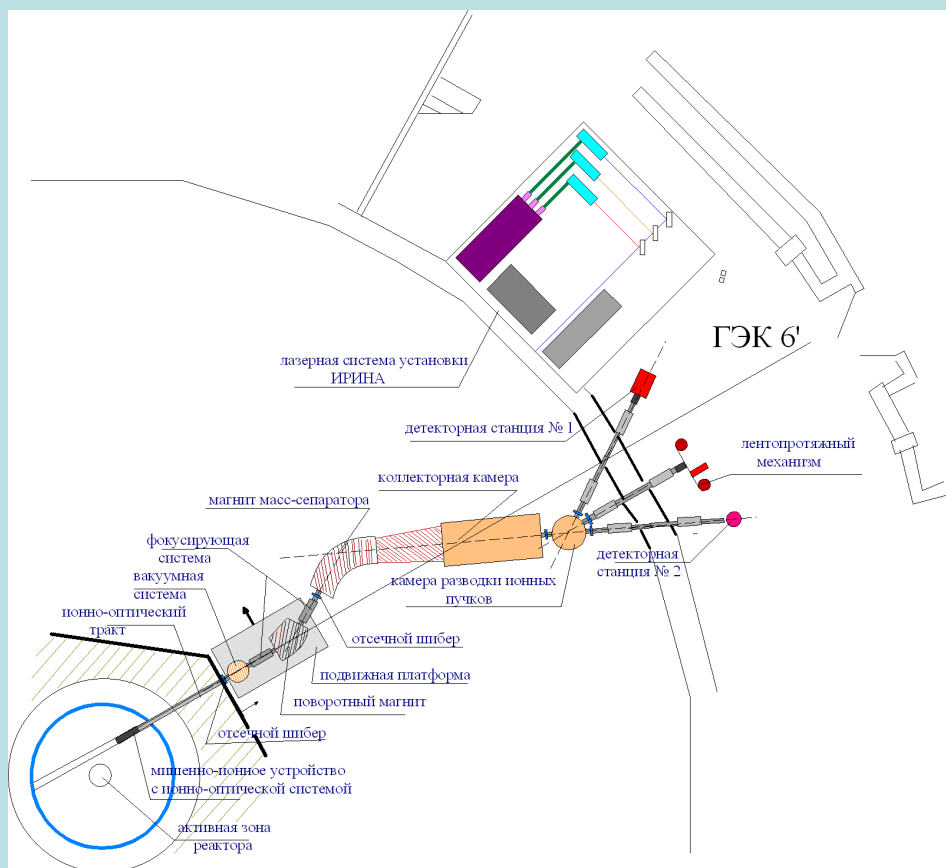
Выделение долгоживущих продуктов деления из мишени моно карбида урана высокой плотности



Исследуемое мишенное вещество ^{238}U имеет физико-химические свойства идентичные ^{235}U , который используется в качестве вещества тепловыделяющего элемента в реакторах на тепловых нейтронах



Проект ИРИНА (Исследование Радиоактивных Изотопов на Нейтронах)



Готовится техническое задание на разработку проекта. В 2012 г. финансирования проекта не осуществлялось.

Проектирование необходимо начинать с замены трубы в канале ГЭК 6'. Разработка проекта только по замене трубы с диаметром 120мм на 200 мм стоит около 7 млн.руб.

На off-line стенде ИРИС ведутся работы по тестированию мишеней из карбида урана высокой плотности для установки ИРИНА. Используется U-238. Для работы на нейтронах U-238 будет заменен обогащенным U-235. Существует договоренность с НПО "ЛУЧ" об изготовлении мишенного вещества карбида урана высокой плотности ^{235}U

Проект РИЦ-80 (Радиоактивные Изотопы на циклотроне Ц-80)

Подготовлено техническое задание на разработку проекта

В 2012 г. будет готов полномасштабный проект установки с тремя мишенными станциями, масс-сепаратором и шестью горячими камерами (подробно в докладе на сессии по медицине).

Достижения лаборатории в 2011 г. (работы на установке ИРИС)

Начаты полномасштабные лазерно-спектроскопические исследования на запущенной в прошлом году установке УЛИСС

Получены новые результаты по зарядовым радиусам и магнитным моментам нейтронно-дефицитных изотопов таллия

Проведены эксперименты по выделению ^{82}Sr и других радионуклидов из различных мишенных веществ

Получены 2 млн. руб. за работу по контракту с НПО ЛУЧ (РОСАТОМ) “Разработка мишеней из карбида урана и других тугоплавких металлов для использования в ядерной медицине”

ИРИС+ISOLDE

В 2011 г. получена 1-ая премия на конкурсе лучших работ ПИЯФ за работу:
«Асимметричное деление нейтронодефицитных ядер в окрестности $Z=82$ »

А. Е. Барзах, М. Д. Селиверстов, Д. В. Федоров и др.

Публикации, выступления на конференциях в 2011 г.

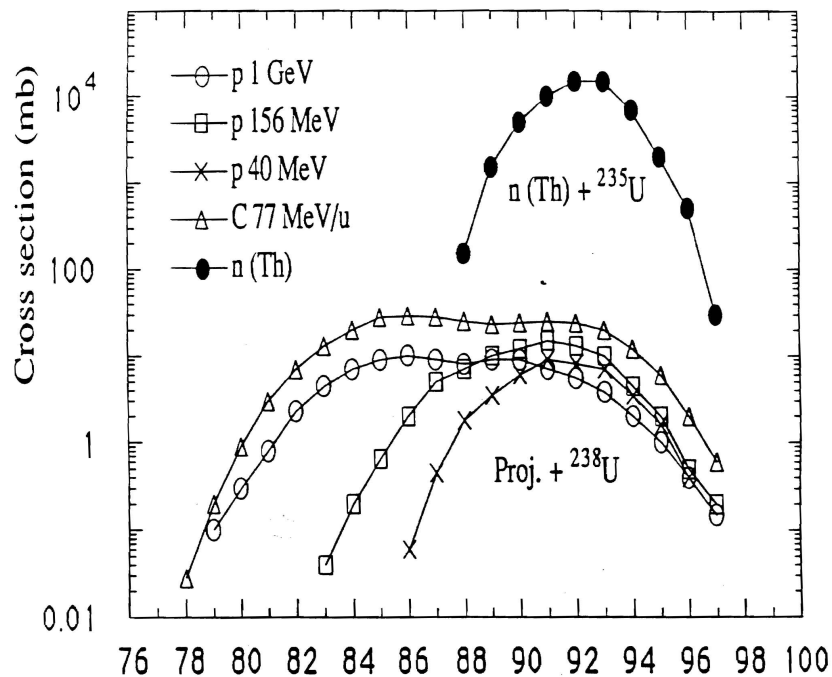
Публикации:

1. T. E. Cocolios, W. Dexters, M. D. Seliverstov, A. N. Andreyev, S. Antalic, A. E. Barzakh, B. Bastin, J. Buescher, G. Darby, D.V. Fedorov, V. N. Fedosseyev, K. T. Flanagan, S. Franchoo, S. Fritzsche, G. Huber, M. Huyse, M. Keupers, U. Koester, Yu. Kudryavtsev, E. Mane, B. A. Marsh, P. L. Molkanov, R. D. Page, A. M. Sjoedin, I. Stefan, J. Van de Walle, P. Van Duppen, M. Venhart, S. G. Zemlyanoy, M. Bender, and P.-H. Heenen, *Early Onset of Ground State Deformation in Neutron Deficient Polonium Isotopes*, PRL **106**, 052503 (2011).
2. A.E. Barzakh, G. Lhersonneau, L.Kh. Batist, D.V. Fedorov, V.S. Ivanov, K.A. Mezilev, P.L. Molkanov, F.V. Moroz, S.Yu. Orlov, V.N. Panteleev, Yu.M. Volkov, O. Alyakrinskiy, M. Barbui, L. Stroe, and L.B. Tecchio, *Secondary neutrons as the main source of neutron-rich fission products in the bombardment of a thick U target by 1 GeV protons*, Eur. Phys. J. A (2011) **47: 70**.
3. J. Elseviers, A. N. Andreyev, S. Antalic, A. Barzakh, N. Bree, T. E. Cocolios, V. F. Comas, J. Diriken, D. Fedorov, V. N. Fedosseyev, S. Franchoo, J. A. Heredia, M. Huyse, O. Ivanov, U. Koester, B. A. Marsh, R. D. Page, N. Patronis, M. Seliverstov, I. Tsekhanovich, P. Van den Bergh, J. Van De Walle, P. Van Duppen, M. Venhart, S. Vermote, M. Veselsky, and C. Wagemans, *Shape coexistence in ^{180}Hg studied through the β decay of ^{180}Tl* , PHYSICAL REVIEW C **84**, 034307 (2011).

Конференции:

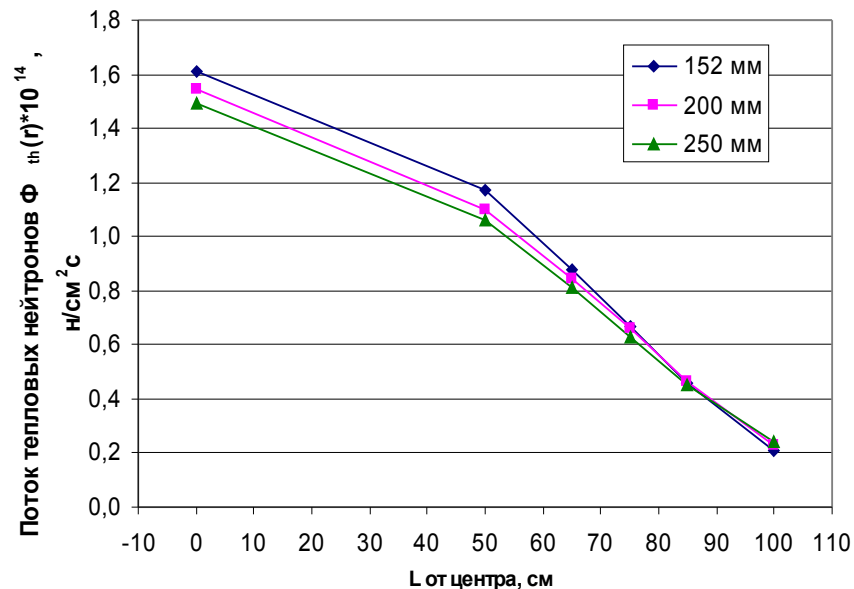
- 7-th International Conference on Isotopes, 4-8 September, 2011 Moscow, Russia. V. Panteleev, A. Barzakh, L. Batist, D. Fedorov, Filatova, K. Mezilev, P. Molkanov, F. Moroz, S. Orlov, Ju. Volkov, *Project of RIC-80 facility at PNPI RAS for the medical isotope production*.
- 14-th International Conference on Ion Sources, September 12-16, 2011- Gardini Naxos, Italy. V. Panteleev, A. Barzakh, D. Fedorov, V. Ivanov K. Mezilev, P. Molkanov and Ju. Volkov, *New laser setup for the selective isotope production and investigation in a laser ion source at the IRIS facility*.

Проект ИРИНА (Исследование Радиоактивных Изотопов на НейтронАх) на реакторе ПИК



Сечения образования изотопов Rb на пучках различных частиц А

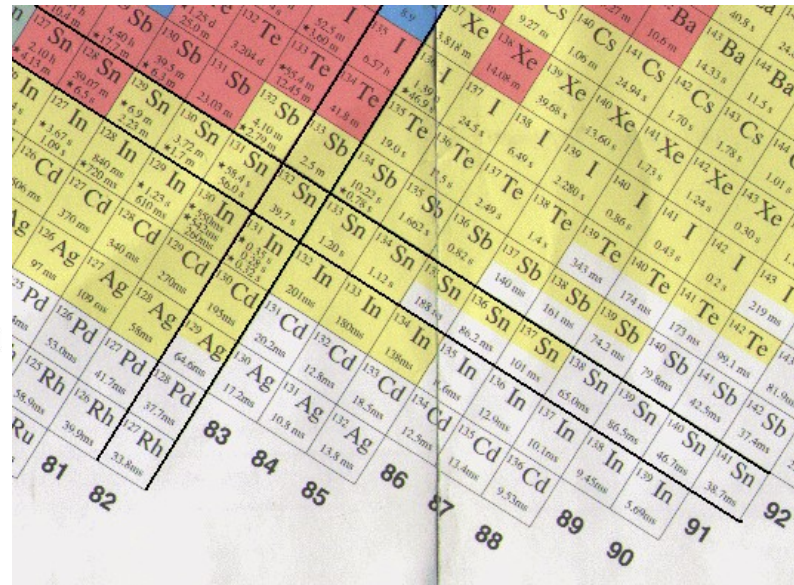
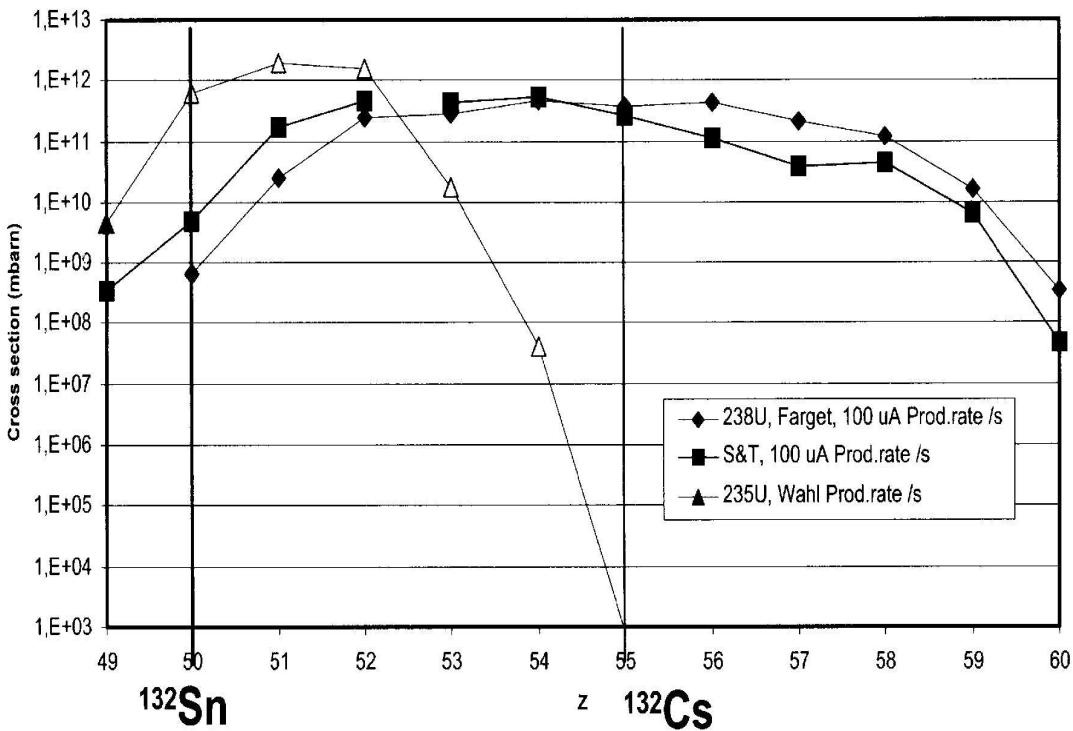
Поток тепловых нейтронов на оси горизонтального канала ГЭК 5 $\Phi_{th}(r) \cdot 10^{14}$ н/см²с



ИРИНА: поток нейтронов 3×10^{13} н/см²сек
 масса мишени $\sim 3 - 4$ г. (Масса и поток могут быть увеличены)
 Выход ⁹⁷Rb (T_{1/2}=0.17s): $\sim 10^{10}$ ат/сек

Синхроциклотрон ИРИС: ток 0.3 μ A
 масса мишени 100 г/см² (большая масса – медленный выход !)
 Выход ⁹⁷Rb: $\sim 10^8$ ат/сек

Production rates for mass 132



Получение на тепловых нейтронах нейтронно-избыточных ядер в районе дважды магических ядер ^{132}Sn и ^{78}Ni позволяет снизить на несколько порядков вклад соответствующих изобар Cs и Rb по сравнению с получением на протонах