

Производство медицинских
радиоизотопов на ускорителе
протонов У-80.

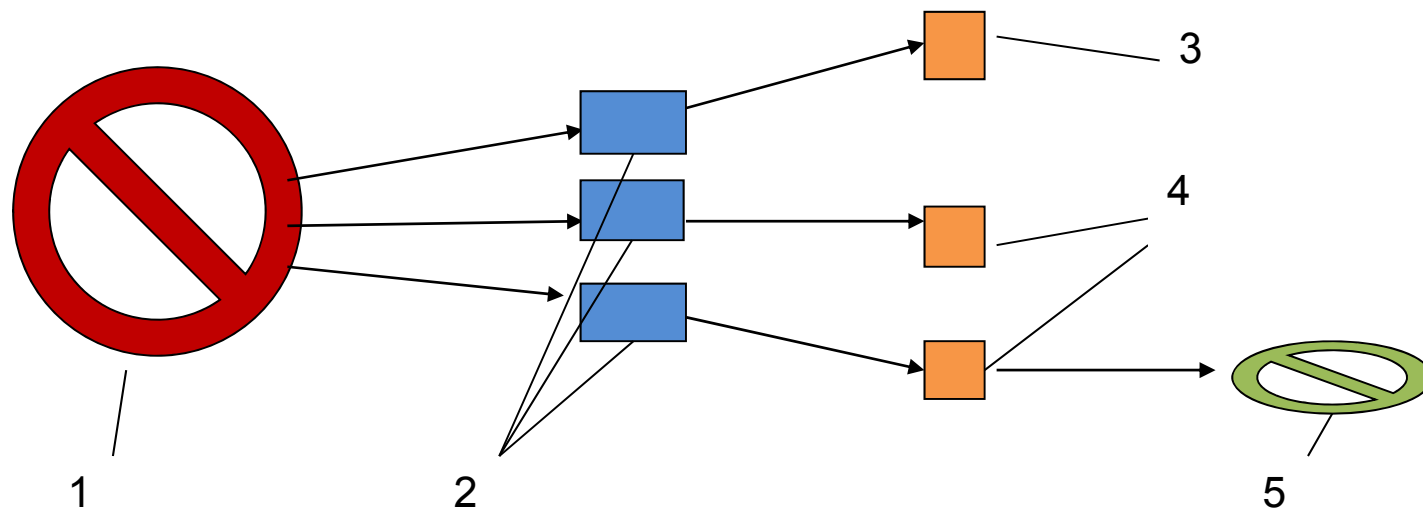


Схема комплекса для получения радиоизотопов для
медицины.

1 - ускоритель; 2 - станции облучения; 3 – р/х бокс;
4 – горячие камеры; 5 – масс-сепаратор

Поэтапный план осуществления проекта.

1-й этап: Получение Sr82 (до 1 Кюри), разработка методов выделения, очистки и анализа, Срок 2-3 года

- Ускоритель,
- Разводка пучков (3 линии),
- **Станция облучения, пневмопочта, р/х бокс корп. ИРИС.**
- **Мишень RbCl**
- **Разработка генератора Sr82 - Rb82.**

2-й этап: 4-5 лет

- ещё 2 станции облучения ,
- горячие камеры,
- средства транспортировки,
- масс-сепаратор off-line.

3-й этап: 6-8 лет

- получение других радиопрепаратов.
- Сертификация продукции,
- полномасштабная работа комплекса.

DIAGNOSTIC RADIOISOTOPES

$^{67}\text{Zn}(p,n)^{67}\text{Ga}$ $^{68}\text{Zn}(p,2n)^{67}\text{Ga}$

$\text{natKr}(p,xn)^{81}\text{Rb}$

$^{82}\text{Kr}(p,2n)^{81}\text{Rb}$

$^{111}\text{Cd}(p,n)^{111}\text{In}$

$^{112}\text{Cd}(p,2n)^{111}\text{In}$

$^{123}\text{Te}(p,n)^{123}\text{I}$

$^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$

$^{127}\text{I}(p,5n)^{123}\text{Xe} \rightarrow ^{123}\text{I}$

$^{127}\text{I}(p,3n)^{125}\text{Xe} \rightarrow ^{125}\text{I}$

$^{124}\text{Xe}(p,2n)^{123}\text{Cs} \rightarrow ^{123}\text{Xe} \rightarrow ^{123}\text{I}$

$^{124}\text{Xe}(p,pn)^{123}\text{Xe} \rightarrow ^{123}\text{I}$

$^{203}\text{Tl}(p,3n)^{201}\text{Pb} \rightarrow ^{201}\text{Tl}$

$^{203}\text{Tl}(p,2n)^{202\text{m}}\text{Pb} \rightarrow ^{202}\text{Tl}$

$^{203}\text{Tl}(p,4n)^{200}\text{Pb} \rightarrow ^{200}\text{Tl}$

POSITRON EMITTERS for PET

$^{69}\text{Ga}(p,2n)^{68}\text{Ge}$.

$\text{natGa}(p,xn)^{68}\text{Ge}$

$^{85}\text{Rb}(p,4n)^{82}\text{Sr}$

$\text{natRb}(p,xn)^{82}\text{Sr}$

LARGE-SCALE ISOTOPE PRODUCTION WITH AN INTENSE 100 MEV

The RbCl targets and gallium targets are disc shaped and have a nominal diameter of 50 mm.

Up to three targets are irradiated simultaneously with nominal incident energies of 90 MeV, 65 MeV and 30 MeV.

Targets are separated by spacers to form 5 mm thick cooling channels between the target faces.

Typical cooling water velocities flowing over the target faces range between 2 and 5 m/s.

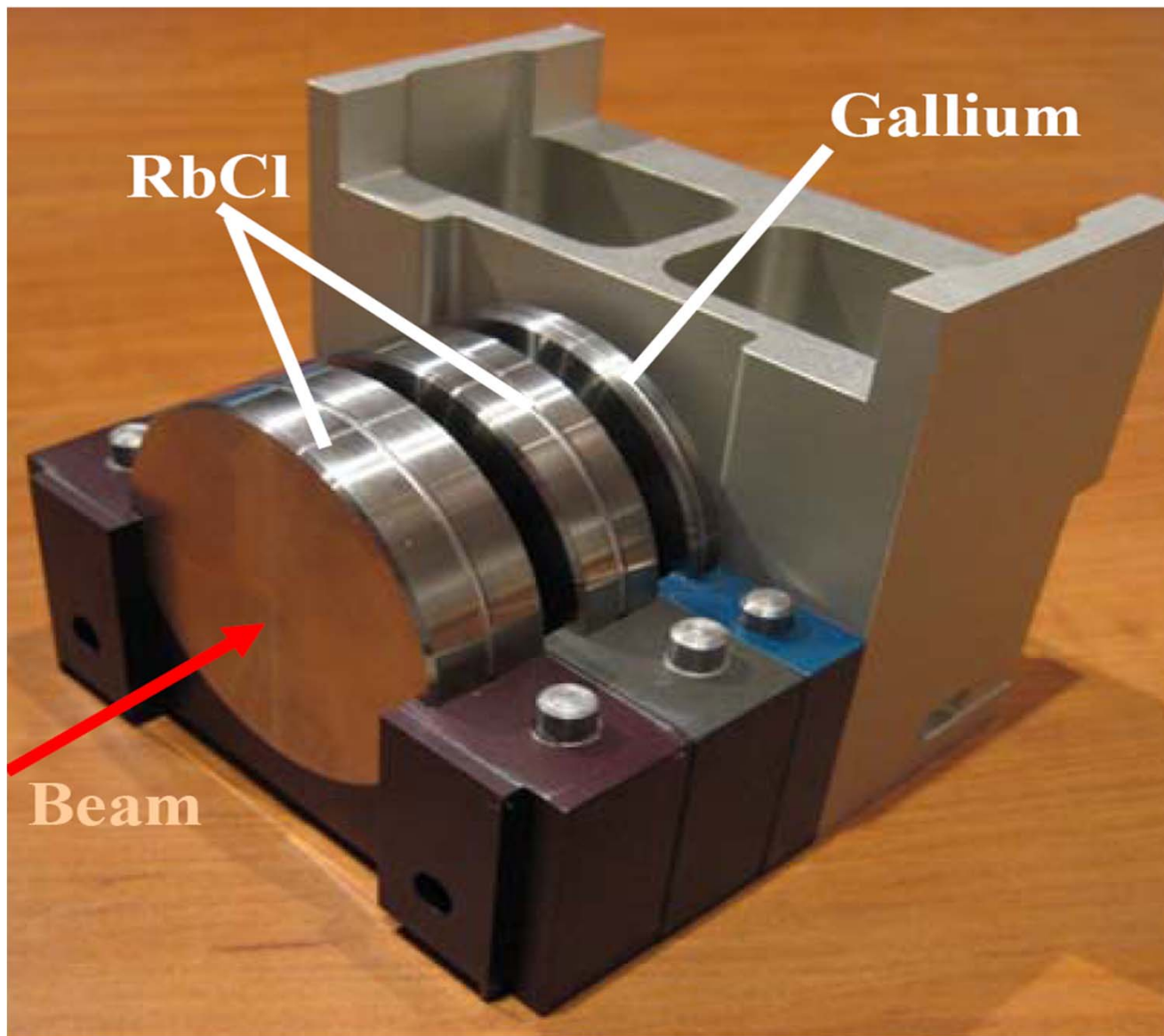
Table 1: Beam Parameters

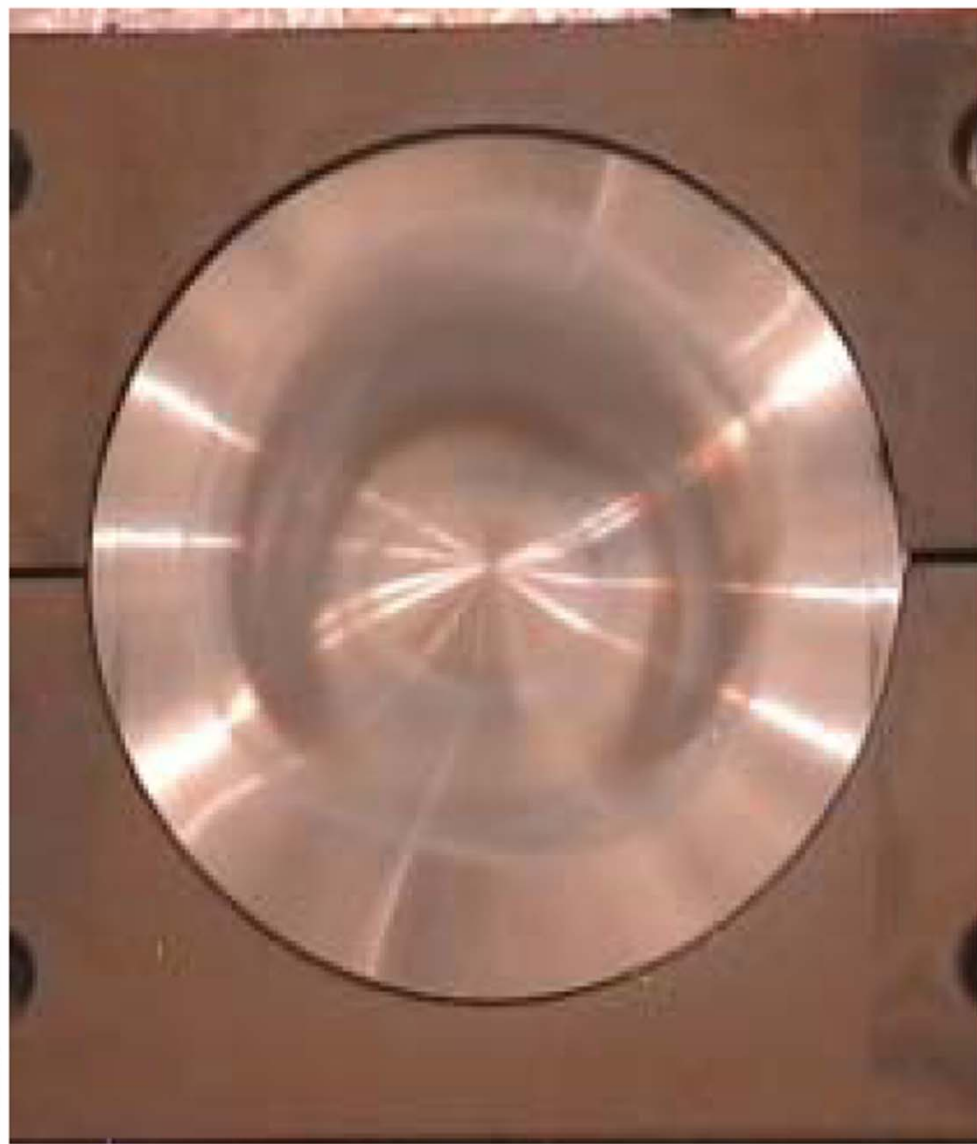
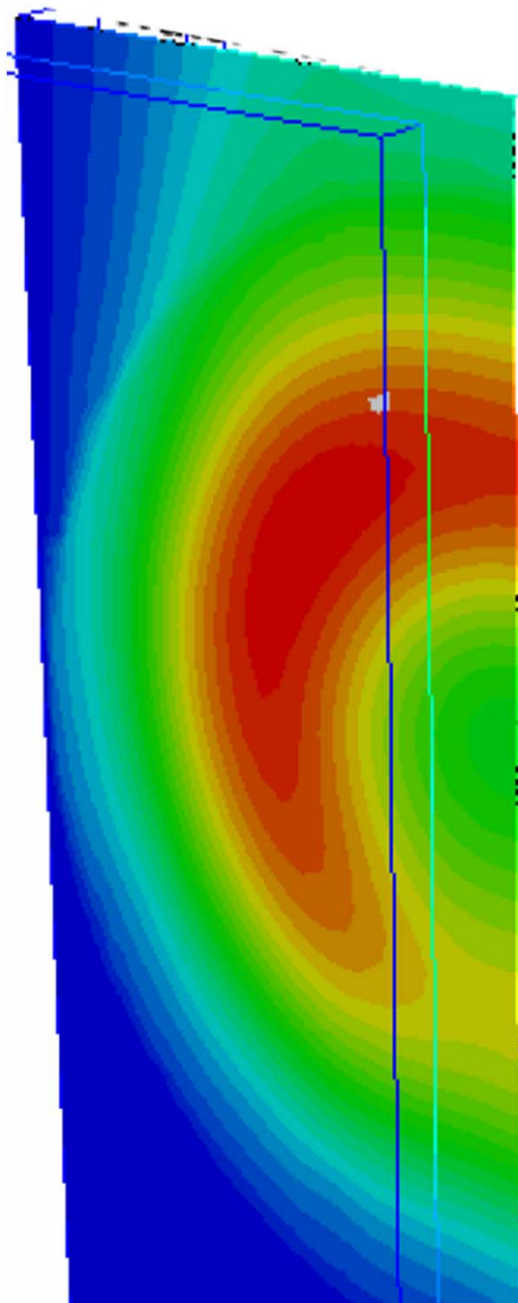
Beam Parameter	Value
Pulse duration	625 μs
Average power	25 kW
Spot size	12.5 mm
Sweep radius	12.5 mm
Sweep frequency	5 kHz

*

Сравнение производительности мишеней из Rb и RbCl, Лос-Аламос

<i>мишень</i>	<i>Масса г</i>	<i>энергия протонов МэВ</i>	<i>ток, μА</i>	<i>Время облучения, сутки</i>	<i>Активность Sr82 на момент выдачи, Ки</i>
Rb мет.	50	94-101	130	2	1,5
RbCl	10	65-40	80	2	0.5-0,7





Испытания прочности мишеней

Облучено:

98 мишеней RbCl, из них

54 в капсулах из нерж. стали (интенсивность протонного пучка от 100 до 200 μ A);

44 из сплава инконель 625 (при пучке от 200 до 220 μ A).

38 мишеней с мет. Ga (при токах от 100 μ A до 250 μ A);

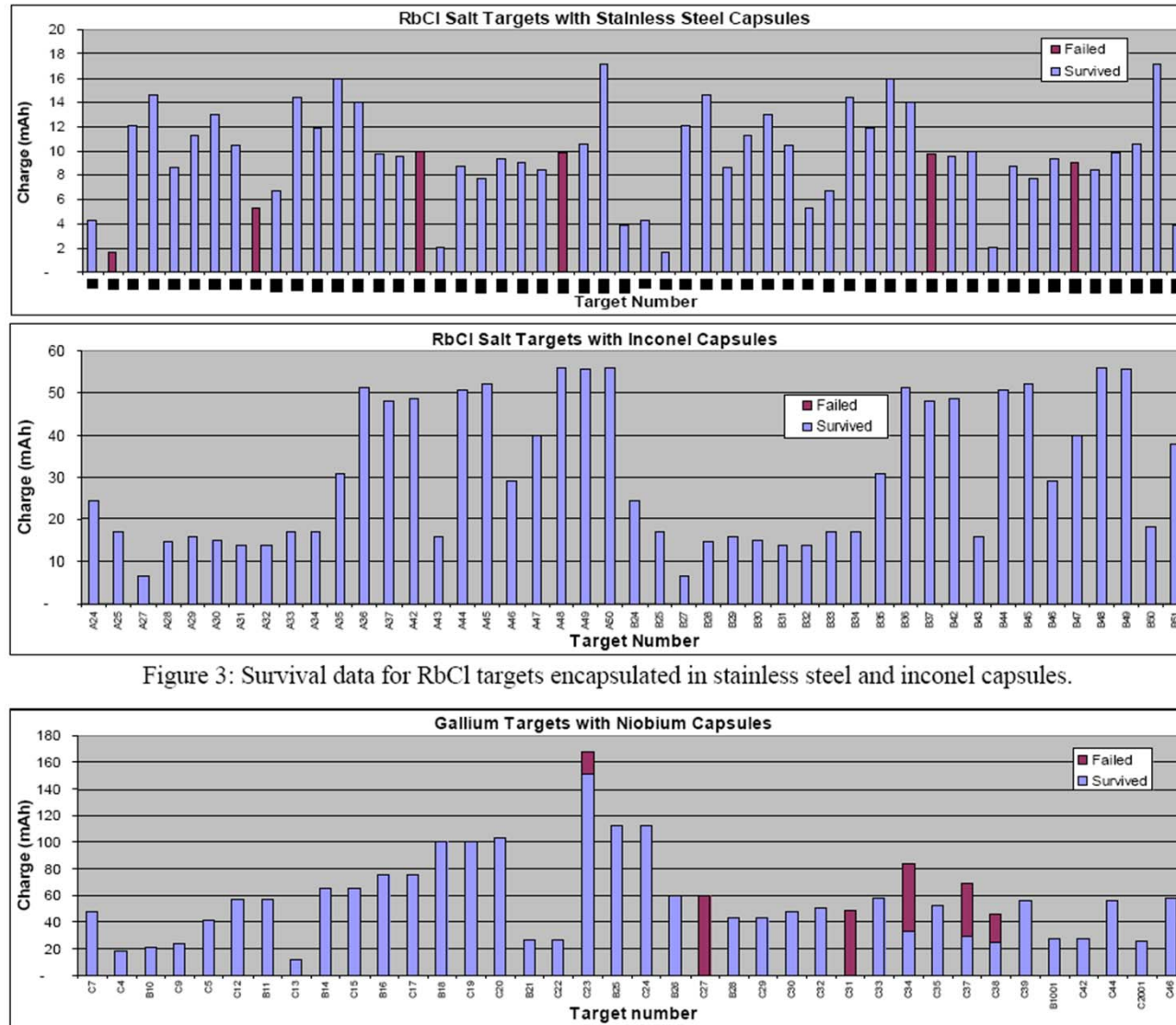


Figure 3: Survival data for RbCl targets encapsulated in stainless steel and inconel capsules.

Возможные причины разрушения оболочек:

- избыточное давление вследствие перегрева
- коррозия при взаимодействии с материалом мишени
- механическое повреждение турбулентным потоком охлаждающей воды.
- радиационные повреждения
- дефекты при изготовлении

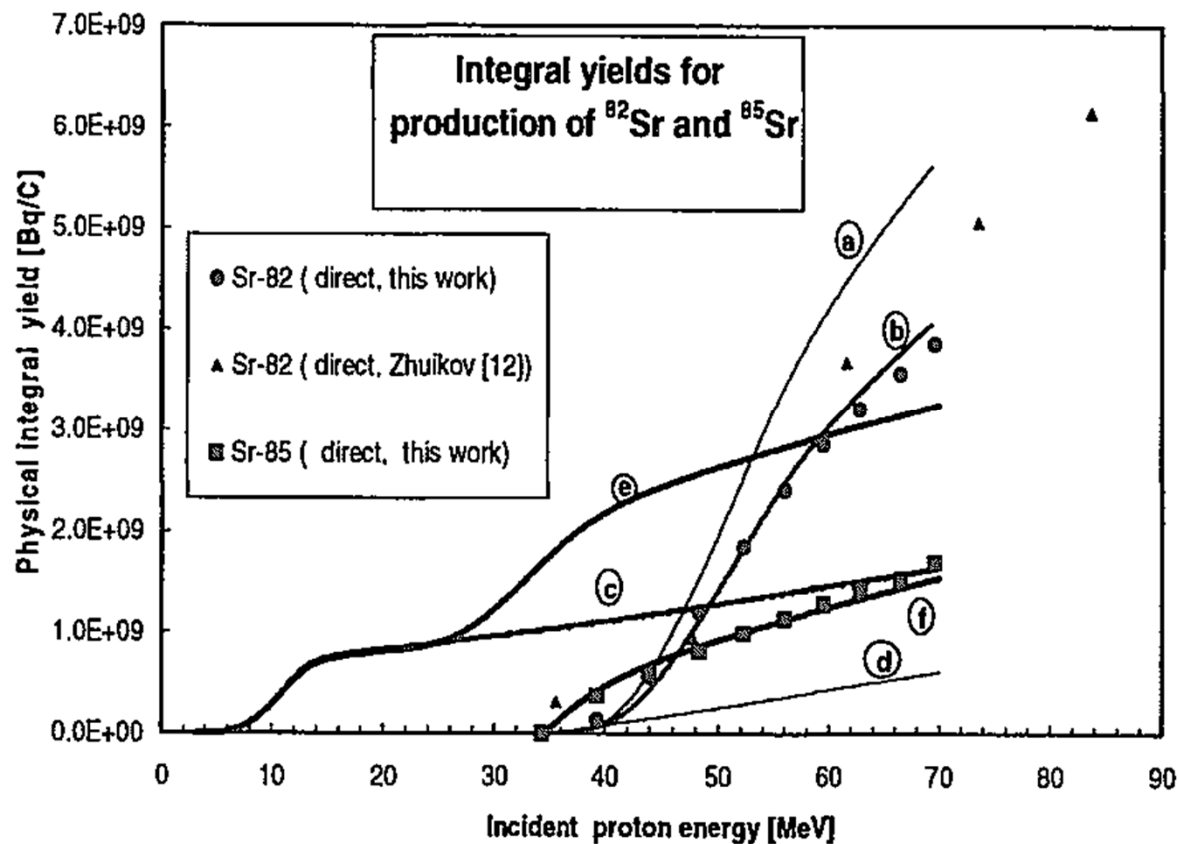
**Production Possibility at Radioisotope Facility
of Institute for Nuclear Research (Troitsk)
at 160 MeV Proton Beam (120 μ A)**

Radio-nuclide	Half life Period	Target	Energy Range, MeV	Bombardment period, hr	Activity produced in one run at EOB, Ci
Sr-82 *	25.3 d	Rb	100-40	250	8
Na-22	2.6 y	Mg, Al	150-35	250	2
Cd-109	453 d	In	150-60	250	2
Pd-103	17 d	Ag	150-50	250	70
Ge-68 *	288 d	Ga, GaNi	50-13	250	0.5
Se-72	8.5 d	GaAs	60-45	250	3
Co-57	271 d	Ni	28-15	250	1
Ti-44	47.3 y	Sc	60-20	250	0.01
I-123	13 hr	NaI	80-50	2	0.2
I-121*	2 hr	NaI	90-50	2	0.2
Tl-201	73 hr	Pb	60-52	25	2
Cu-67	62 hr	Zn-68	150-70	100	10
Sn-117m	13.6 d	Sb X	150-40	250	

* Isotopes used in Positron Emission Tomography

- Twelve 250 hr accelerator runs per year are feasible

Bold - isotopes have been already produced at the facility

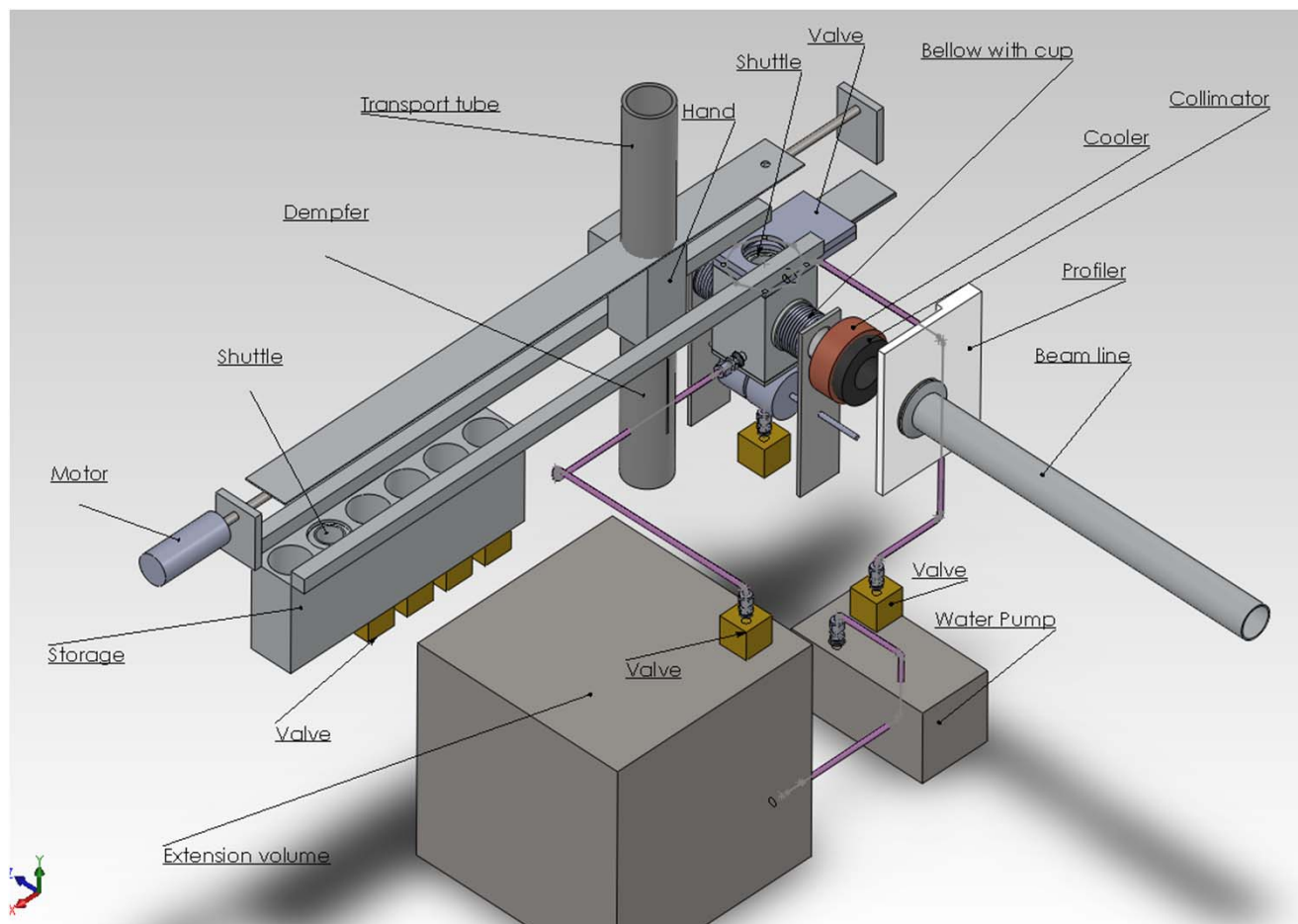


Интегральный выход Sr-82 при полном поглощении в мишени протонного пучка; a,c,d,f,e – расчёт, b – эксперимент.

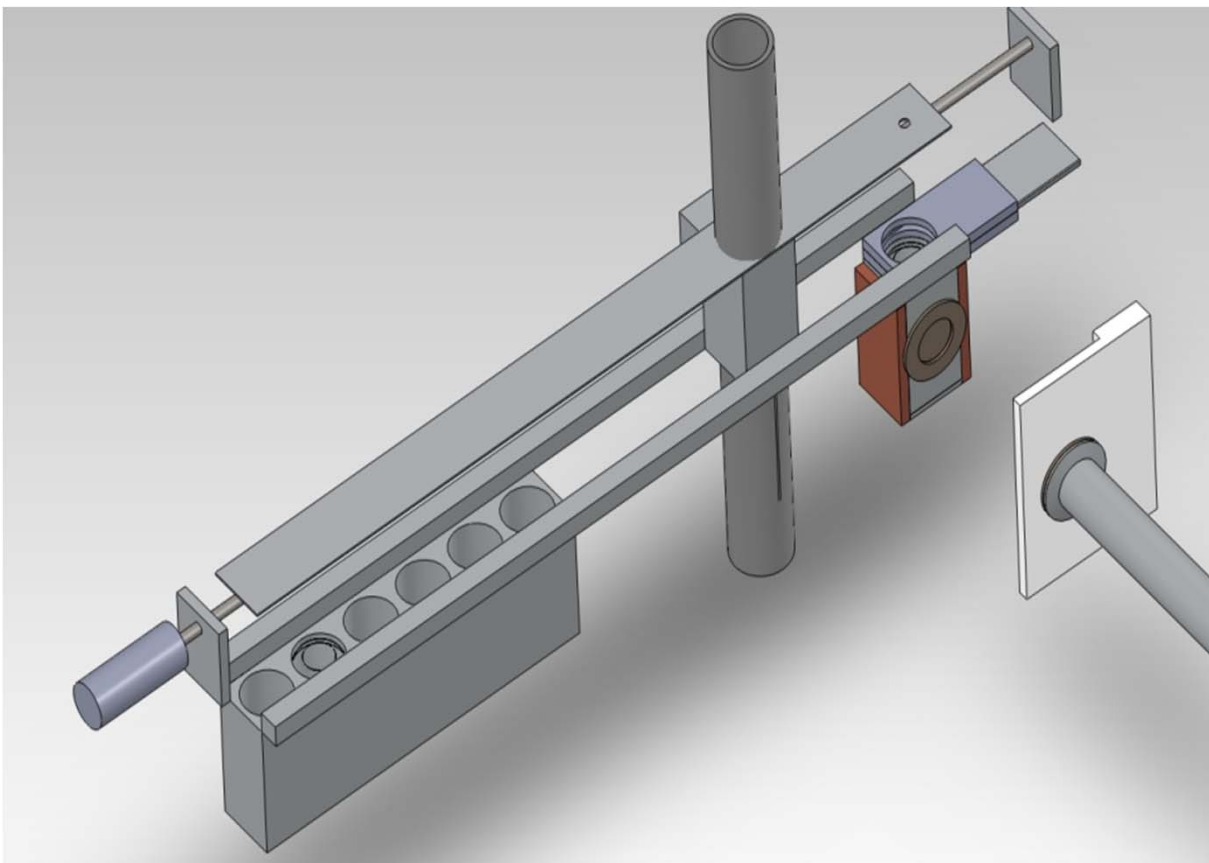
Radiopharmaceuticals Laboratory, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences (KIRAMS)

Radionuclides	C-11	F-18	I-123	Tl-201
Yields mCi/ μ Ah	90	10	3	3

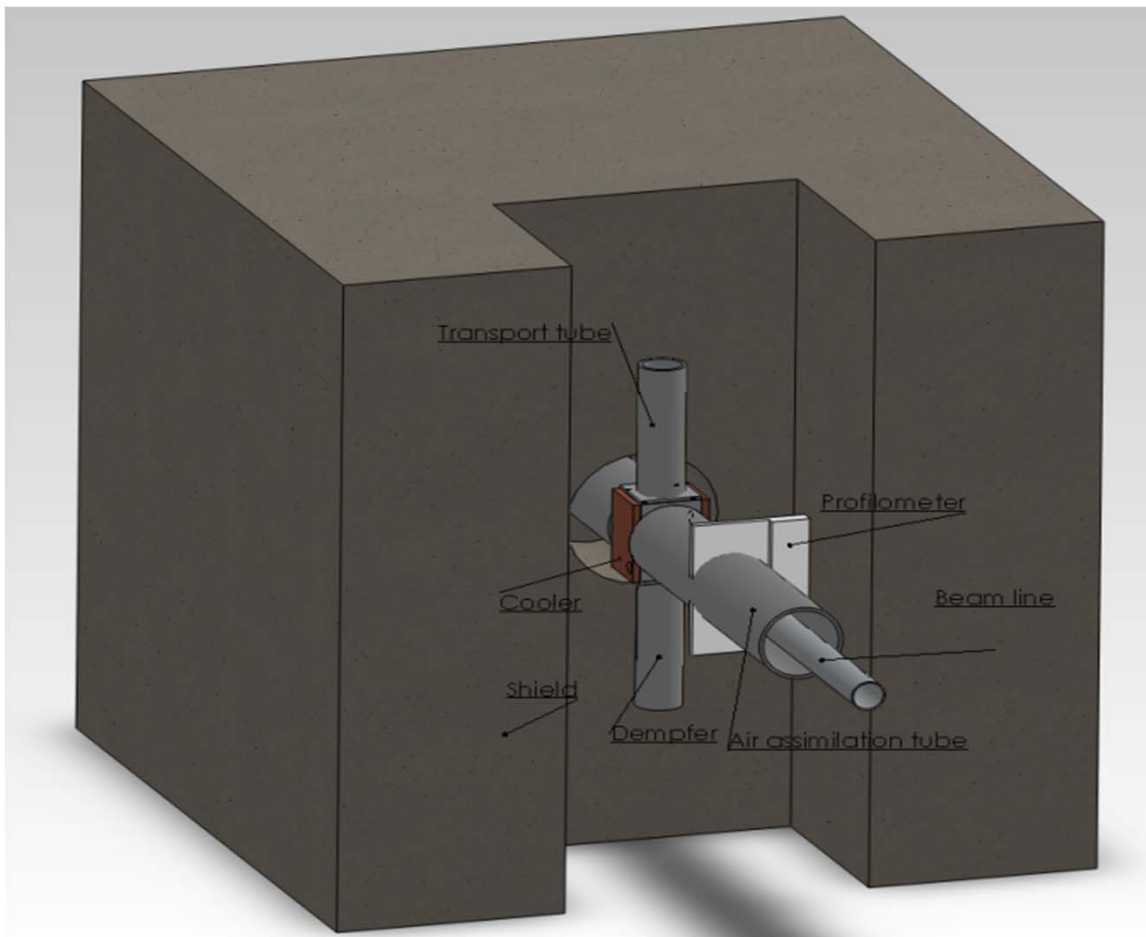
- The radiochemical purities higher than **99.7 %**.
- Accelerator: **40MeV, 220 μ A**
- A water-cooled carbon collimator
- 4 external beam lines.
- **wobbler** magnet to rotate the beam.
- Pneumatic transport.



Проект станции облучения ПИЯФ



Вид при транспортировке.



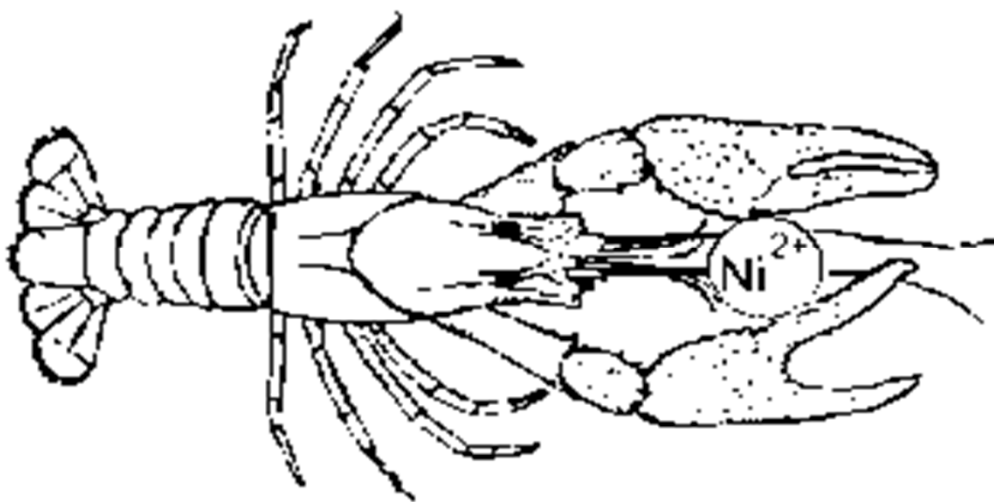
Вид устройства в защитном корпусе.

Sr – Rb генератор

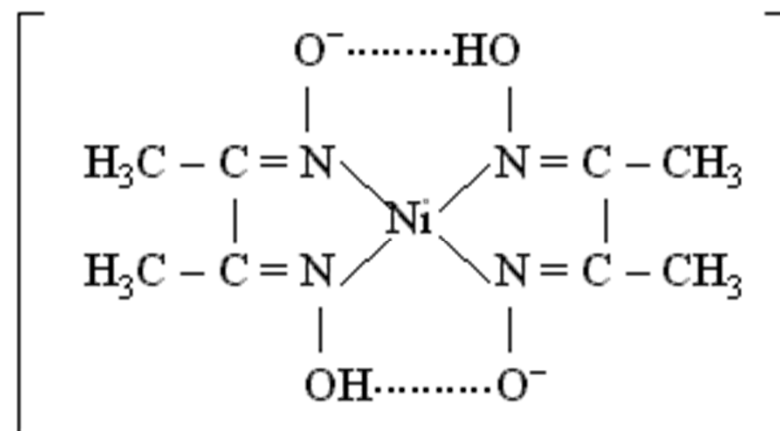
1 Сорбция стронция на хелатах

2 Ионный обмен на SrCO₃

Хелаты — клешневидные комплексные соединения, образуются при взаимодействии ионов металлов с полидентатными (то есть имеющими несколько донорных центров) лигандами



Комплекс Ni с
диметилглиоксимом



В генераторе Sr-Rb
используются неорганические
хелаты на основе окислов
переходных элементов -
Sn, Ti, Zr, Ta и др., а также
катионообменные смолы

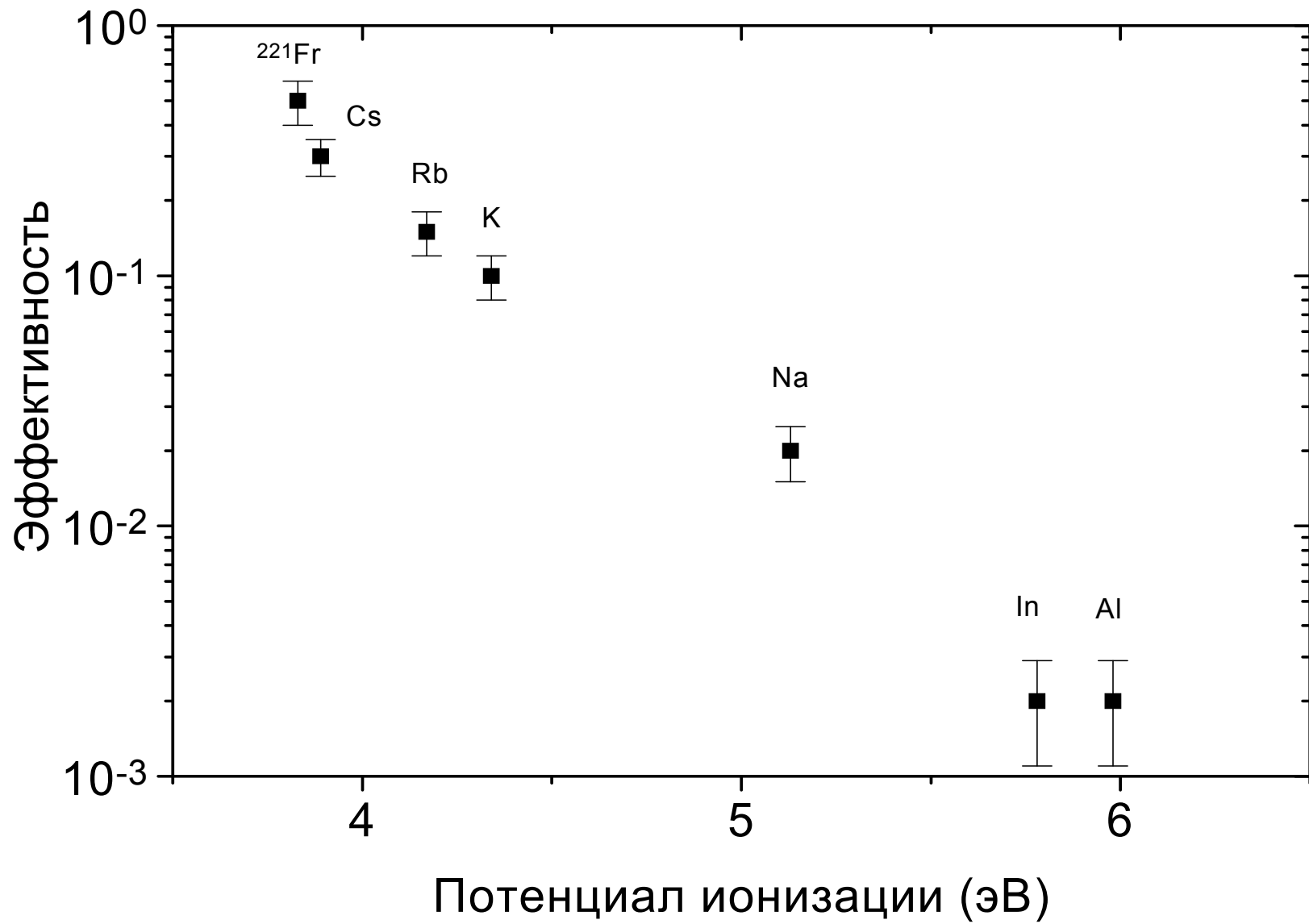
*Эффективность разделения
определяется величиной
коэффициента распределения*

$$K_d = (A_i - A_f) / A_f v / m \quad (2)$$

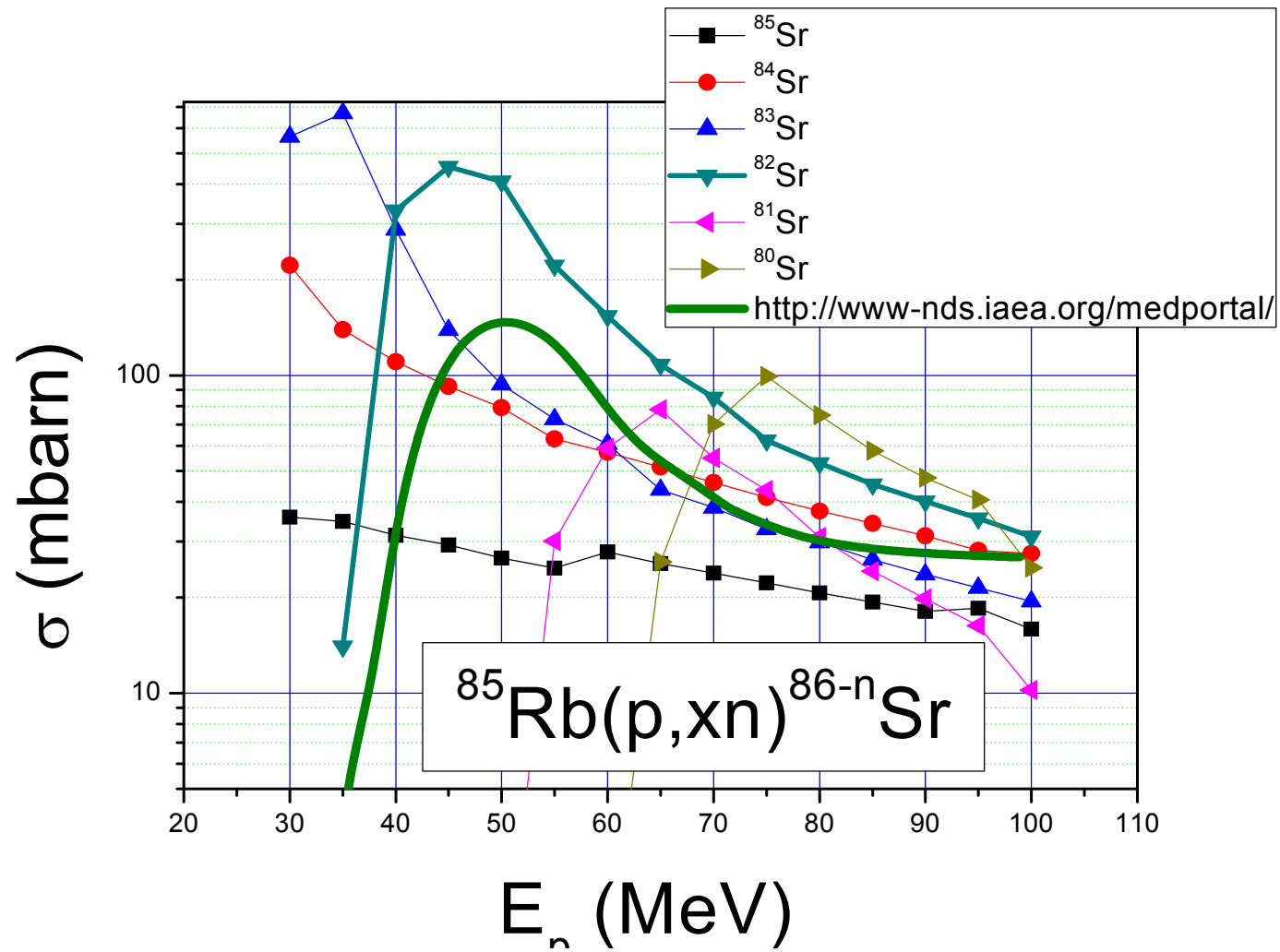
где:

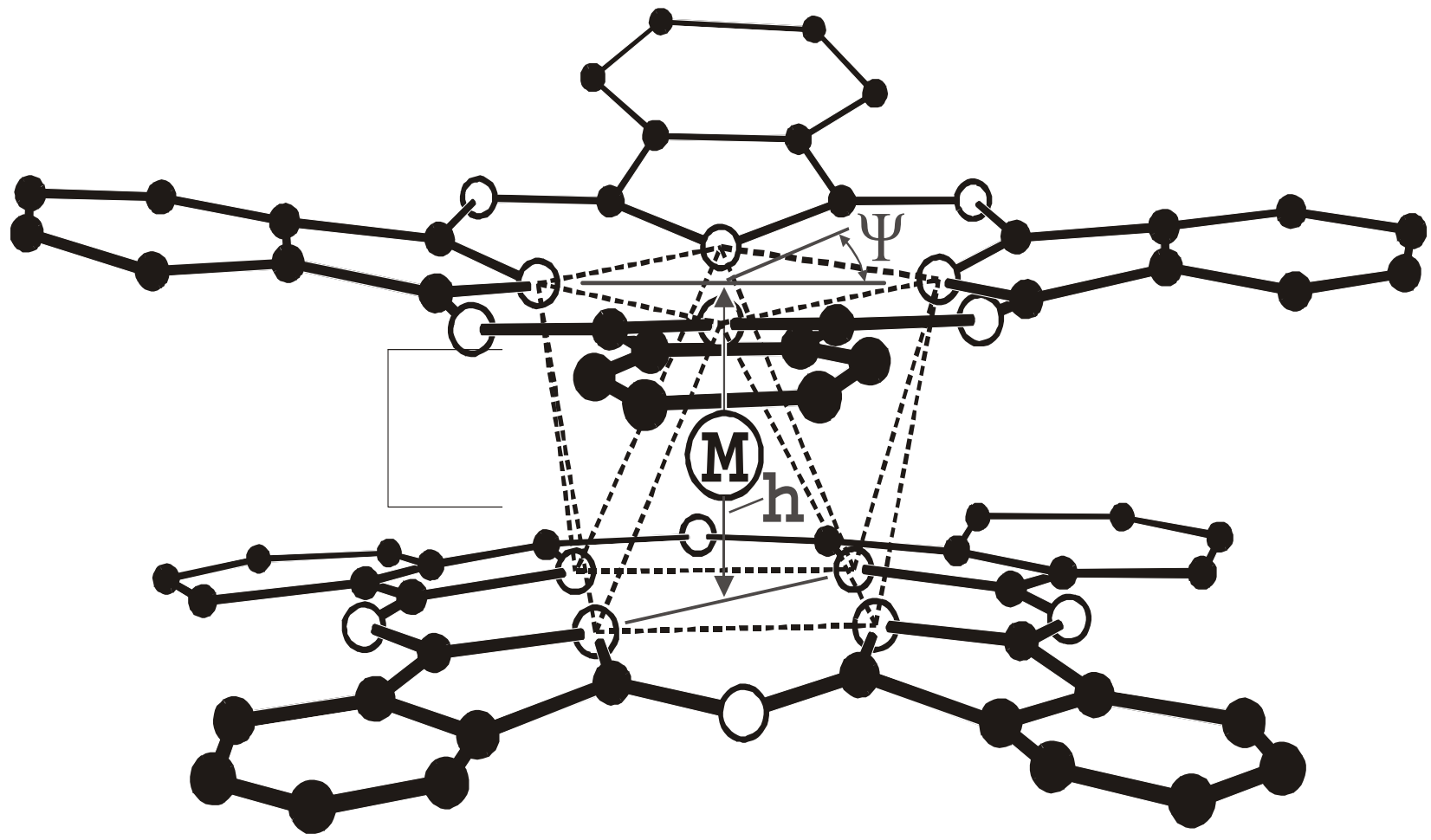
- A_i – начальная активность в растворе
- A_f - конечная активность
- v - объём р-ра (мл)
- m - масса сорбента(г)

Спасибо за внимание

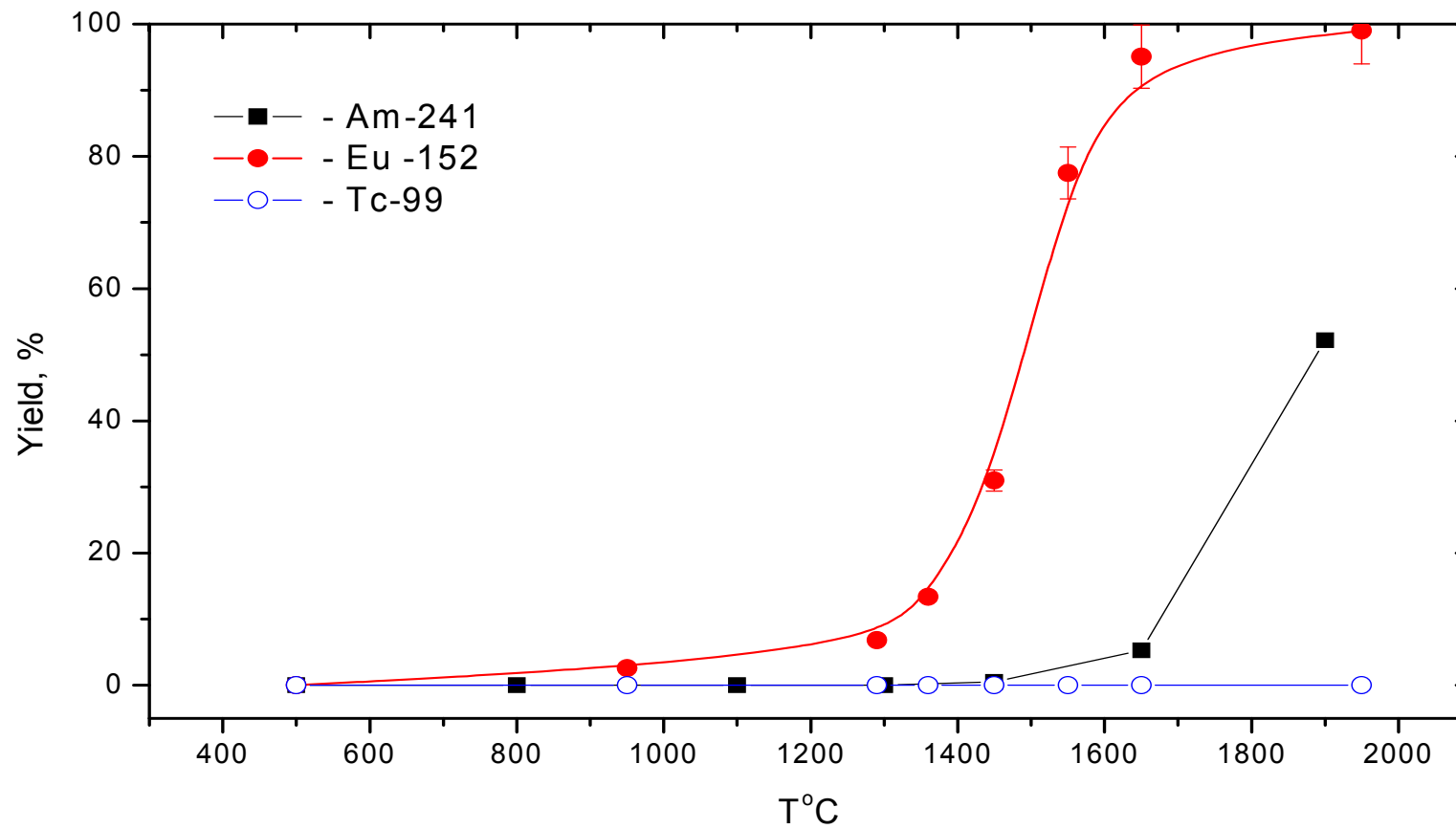


		Sr		Rb		Kr	
A	$T_{1/2}$	Вид распада	$T_{1/2}$	Вид распада	$T_{1/2}$	Вид распада	
80	1,8ч	ϵ	30с	β^+	Стаб.		
81	22мин.	β^+	*30,3мин. 4,6ч	ИП ϵ, β^+	*13,с $2,3 \cdot 10^5$ л.	ИП, ϵ	
82	25,3дн.	ϵ	*6,3ч 1,23мин.	ИП ϵ, β^+	Стаб.		
83	*5с 32ч	ИП ϵ, β^+	86,2дн.	ϵ	*1.83ч Стаб.	ИП	
84	Стаб.		*20,5мин. 32,8дн.	ИП ϵ, β^+	Стаб.		
85	*67,7мин. 64,9дн.	ИП β^-	Стаб.(72%)		*4,8ч 10,75л.	ИП β^-	
86	Стаб.		*1мин. 18,7дн.	ИП $\epsilon \beta^-$, нет γ	Стаб.		
87	*2,8ч стаб	ϵ , нет γ	Стаб.(30%)		76мин.	β^-	

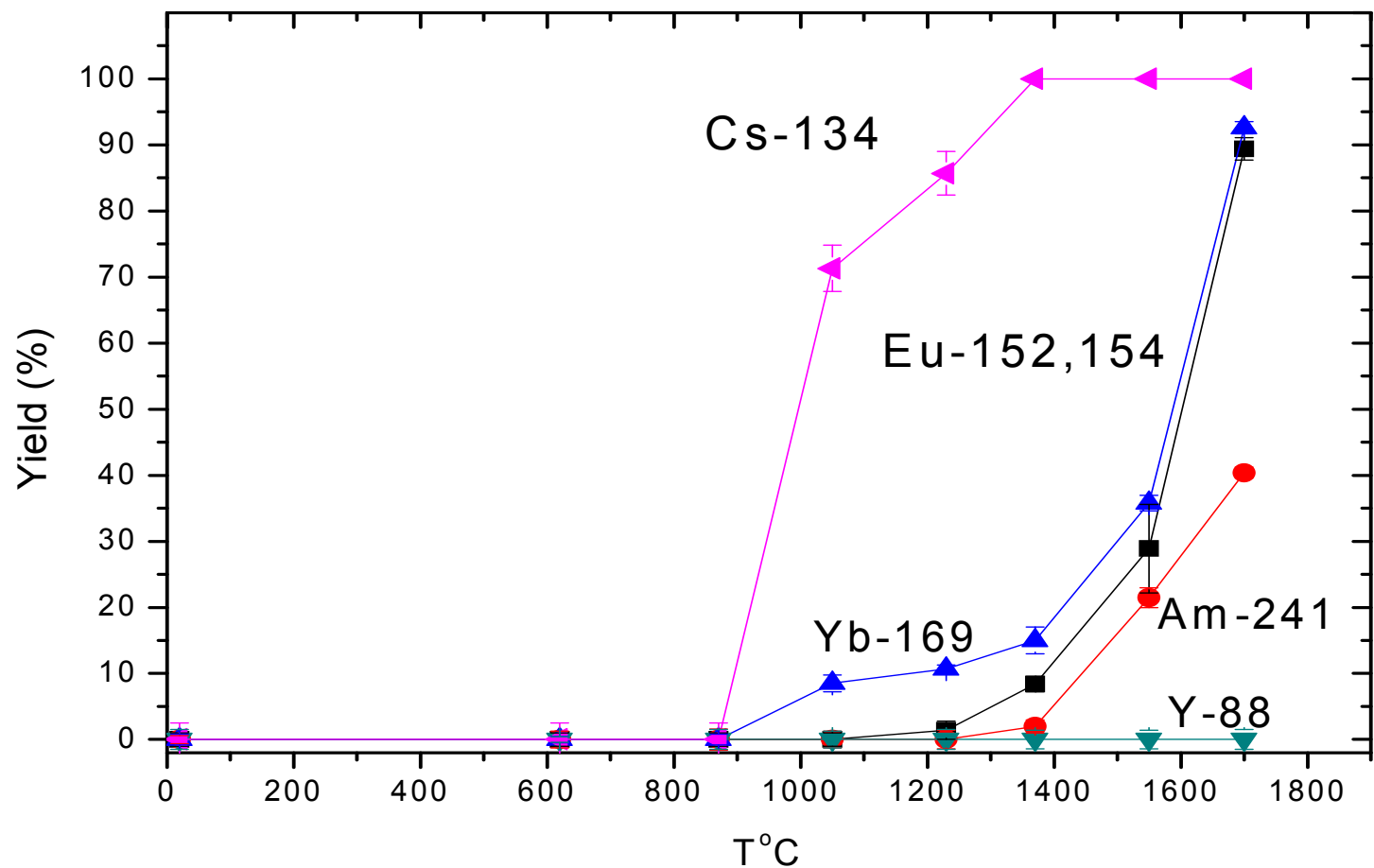




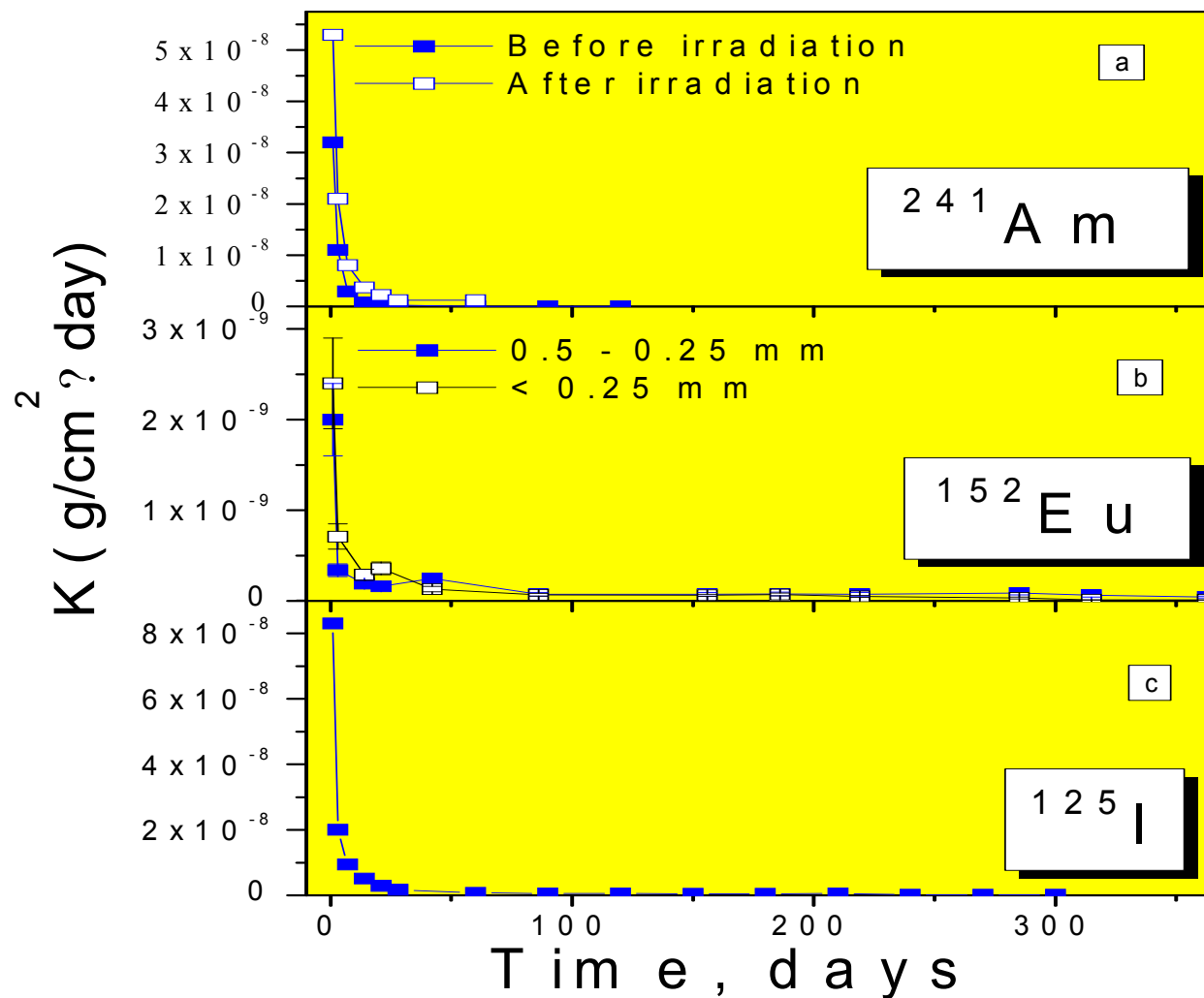
○ — NITROGEN ● — CARBON



Температурная зависимость выхода
радиоэлементов из углеродной матрицы



Температурная зависимость выделения радионуклидов для облучённой нейтронами углеродной матрицы с Am-241 (%). Интегральный поток нейтронов – 10^{19} н, суммарная поглощённая доза 10^8 Гр.



Скорость выщелачивания радионуклидов дистиллированной водой из матриц, содержащих Am-241, Eu(Eu-152), I(I-125), при комнатной температуре;
 а-выщелачивание из матрицы с америцием до и после облучения нейтронами,
 б- то же из образцов матрицы с европием разной степени дисперсности,
 с- из порошка матрицы с йодом.