

RUPAC 2012,
St. Petersburg, 24-28 September

DEVELOPMENT of FLNR JINR HEAVY IONS ACCELERATOR COMPLEX (DRIBs III)

G.Gulbekian

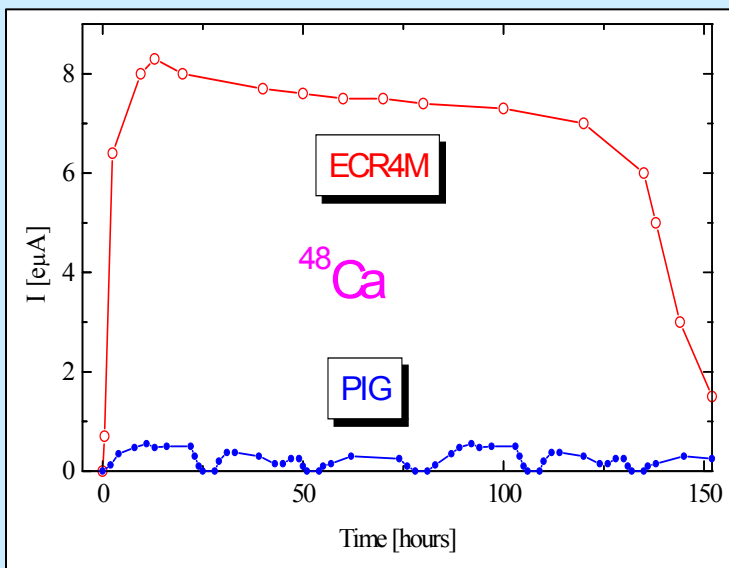
Flerov Laboratory of Nuclear Reactions JINR

U400 Cyclotron (1978)



Cyclotron U-400. $^{48}\text{Ca}^{5+}$

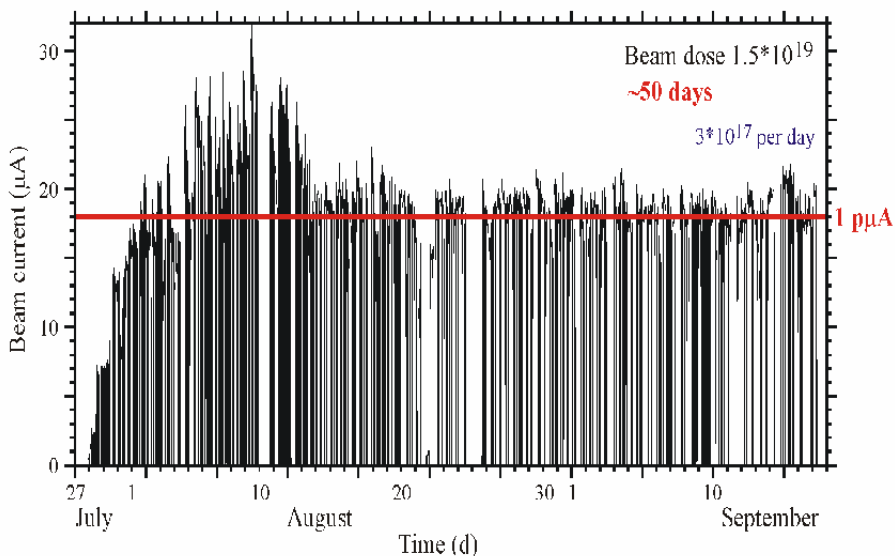
1996 г.



PIG: $I \sim 0.4 \mu\text{A}$,
 ^{48}Ca consumption: $4 \div 15 \text{ mg/h}$

ECR: $I \sim 8 \mu\text{A}$,
 ^{48}Ca consumption $0.4 \div 0.5 \text{ mg/h}$

2010 г.



$I \sim 18 \mu\text{A}$ (1 $\text{p}\mu\text{A}$)

Transformation of ^{48}Ca as working substance into the ^{48}Ca beam on target is about 1% in routine operation.

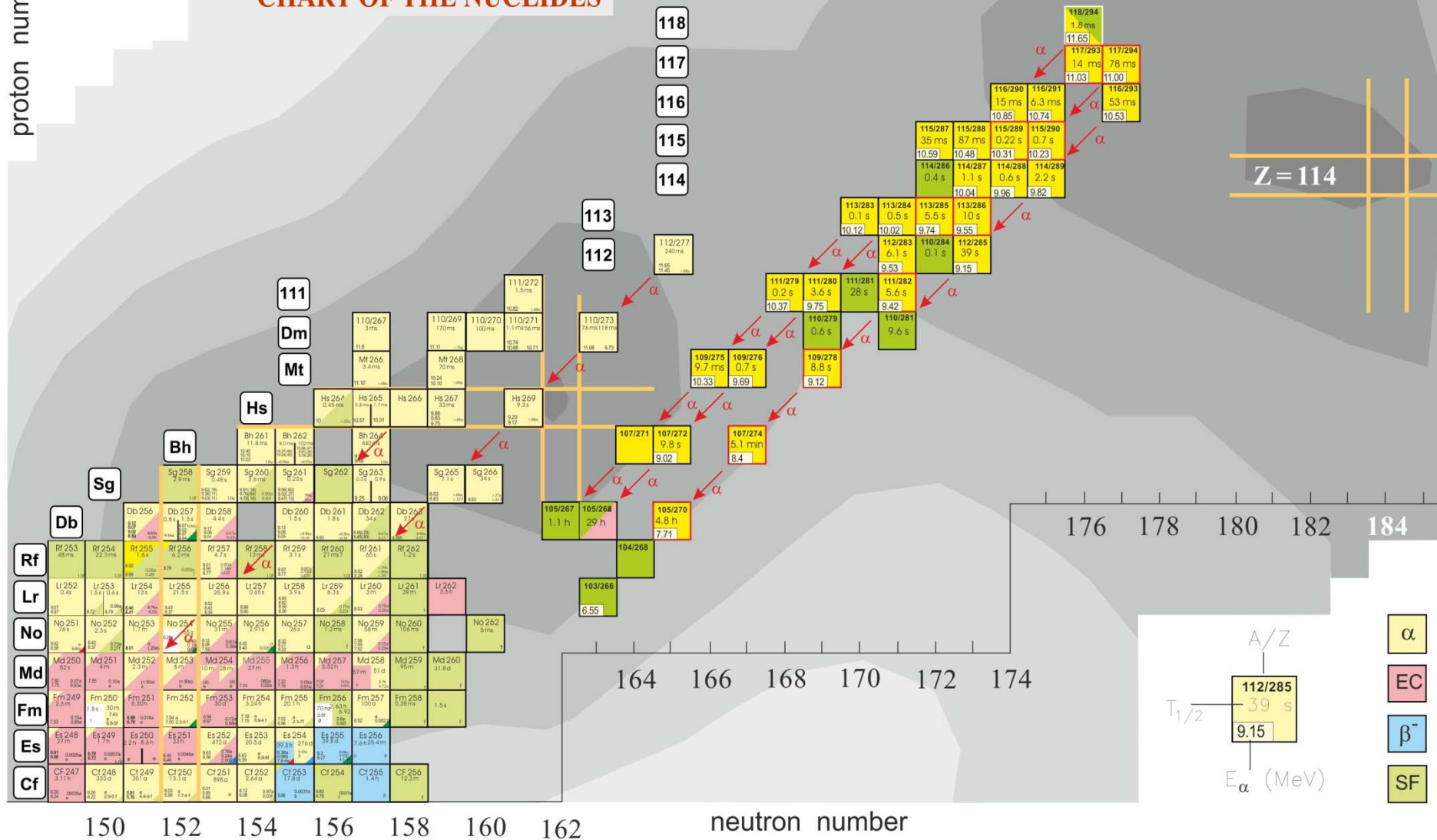
2014 г.

DC280

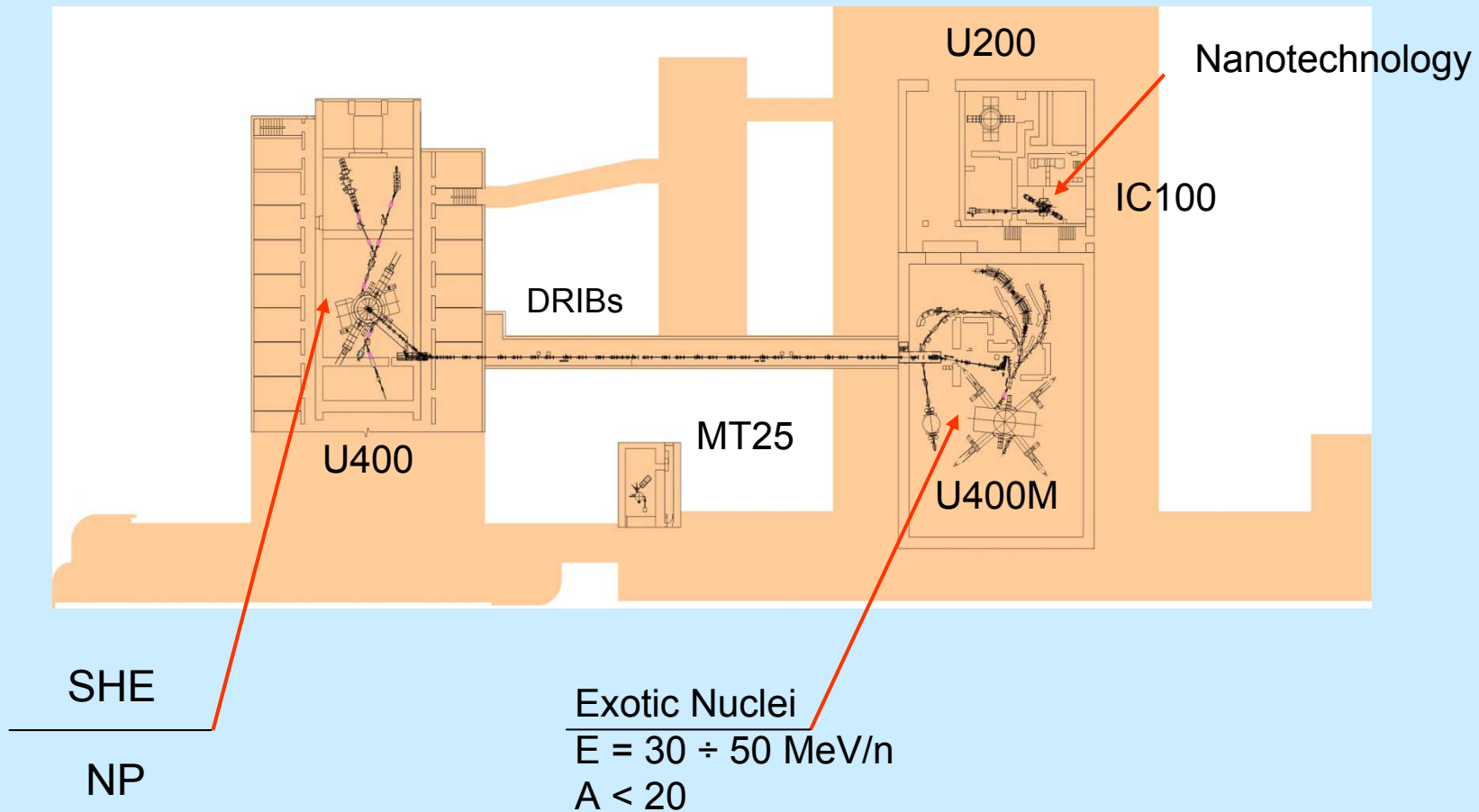
Intensity ^{48}Ca $1 \mu\text{A} \rightarrow 10 \mu\text{A}$

proton number

CHART OF THE NUCLIDES



FLNR - 2011



FLNR accelerator operation time in 1996-2011

Accelerator	Operation time in 1996 - 2011
U-400	83000 h
U-400M	42000 h
U-200	8 500 h
MT-25	14 000 h

Σ 147 500 h

Future accerators for SHE programs

Center	Accelerator type	Intensity ^{48}Ca , pμA	Realisation
MSU	SC Linac	10	2018÷2020
SPIRAL II	SC Linac	10	2013÷2016
GSI	SC Linac	10	2013÷2015
RIKEN	Ring Cyclotron	10	2011÷2013
Dubna	Compact Cyclotron	10	2014

NEW FLNR ACCELERATOR – CYCLOTRON DC280

In order to improve efficiency of the experiments for the next 7 years it is necessary to obtain the accelerated ion beams with following parameters.

Energy	$4 \div 8 \text{ MeV/n}$
---------------	--

Masses	$10 \div 238$
---------------	---------------------------------

Intensity (up to $A=50$)	$>10 \text{ p}\mu\text{A}$
--	---

Beam emittance less $30 \pi \text{ mm}\cdot\text{mrad}$

Efficiency of beam transfer $>50\%$

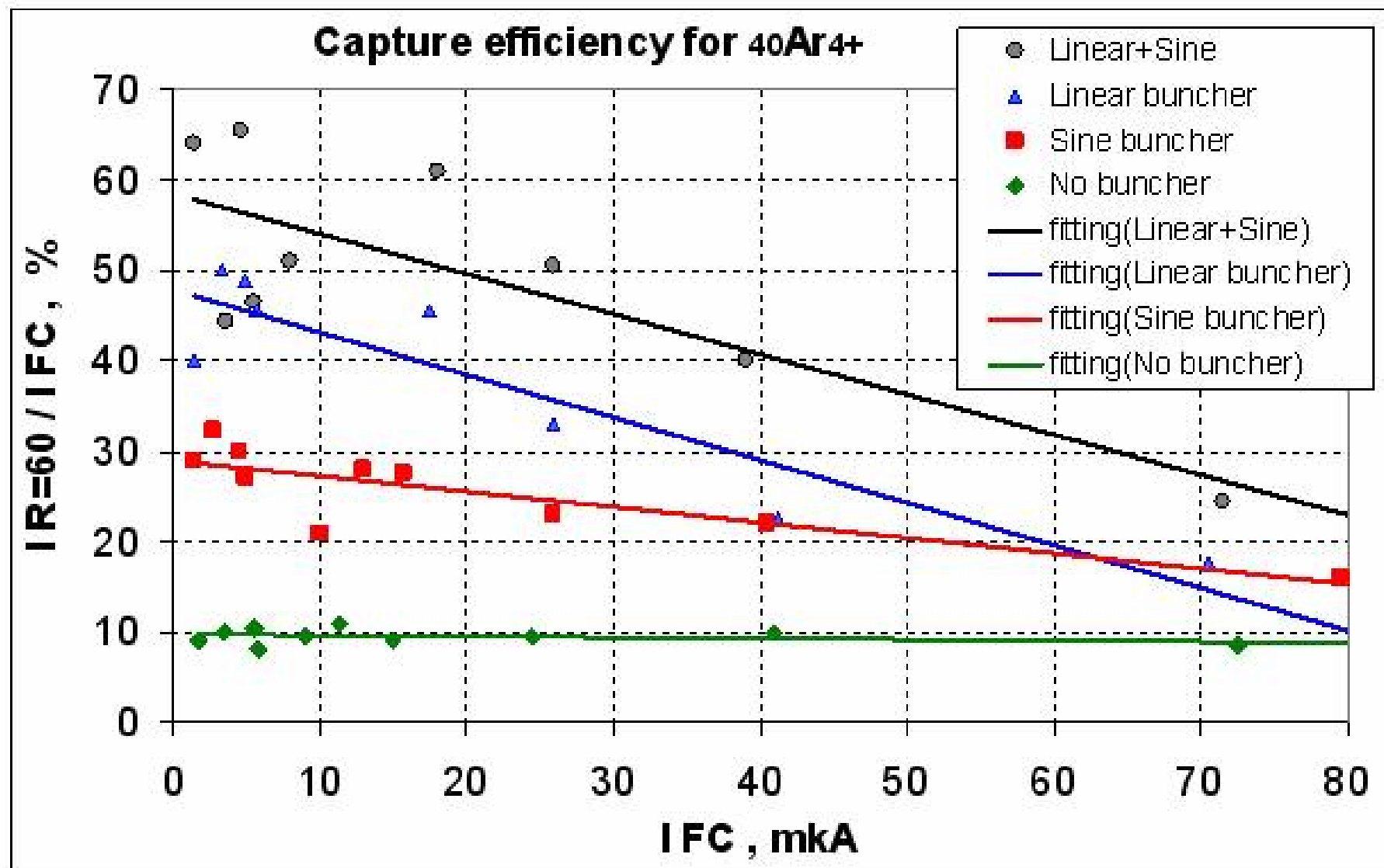
DC280. Parameters and Goals

	DC280 Parameter	Goals
1.	High injecting beam energy (up to 100 kV)	Shift of space charge limits for factor 30
2.	High gap in the center	Space for long spiral inflector
3.	Low magnetic field	Large starting radius. High turns separation. Low deflector voltage
4.	High acceleration rate	High turns separation.
5.	Flat-top system	High capture. Single orbit extraction. Beam quality.

DC280

Main Parameters

Ion source	DECRIS-4 - 14 GHz DECRIS-SC3 - 18 GHz
Injecting beam potential	Up to 100 kV
A/Z range	4÷7
Energy	4÷8 MeV/n
Magnetic field level	0.6÷1.35 T
K factor	280
Gap between plugs	400 mm
Valley/hill gap	500/208 mm/mm
Magnet weight	1000 t
Magnet power	300 kW
Dee voltage	2x130 kV
RF power consumption	2x30 kW
Flat-top dee voltage	2x14 kV

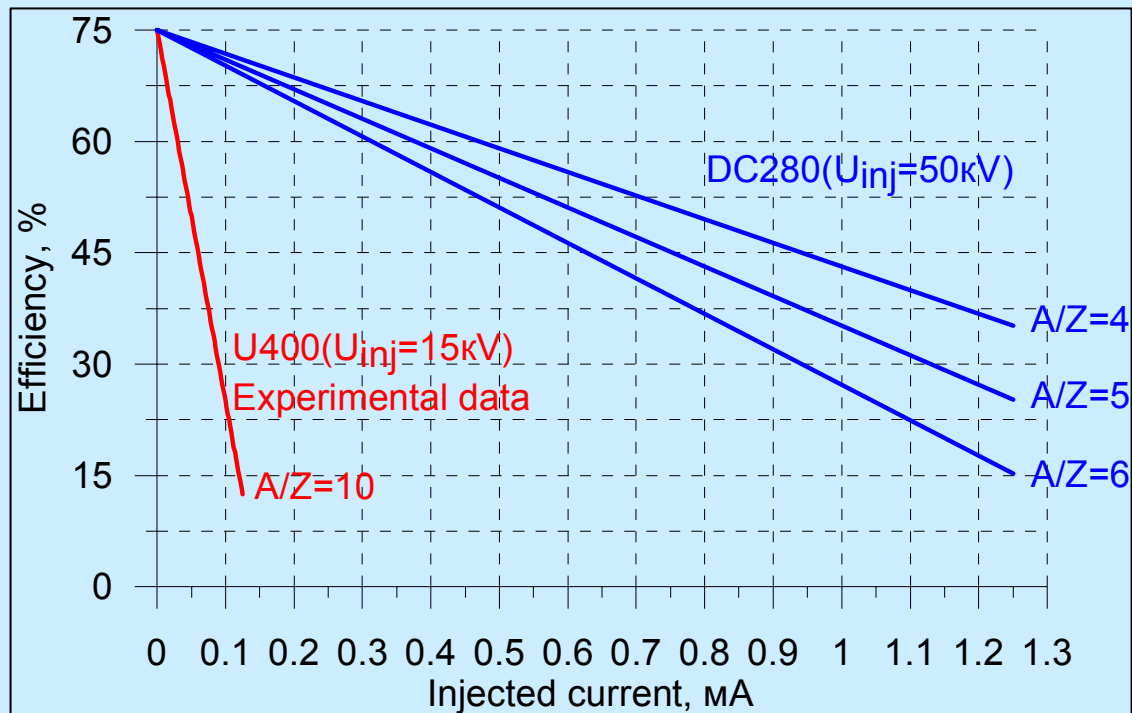


Иваненко И.А.

Калагин Н В

DC280

Overall (ion source → target) beam current transferring efficiency



DC280 Cyclotron

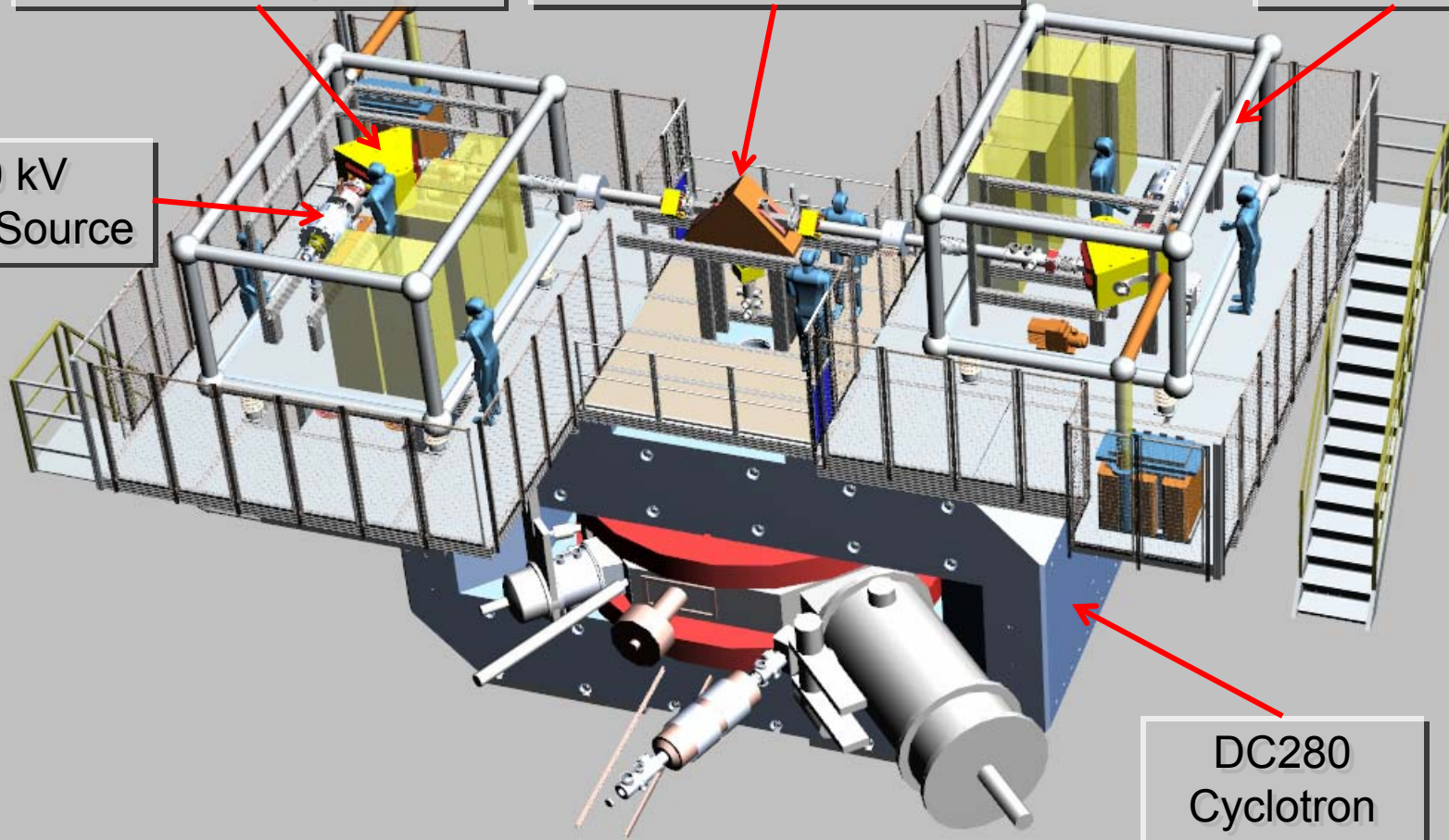
30 kV
Ion Beam Separation

100 kV
Ion Beam Bending

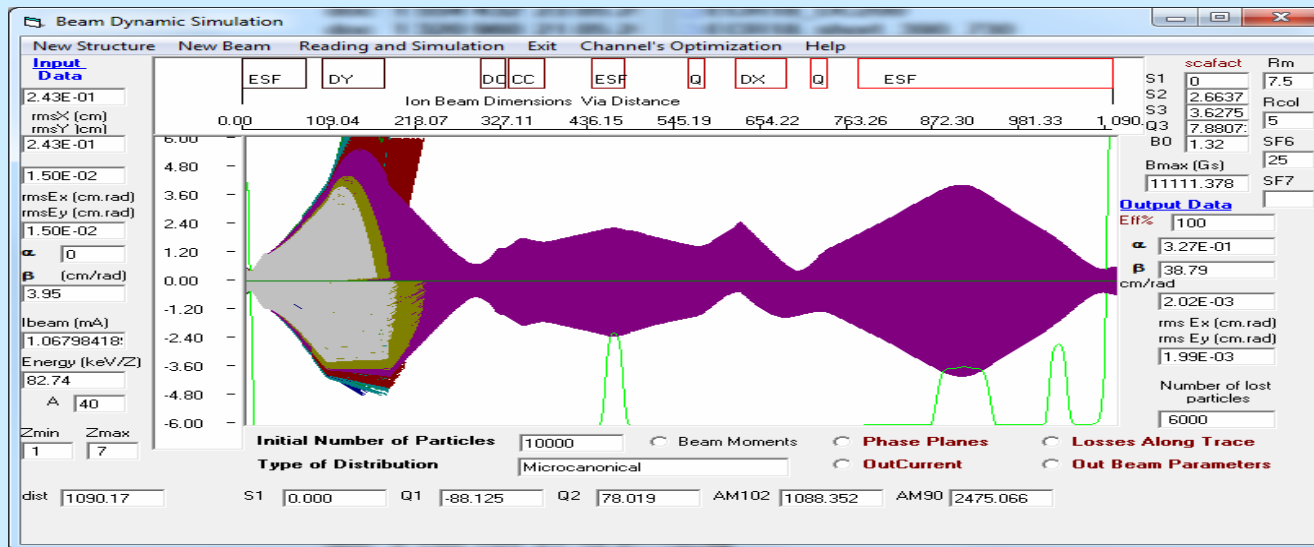
100 kV
Platform

30 kV
ECR Source

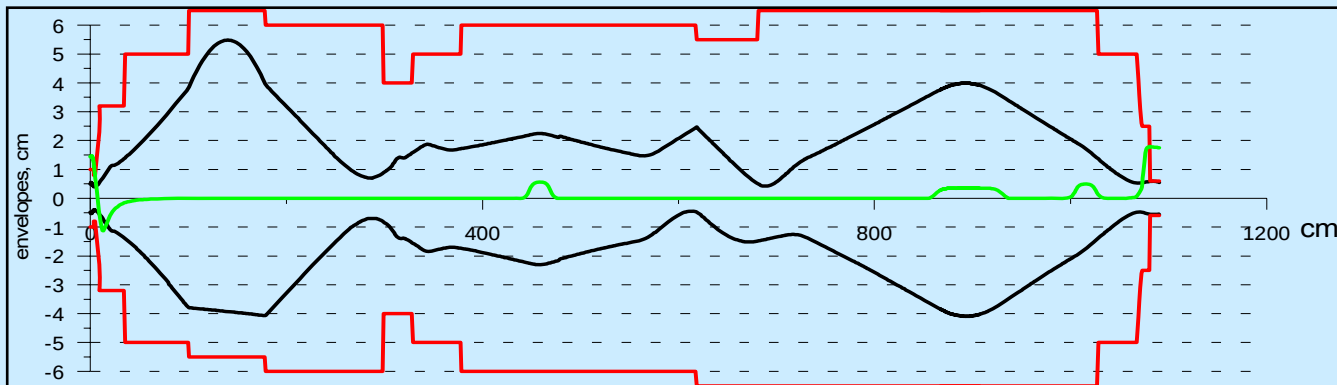
DC280
Cyclotron



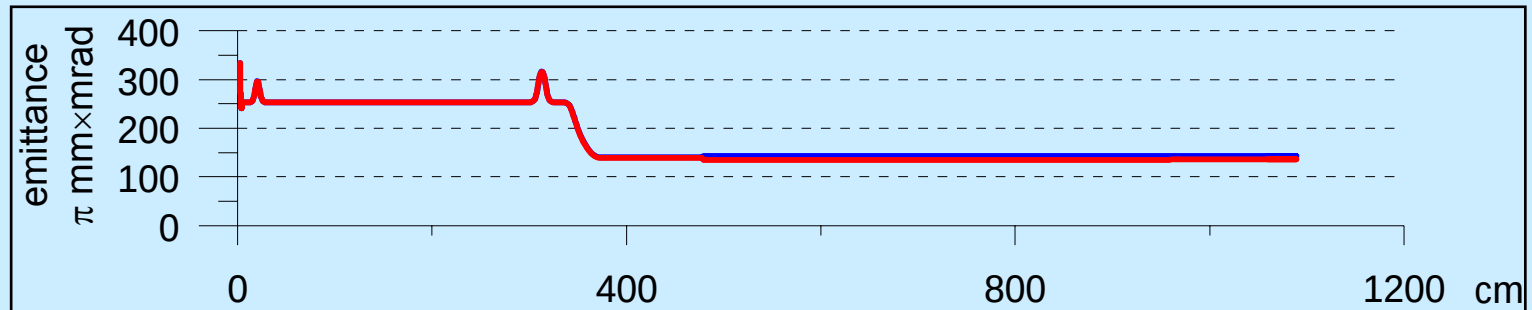
DC280 axial injection beam line



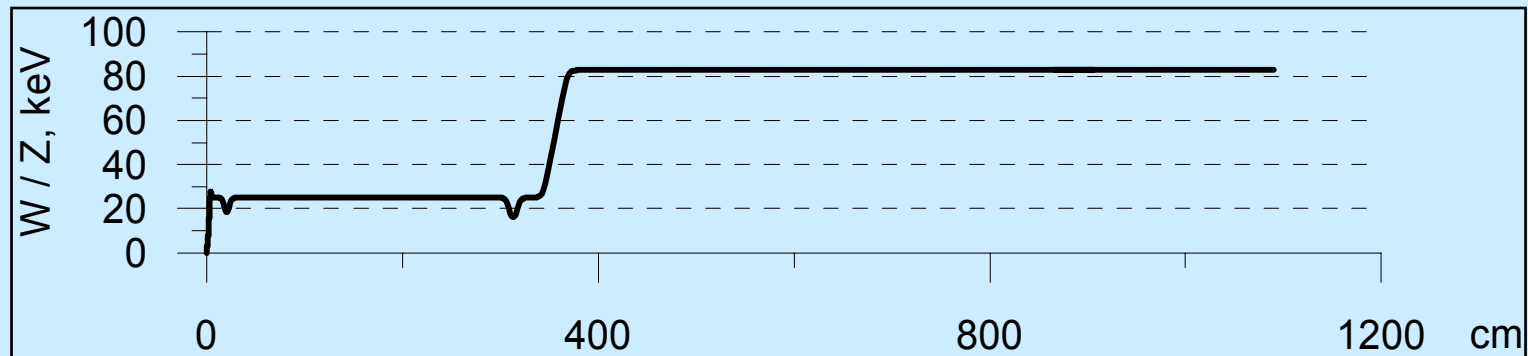
Particle trajectories



DC280 axial injection beam line

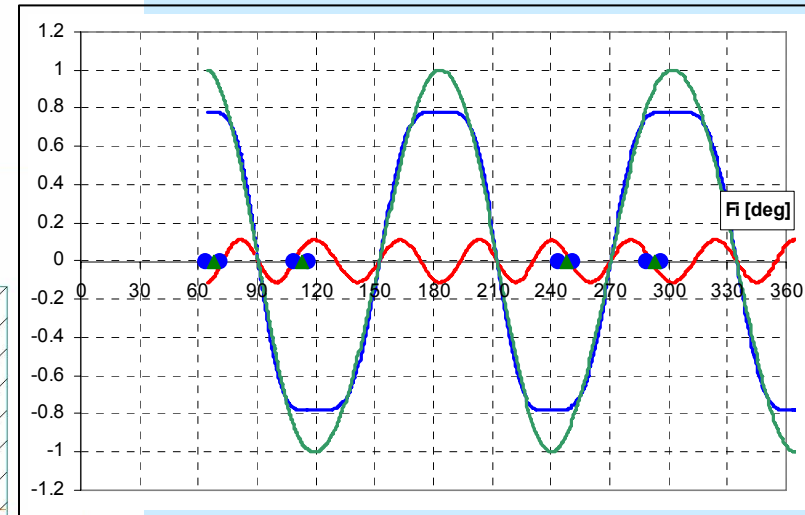
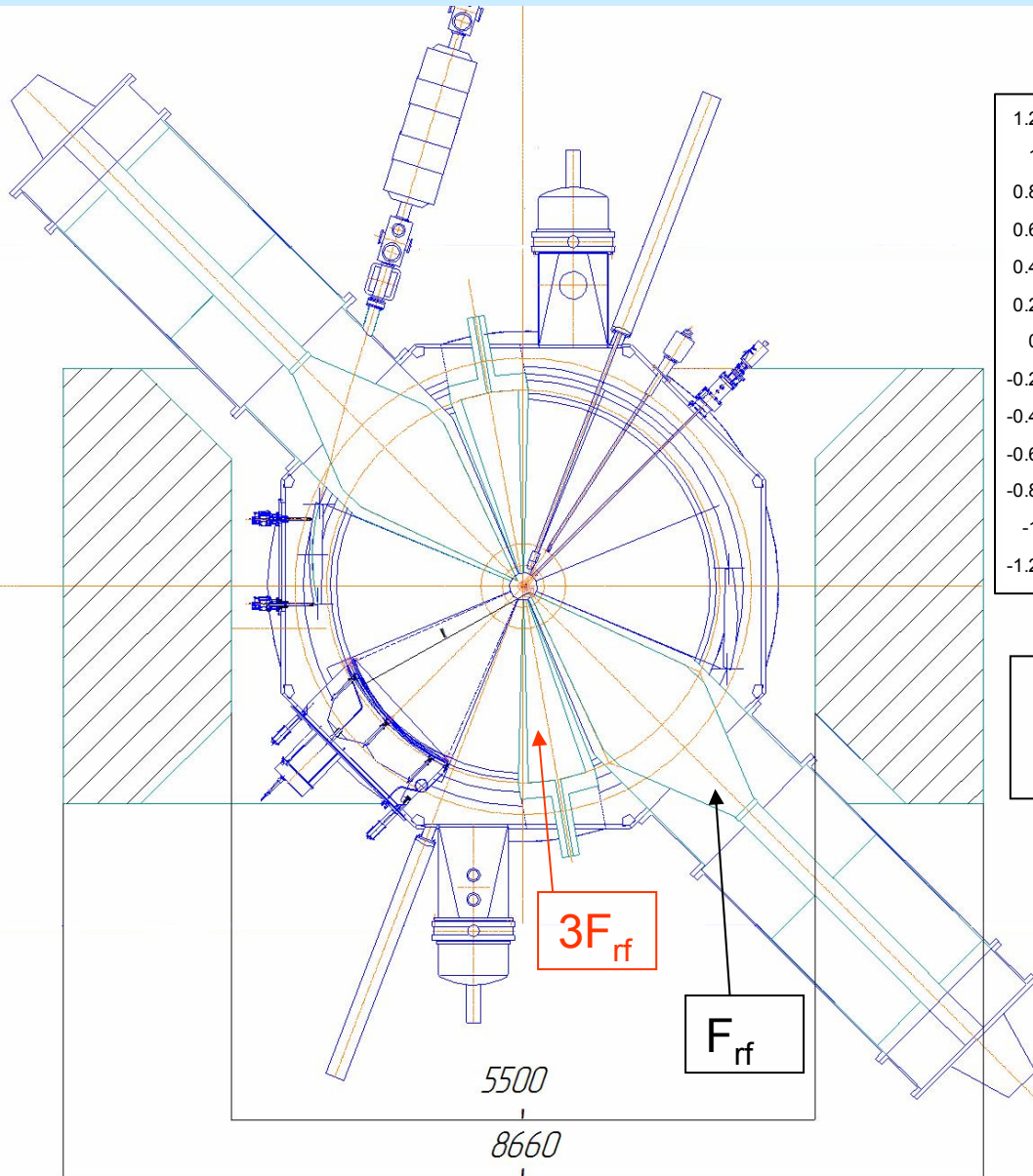


Ar⁷⁺ beam emittance (non-normalized)



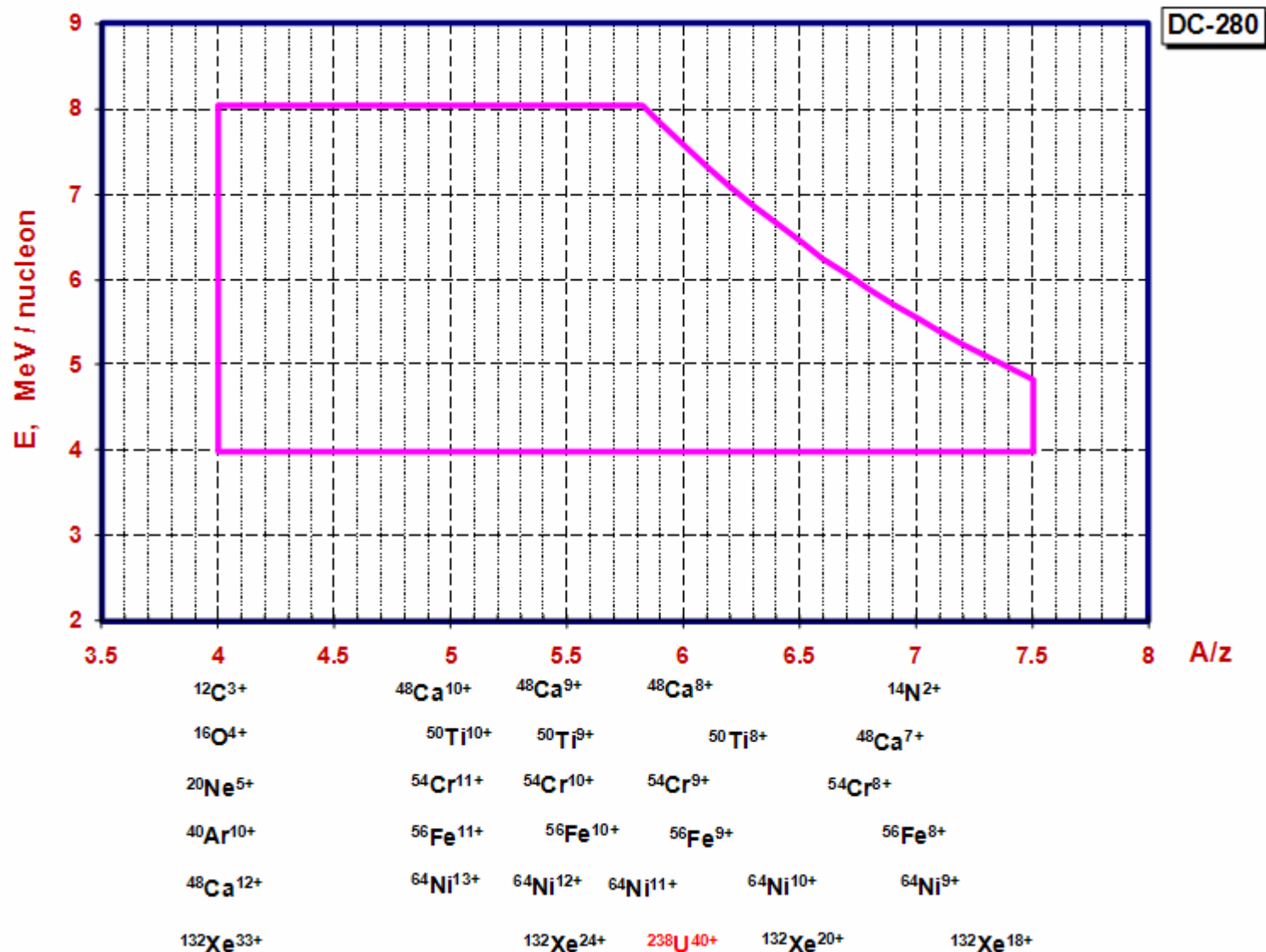
Ar⁷⁺ beam kinetic energy per unit charge

Flat-Top system



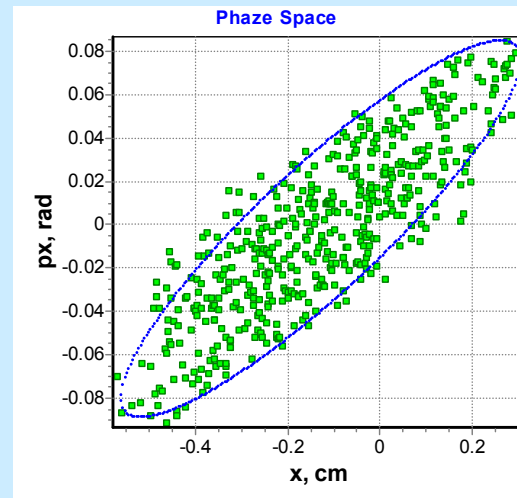
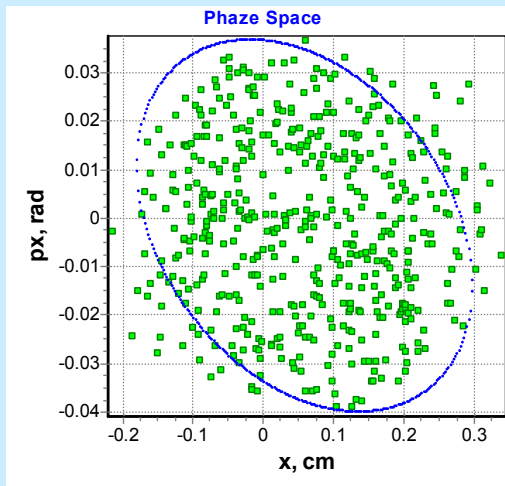
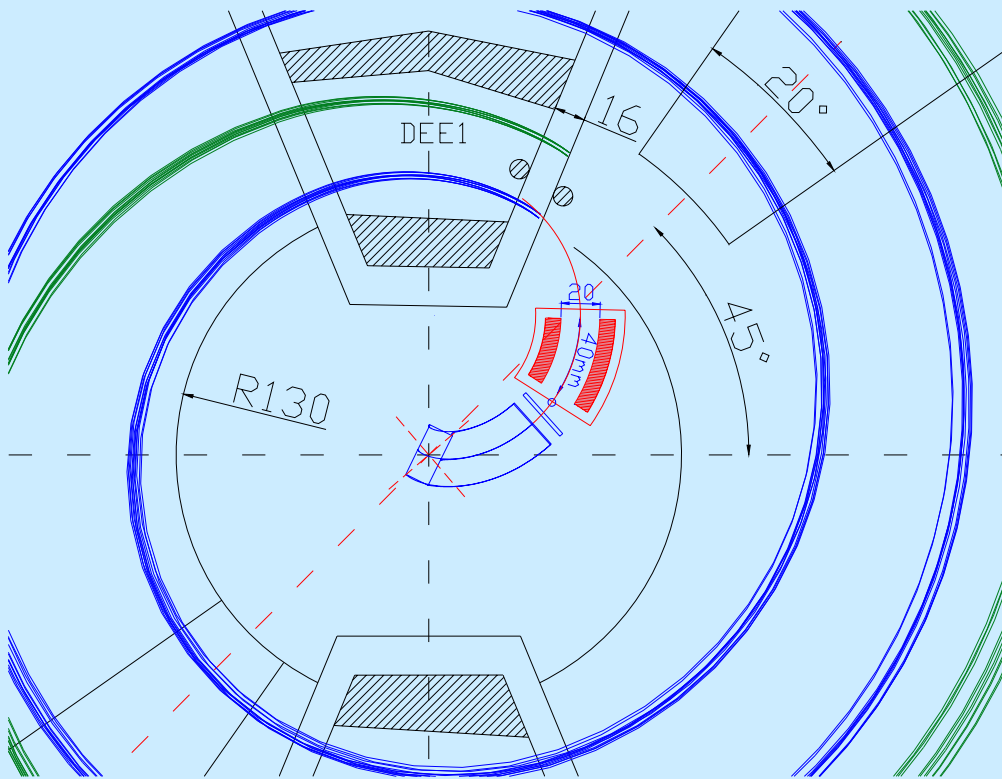
Net effect $A_1 \sin(\omega_{rf} t) + A_2 \sin(3\omega_{rf} t)$
 $A_2 \approx 0.1 \cdot A_1$

Working Diagram of the DC280 Cyclotron



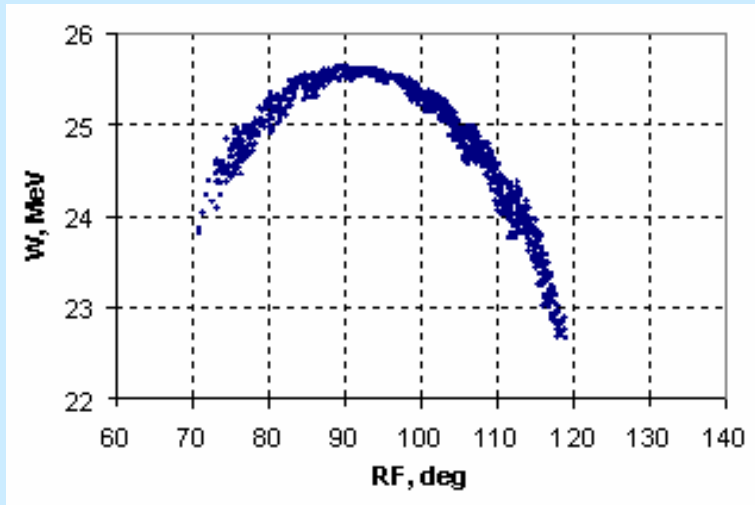
DC280 cyclotron central region

The view of DC280 cyclotron central region with inflector and quadrupole lens

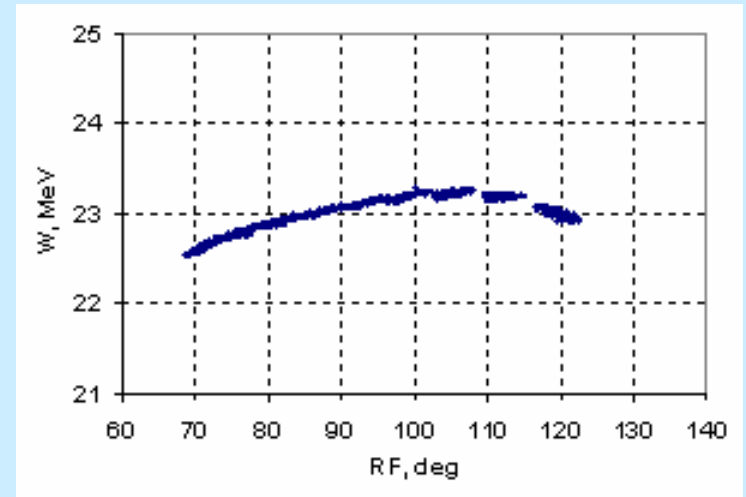


Radial and vertical emittances at the inflector exit

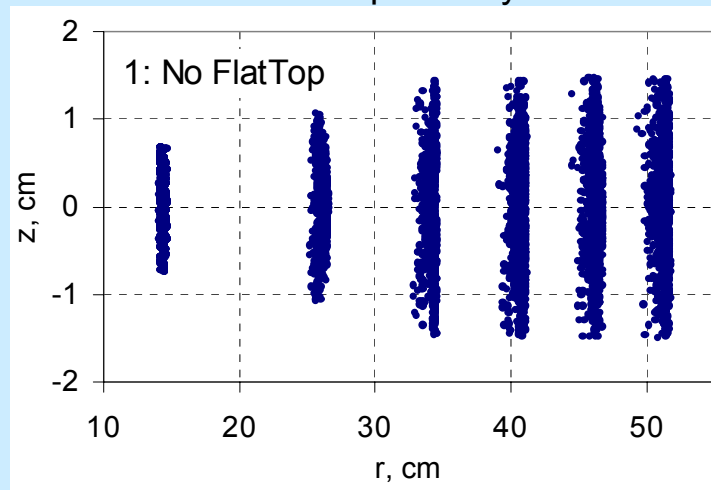
DC280 «FLAT-TOP» RF SYSTEM



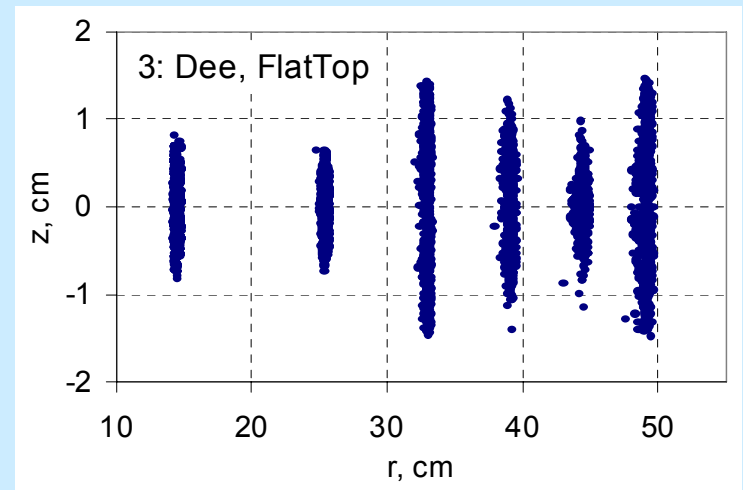
The beam energy spread at the 5-th orbit without «flat-top» RF system



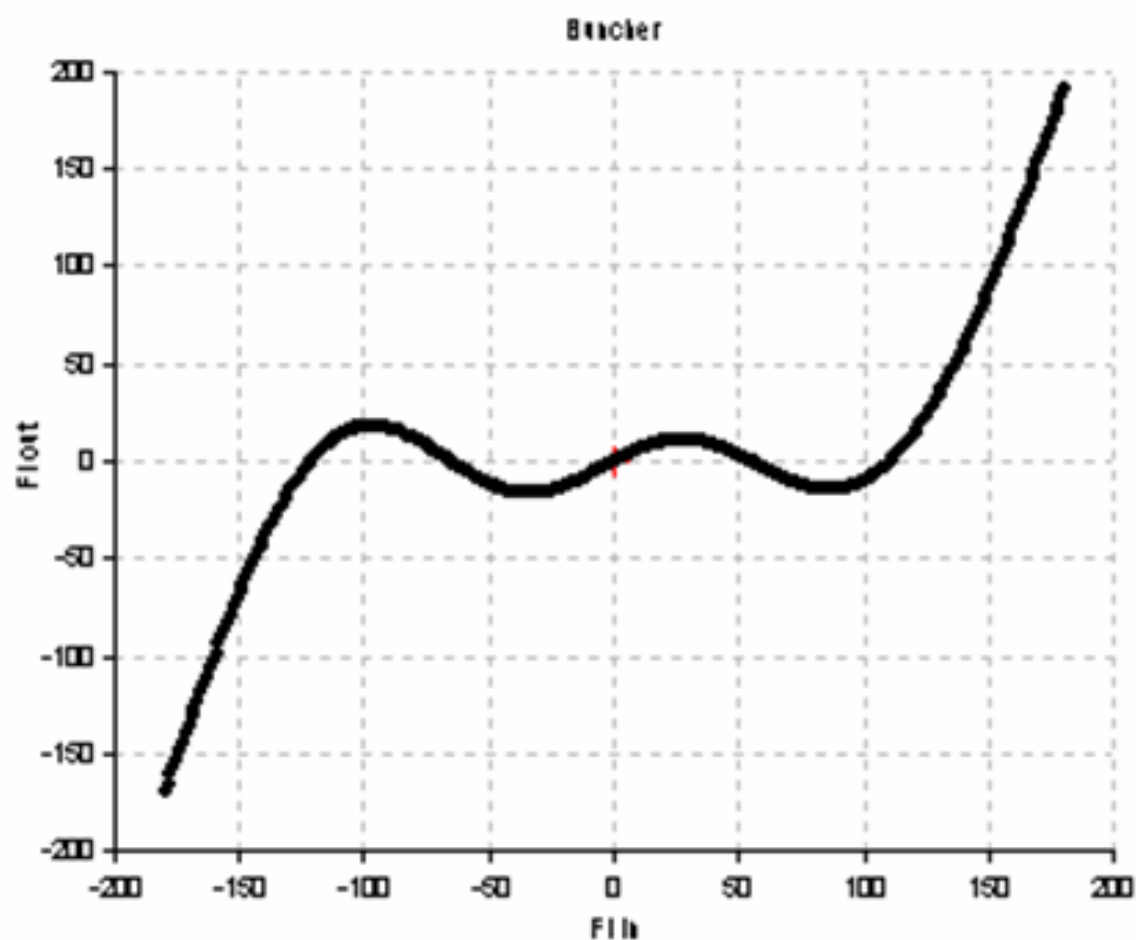
The beam energy spread at the 5-th orbit with «flat-top» RF system



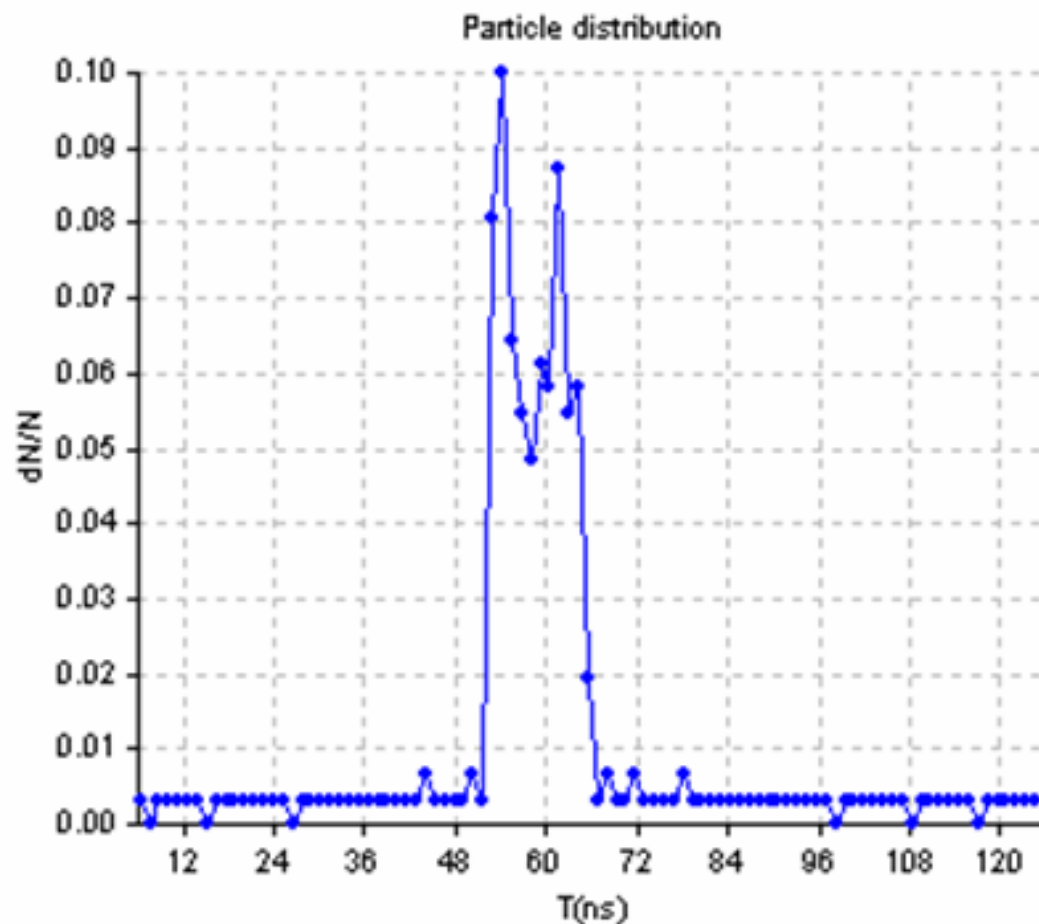
The beam transverse form for 5 initial orbits without «flat-top» system



The beam transverse form for 5 initial orbits with «flat-top» system



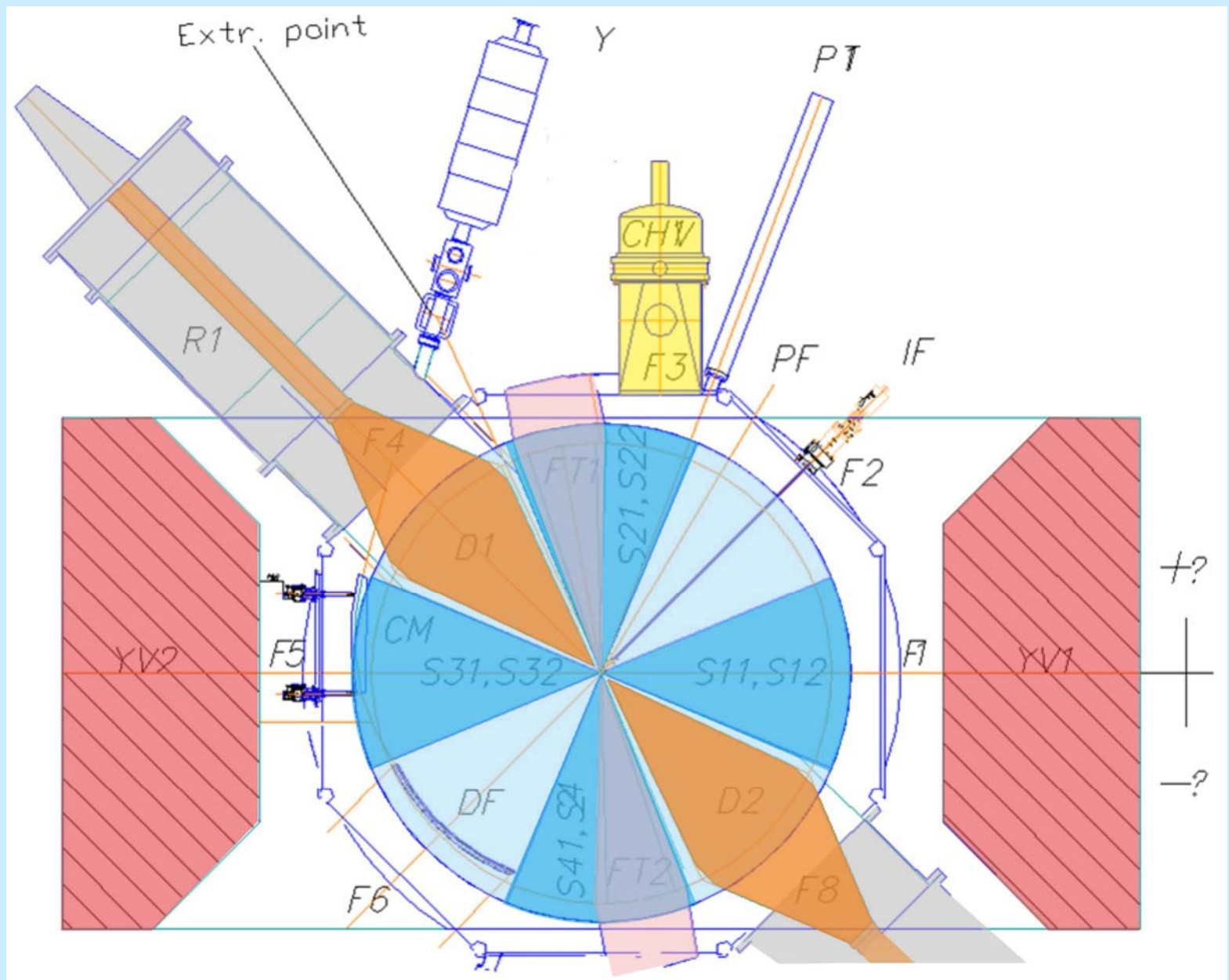
Input and output phases of particles for 2 harmonic bunching system



Time dependence of particle density at median plane

Estimated efficiency of capture into acceleration is 66%

DC280 plan view and beam extraction structure



DC280 . Intensity of some typical ion beams

20Ne	$1 \cdot 10^{14}$ pps
48Ca	$6 \cdot 10^{13}$ pps
50Ti	$3 \cdot 10^{13}$ pps
70Zn	$2,5 \cdot 10^{13}$ pps
86Kr	$3 \cdot 10^{13}$ pps
100Mo	$2 \cdot 10^{12}$ pps
124Sn	$2 \cdot 10^{12}$ pps
136Xe	$2 \cdot 10^{13}$ pps
208Pb	$1 \cdot 10^{12}$ pps
238U	$1 \cdot 10^{11}$ pps

First floor



Level 0.000 и -0.500

Second floor



Level+4.750

Flerovlab Building 131



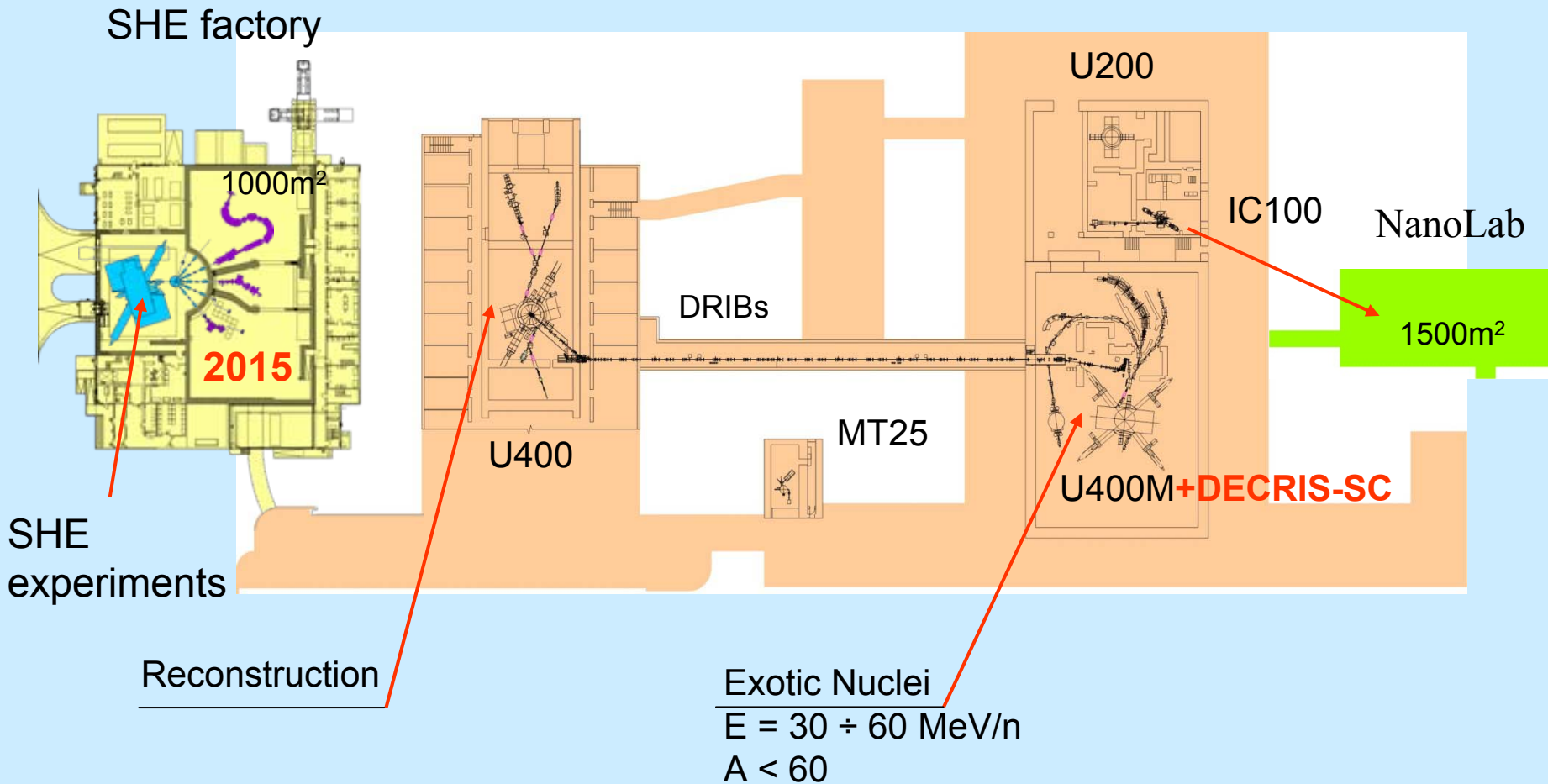
New Experimental Building
with DC280 accelerator complex

SHE factory

Building computer model



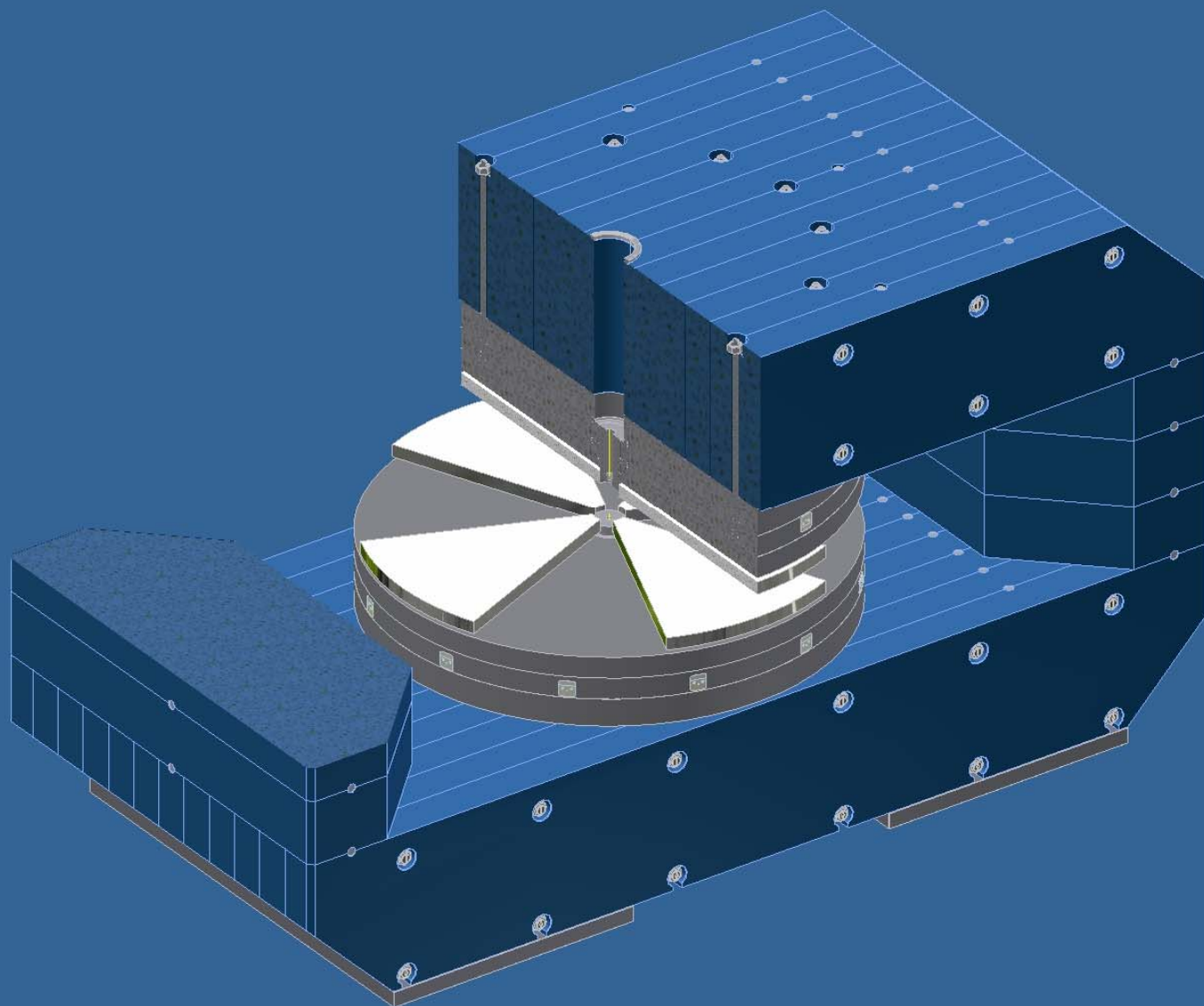
FLNR - 2015



FLNR

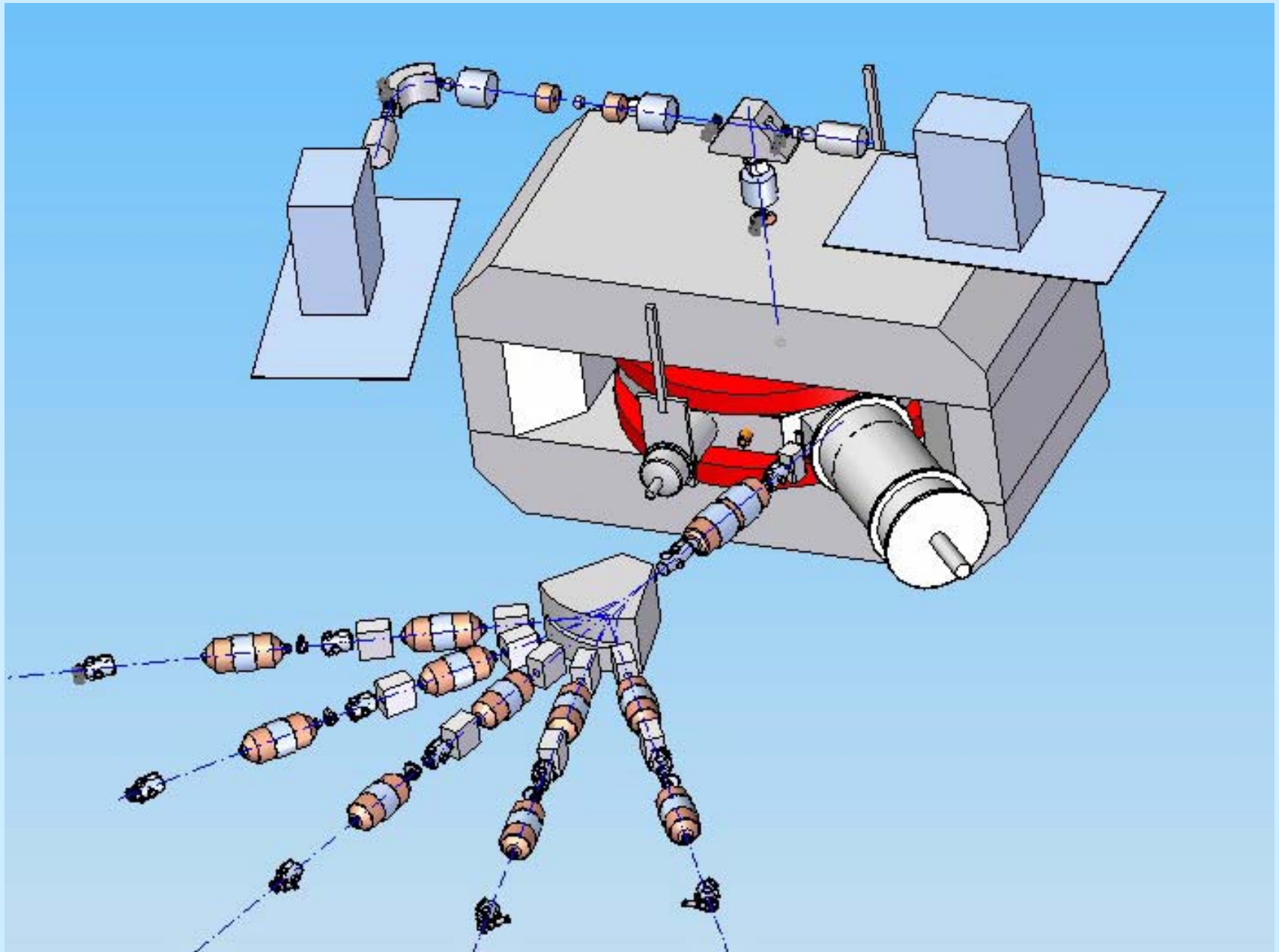
Schedule of the SHE factory creation

	2011	2012	2013	2014	2015
Building, infrastructure					
Equipment completion					
Equipment assembling, testing					
Beam testing					
First experiment					





DC280 cyclotron



THANKS FOR YOUR
ATTENTION!

ПЛАН-ГРАФИК

финансирования работ по созданию, комплектации и монтажу оборудования циклотронного комплекса Экспериментального корпуса ЛЯР (в М\$)

№№ пп	Наименование работ	2011	2012	2013	2014	2015	Итого по теме
1	Строительство, инженерные системы						
2	Магнит циклотрона	0,25	2,25	2,5	2,35		7,35
3	Высоковольтная платформа инженерного пучка				1,0		1,0
4	Система высоковольтного питания			0,2	0,2		0,4
5	Источник ионов типа ECR			0,25	0,25		0,5
6	Система аксиальной инъекции				0,5		0,5
7	Вакуумная камера циклотрона			0,2			0,2
8	Система диагностики пучков				0,1		0,1
9	Основные обмотки электромагнита циклотрона			0,3	0,3		0,6
10	Корректирующие катушки			0,2	0,2		0,4
11	Коммутирующий магнит			0,3	0,3		0,6
12	Ускоряющие структуры				1,2		1,2
13	Каналы транспортировки пучков				1,4		1,4
14	Вакуумная система			0,6	0,6		1,2
15	Система водоохлаждения			0,6	0,4		1,0
16	Система электропитания			0,6	0,15		0,75
17	Система контроля и управления			0,25	0,7		0,95
18	Разработка проектной документации	0,75	0,75				1,5
19	Монтаж и наладка				2		2
20	Получение ускоренного пучка						
	Итого по годам	1 М\$	3,0 М\$	6 М\$	12 М\$		22 М\$

№	Наименование	2011 г.												2012 г.												Ответственный
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
12.	Flat-top резонаторы																									Бузмаков В.А.
13.	Система в.ч. банчеров																									Калагин И.В.
14.	Системы в.ч. питания																									Бузмаков В.А.
15.	Система управления в.ч.																									Бузмаков В.А.
Высоковольтная платформа, источник ионов																										
16.	Конструкция в.в платформы, размещение оборудования																									Богомолов С.Л. Ефремов А. А.
17.	Ионный источник, система электропитания, управления, контроля																									Богомолов С.Л. Ефремов А. А.
18.	Ионно-оптические элементы тракта высоковольтной платформы, электропитание, управление, контроль																									Богомолов С.Л. Ефремов А. А.
19.	Вакуумные камеры тракта в.в платформы																									Богомолов С.Л. Ефремов А. А.
20.	Вакуумная система тракта в.в. платформы																									Богомолов С.Л. Хабаров М.В.
21.	Система электропитания в.в платформы																									Богомолов С.Л. Пашенко С.В.

[illegible]

[illegible]

Cyclotron DC280: *beam Intensity from 18 GHz ECR source, efficiency of capture and acceleration and ion beam intensity on targets of physical installations*

Ion	Ion charge	Beam Intensity from 18 GHz ECR		Efficiency of capture and acceleration	Ion beam intensity on targets, pps
		eμA	pps		
20Ne	3	150	3.10 ¹⁴	30%	1.10 ¹⁴
40Ar	7	300	3.10 ¹⁴	30%	1.10 ¹⁴
48Ca	8	150	1.10 ¹⁴	50%	5.10 ¹³
50Ti	8/9	75	5.10 ¹³	50%	2,5.10 ¹³
54Cr	9	125	8.10 ¹³	50%	4.10 ¹³
58Fe	9/10	125	8.10 ¹³	50%	4.10 ¹³
64Ni	10/11	125	8.10 ¹³	50%	4.10 ¹³
70Zn	11/12	100	5.10 ¹³	50%	2,5.10 ¹³
76Ge	12/13	50	2.10 ¹³	50%	1.10 ¹³



next

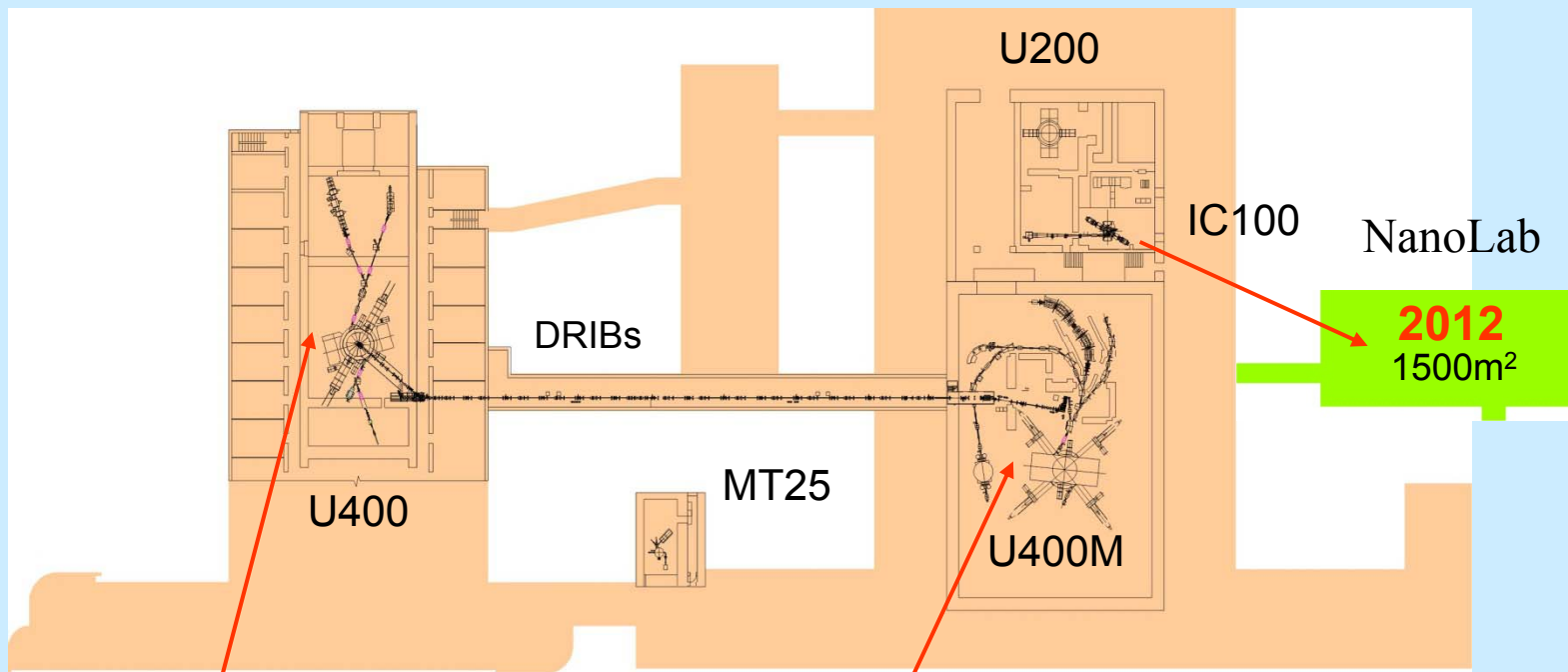


CyclotronDC280: *beam Intensity from 18 GHz ECR source, efficiency of capture and acceleration and ion beam intensity on targets of physical installations*

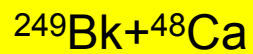
next

Ion	Ion charge	Beam Intensity from 18 GHz ECR		Efficiency of capture and acceleration	Ion beam intensity on targets, pps
		eμA	pps		
86Kr	14/15	150	6.10 ¹³	50%	3.10 ¹³
96Zr	16	10	4.10 ¹²	60%	2,5.10 ¹²
100Mo	16/17	10	3.10 ¹²	60%	2.10 ¹²
124Sn	20/21	10	3.10 ¹²	60%	2.10 ¹²
136Xe	22/23	150	4.10 ¹³	50%	2.10 ¹³
150Nd	25	?		60%	1.10 ¹² (?)
192Os	32	5	1.10 ¹²	60%	6.10 ¹¹
208Pb	34/35	15	2.10 ¹²	60%	1.10 ¹²
209Bi	34/35	15	2,2.10 ¹²	60%	1.10 ¹²
238U	39/40	1	1,5.10 ¹¹	60%	1.10 ¹¹

FLNR - 2012



SHE



Exotic Nuclei

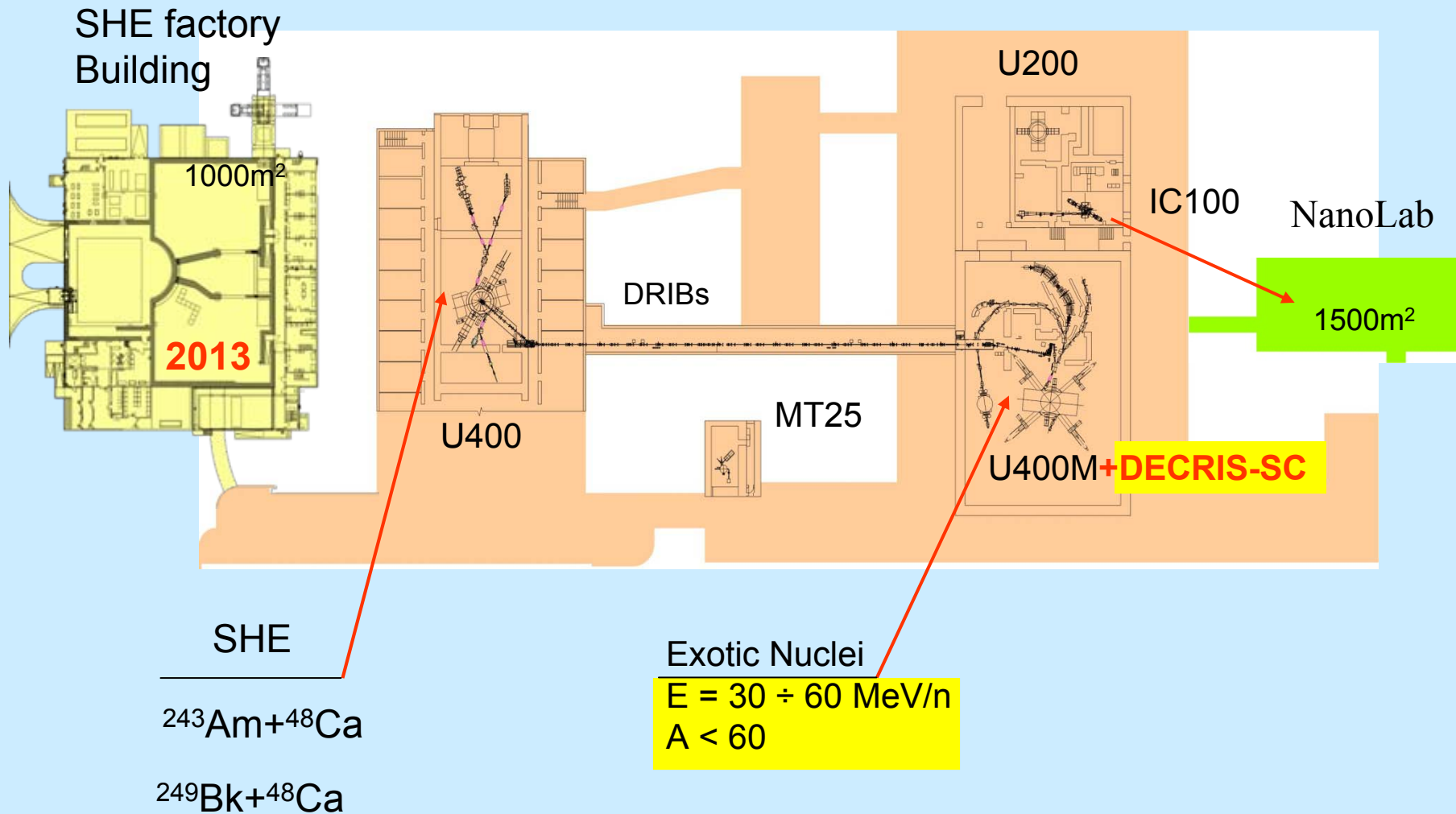
$E = 30 \div 50 \text{ MeV/n}$

$A < 20$

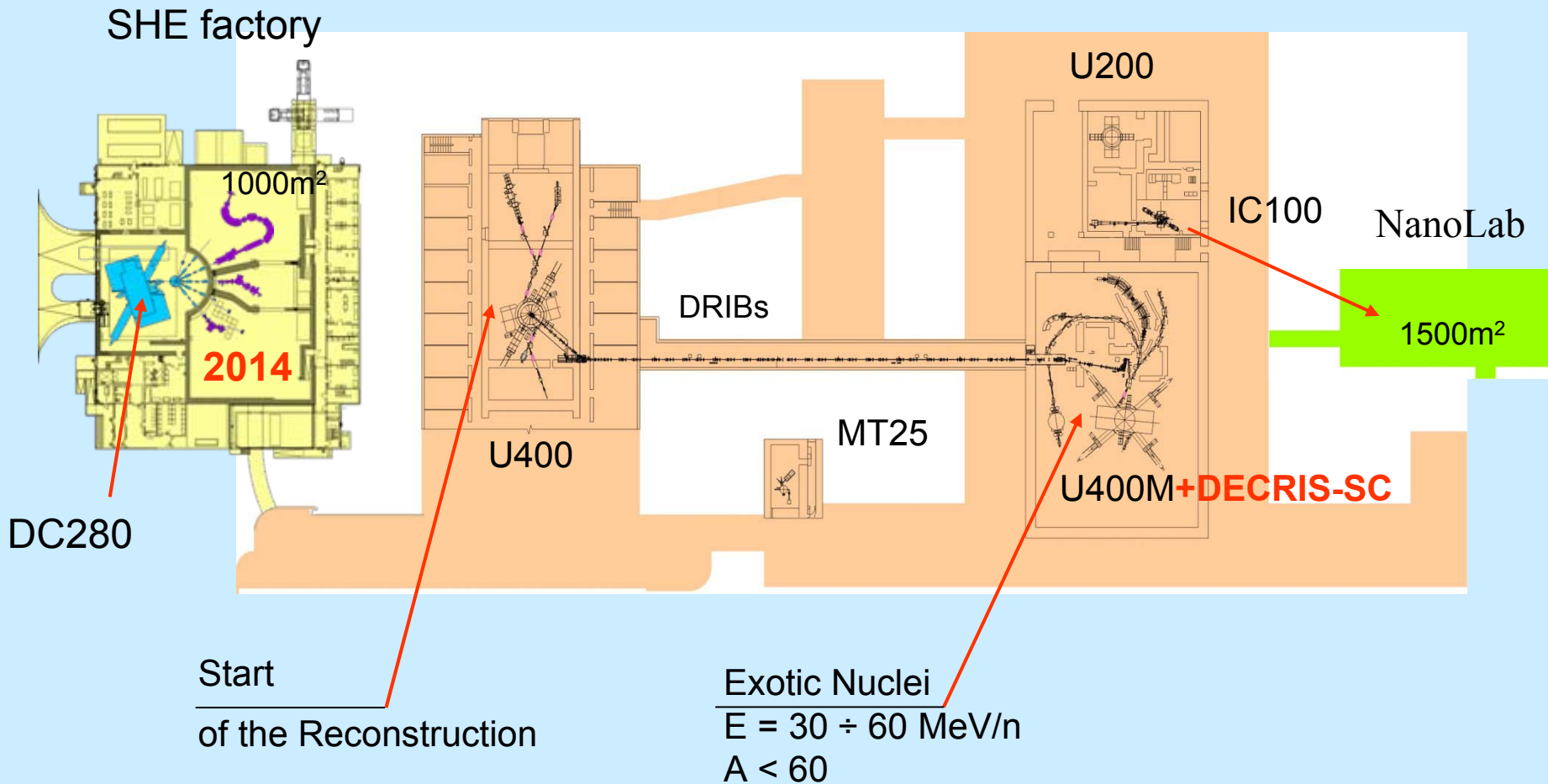
NanoLab

2012
1500m²

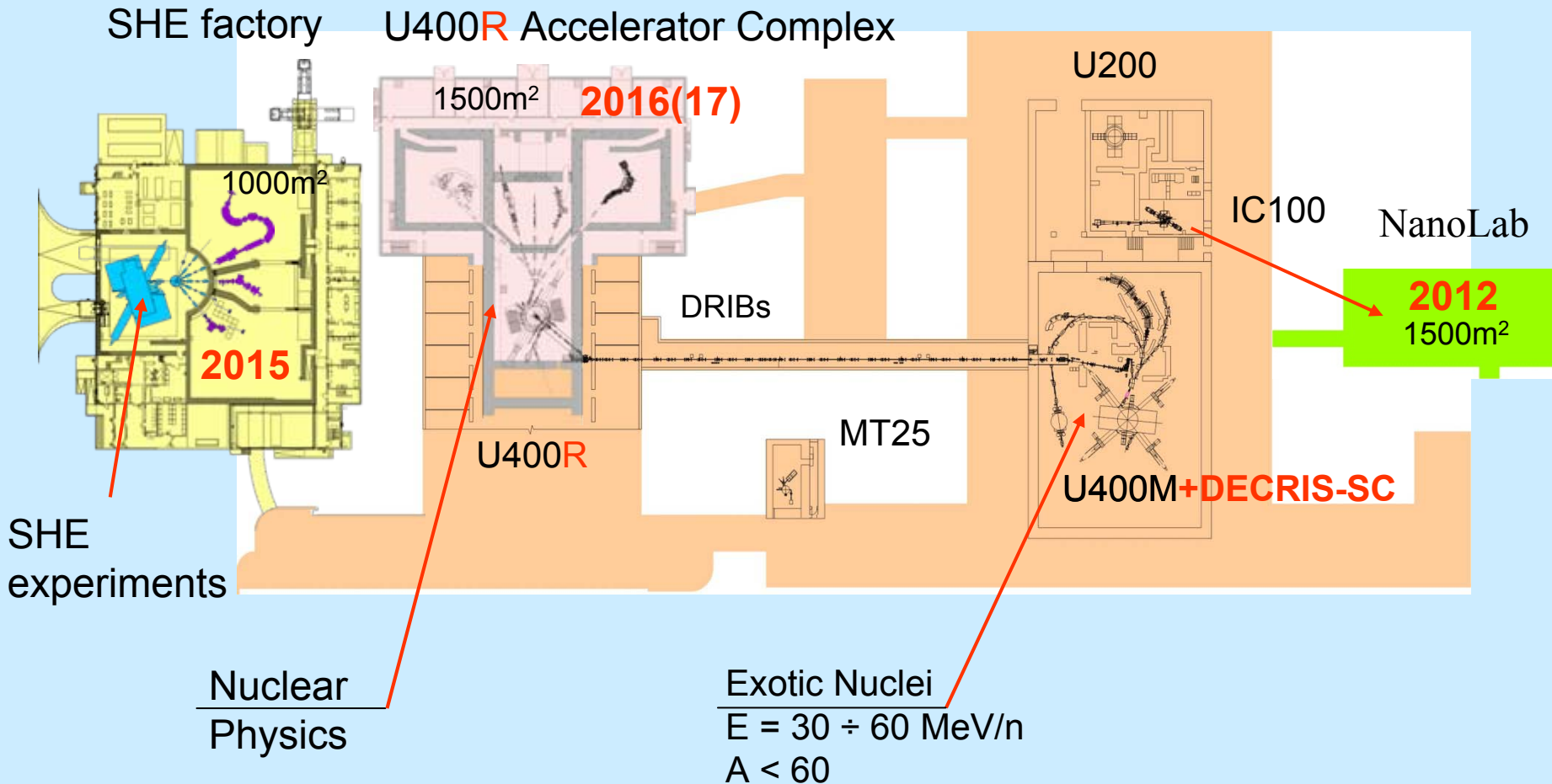
FLNR - 2013



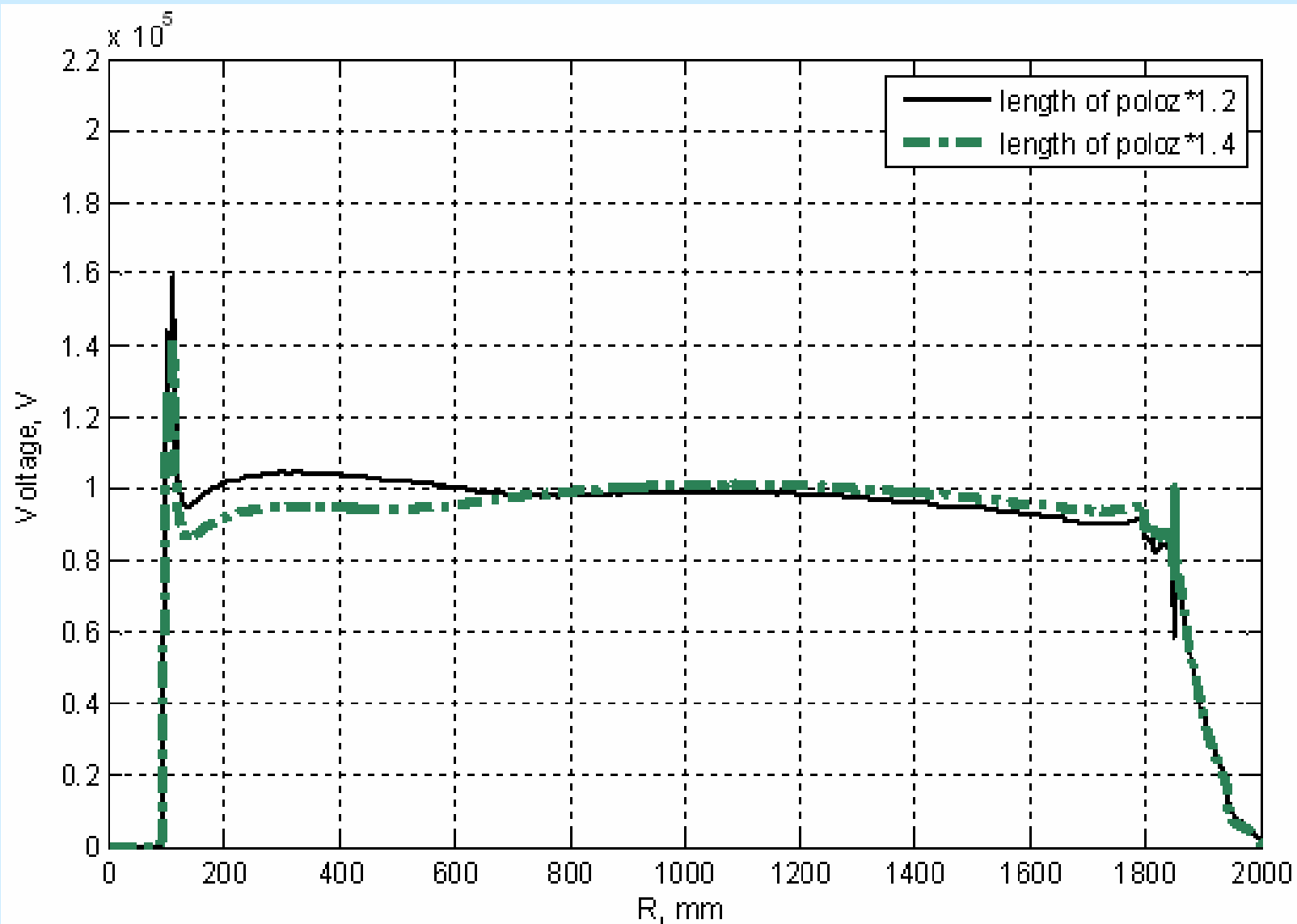
FLNR - 2014



FLNR – 2016(17)



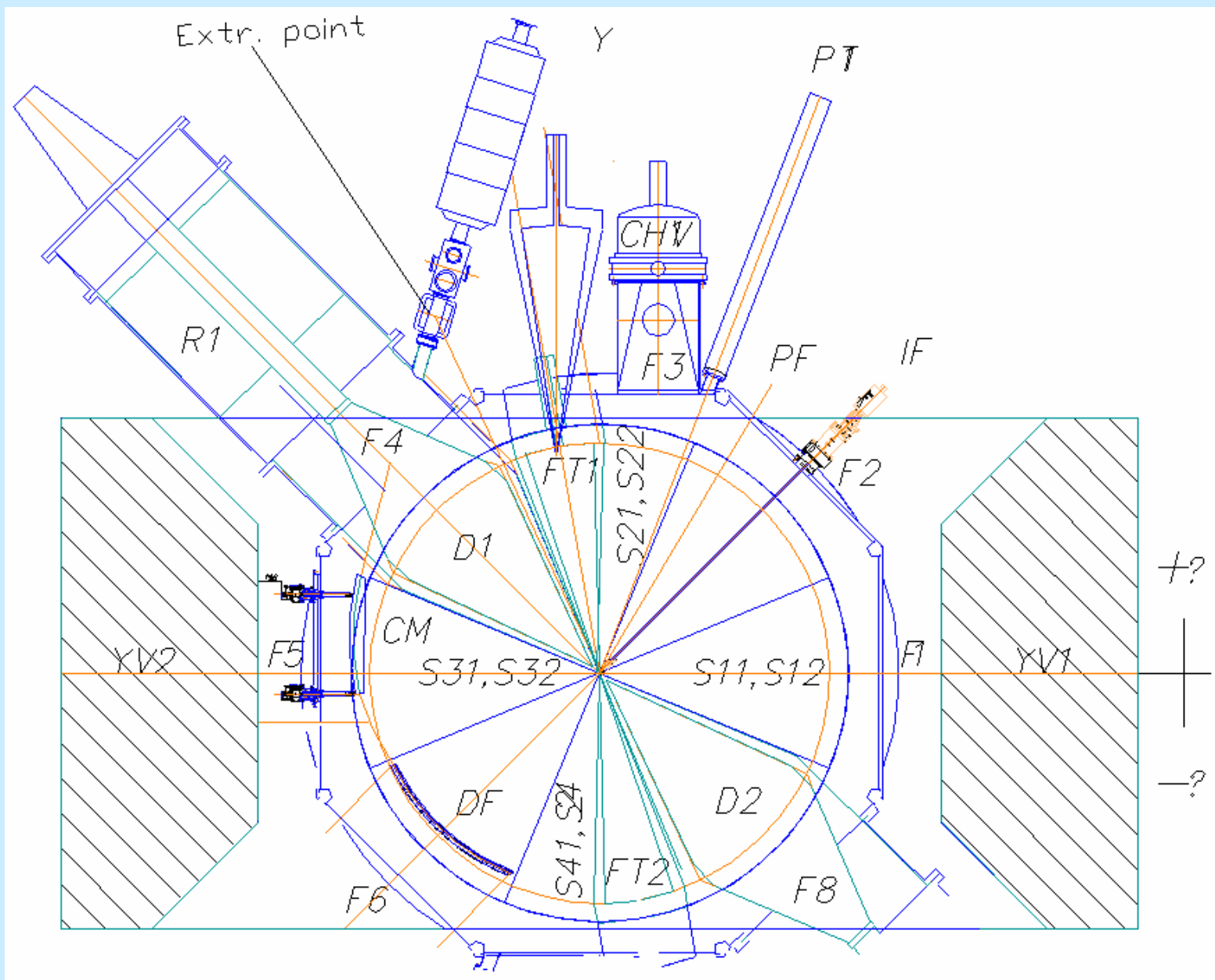
Flat-Тор дуанты



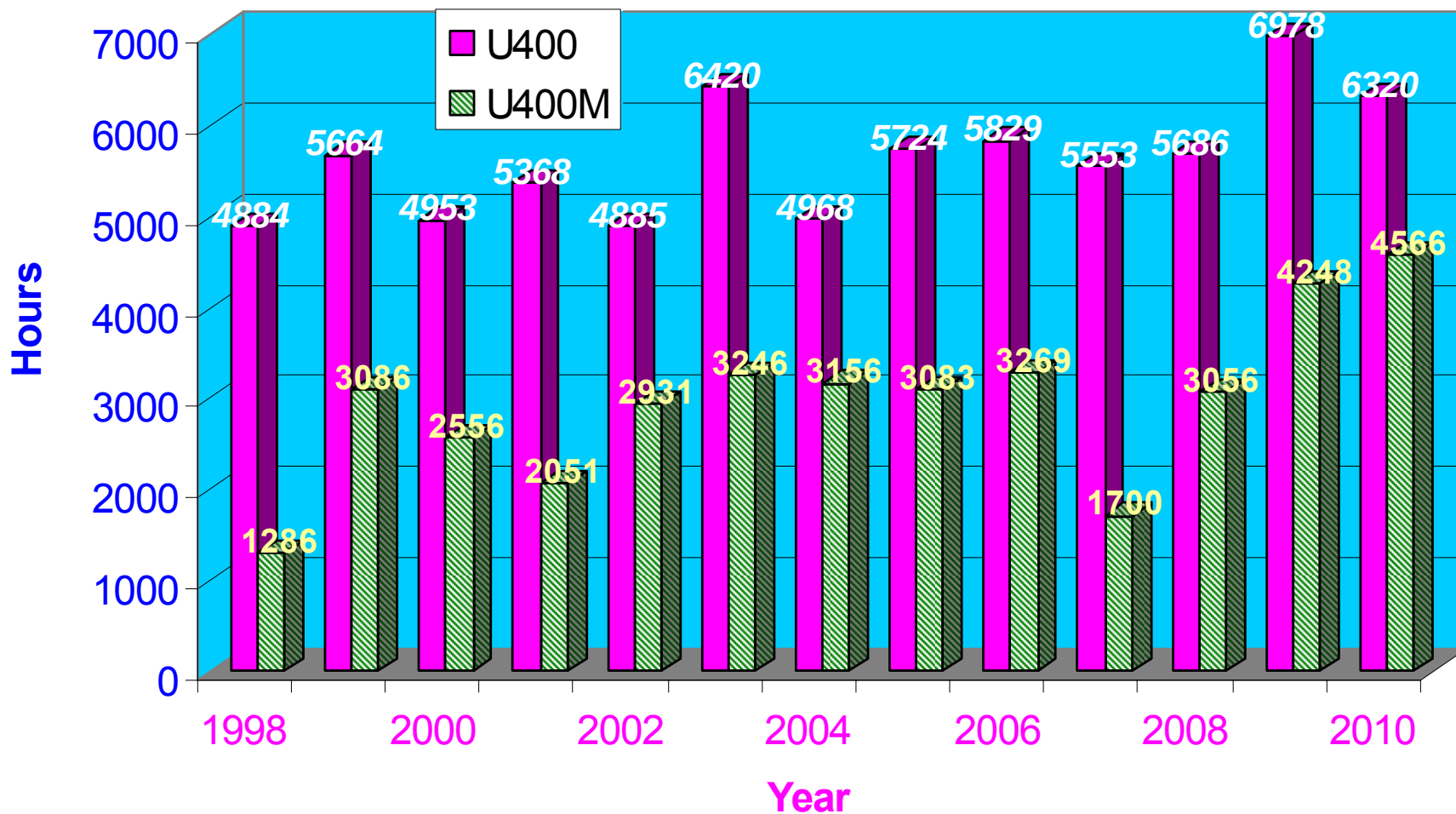
Зависимость напряжения от радиуса

Карамышев О.В.

DC280 Plan Lay-out

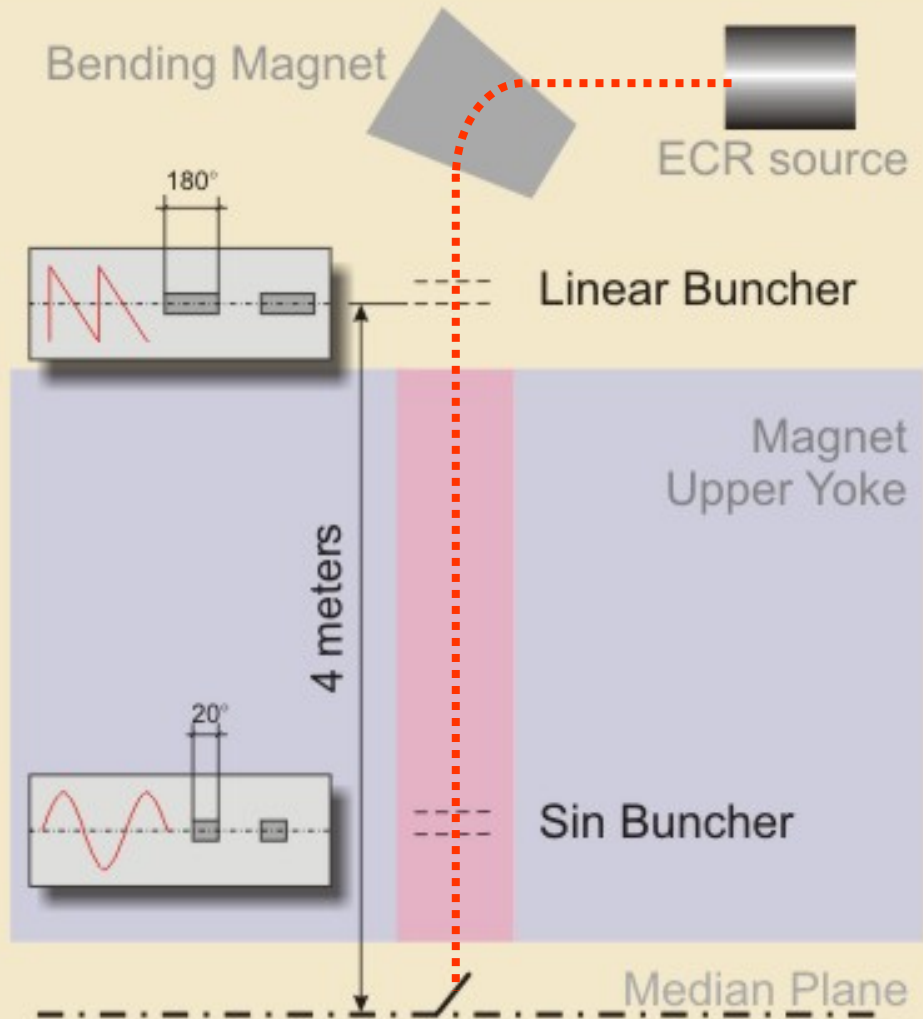


U400 cyclotron operation time in 1997-2010



U400 Cyclotron

Buncher System



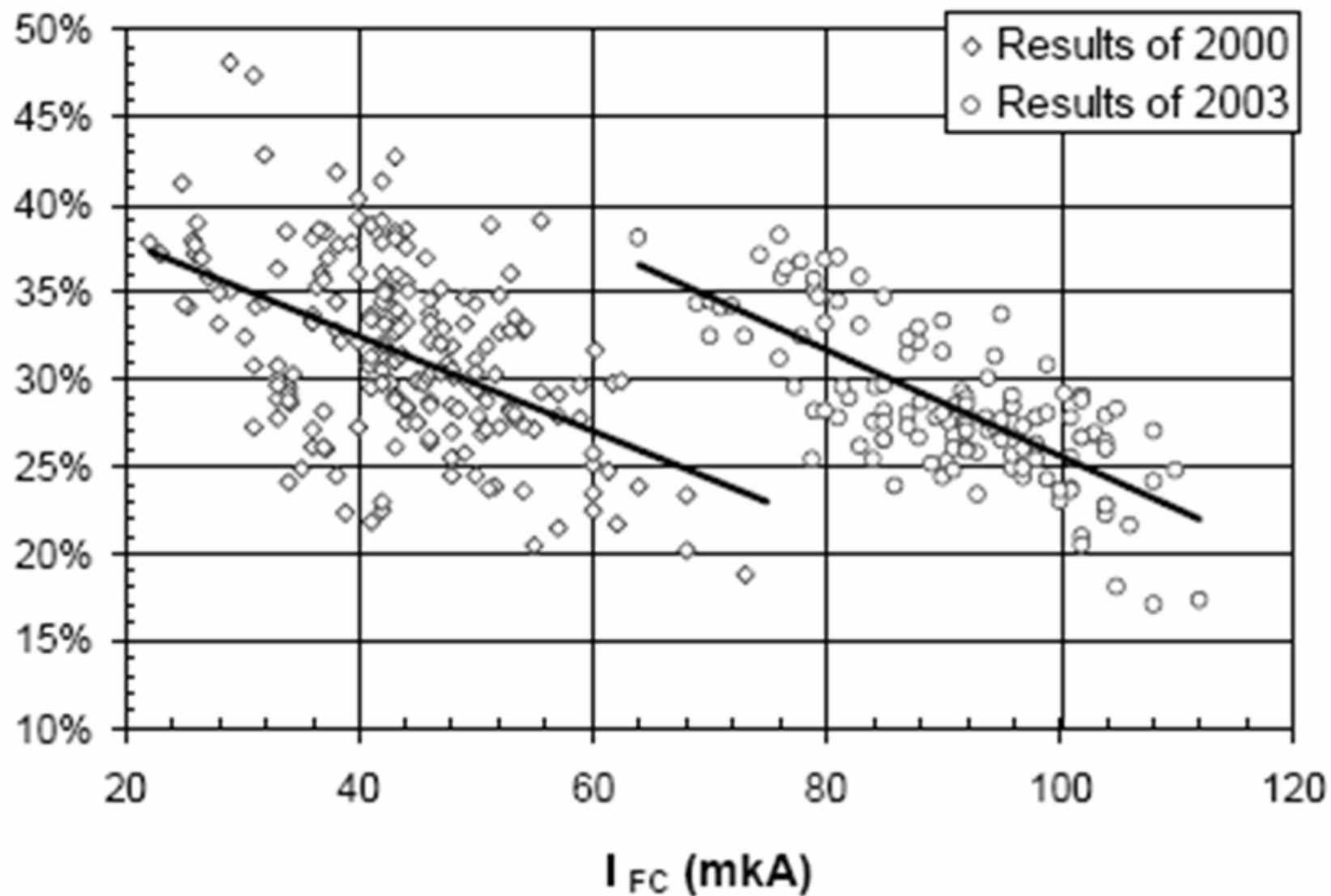
**Efficiency of
Buncher System
(I_{inj} / I_{acc})**

for $1 \mu A$ - 70%

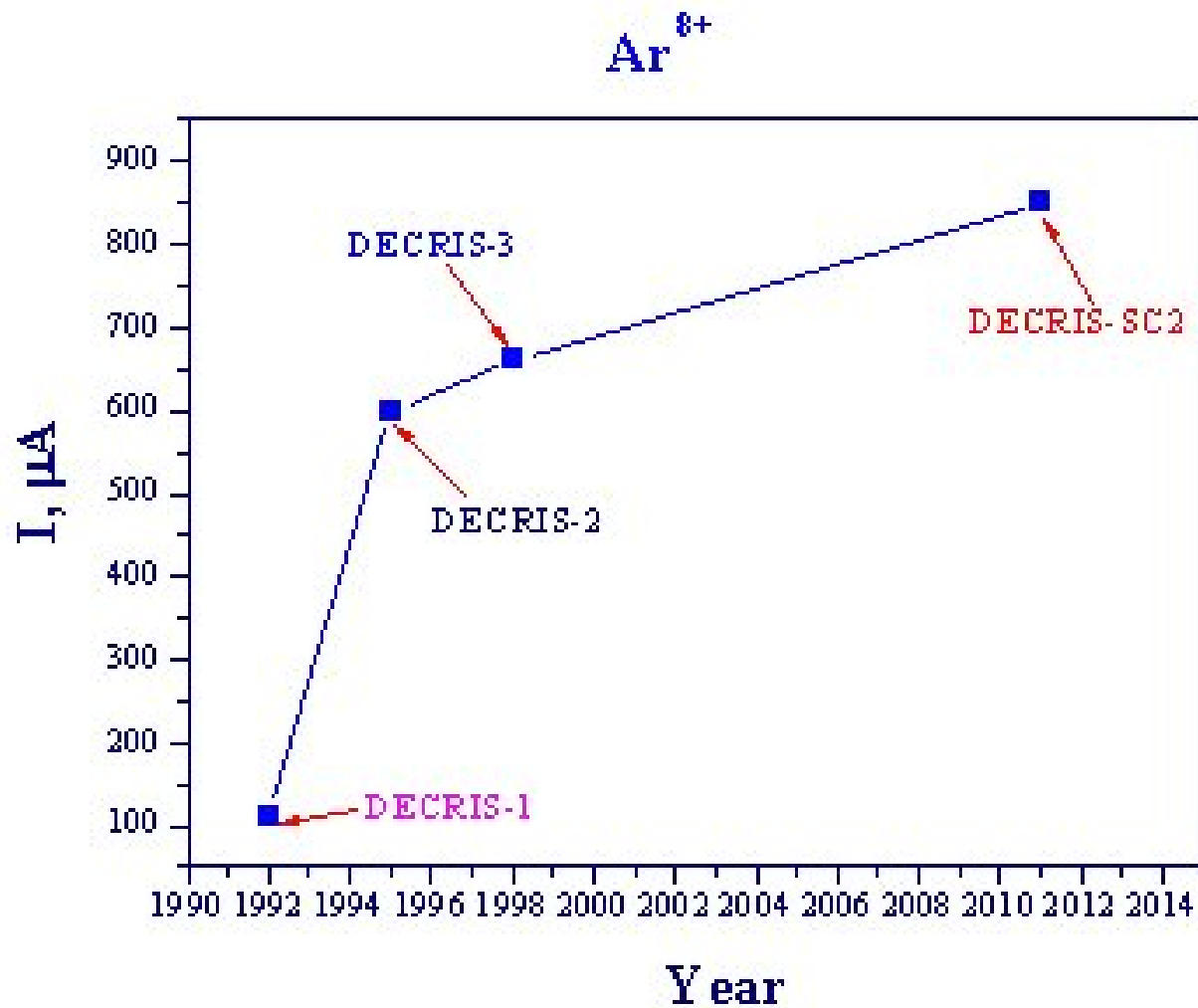
for $100 \mu A$ - 20%

Capture efficiencies for $^{48}\text{Ca}^{5+}$ in 2000 and 2003

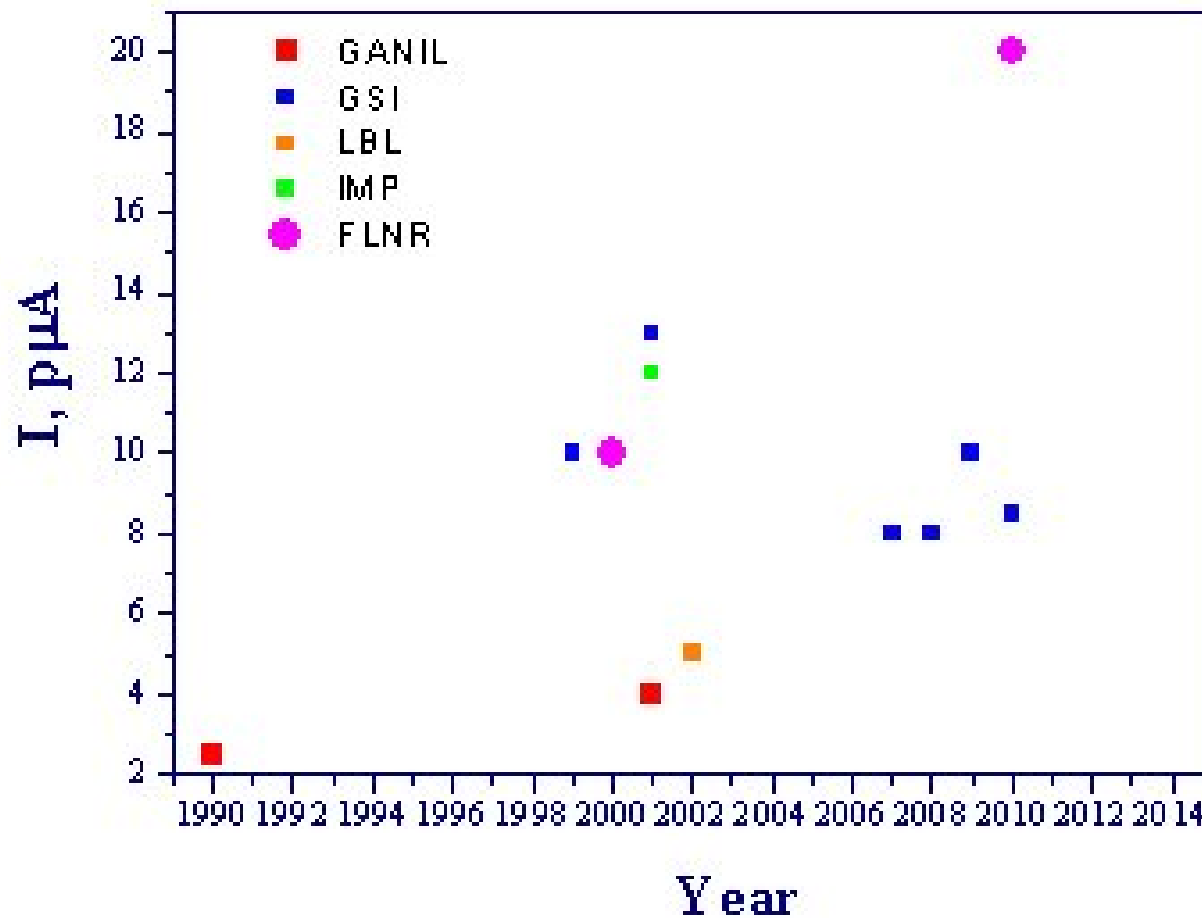
$I_{R=60} / I_{FC} (\%)$



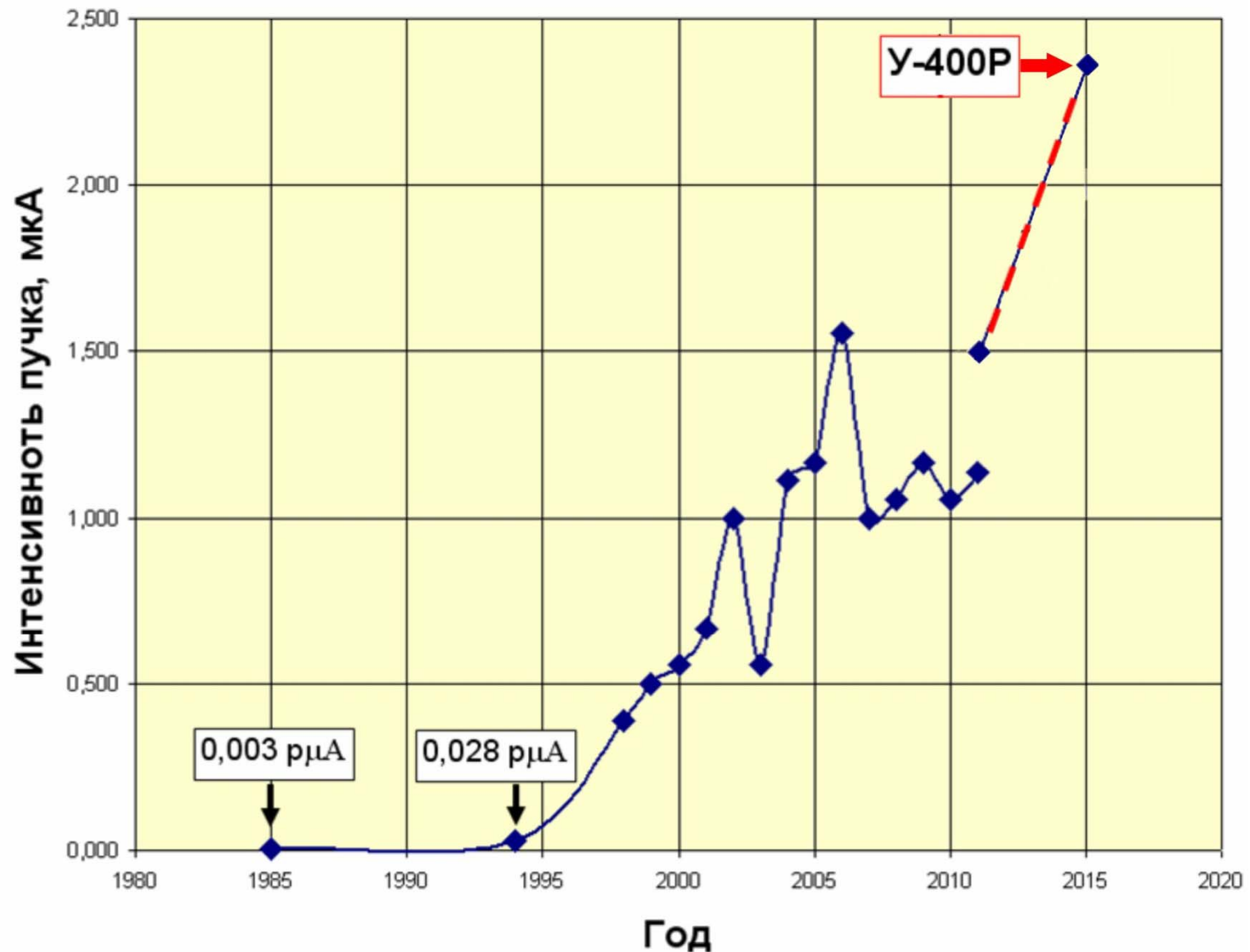
Рост интенсивности Ar^{8+} в поколениях ЕСР источников ЛЯР



Прогресс в интенсивности пучков ^{48}Ca из ECR источников



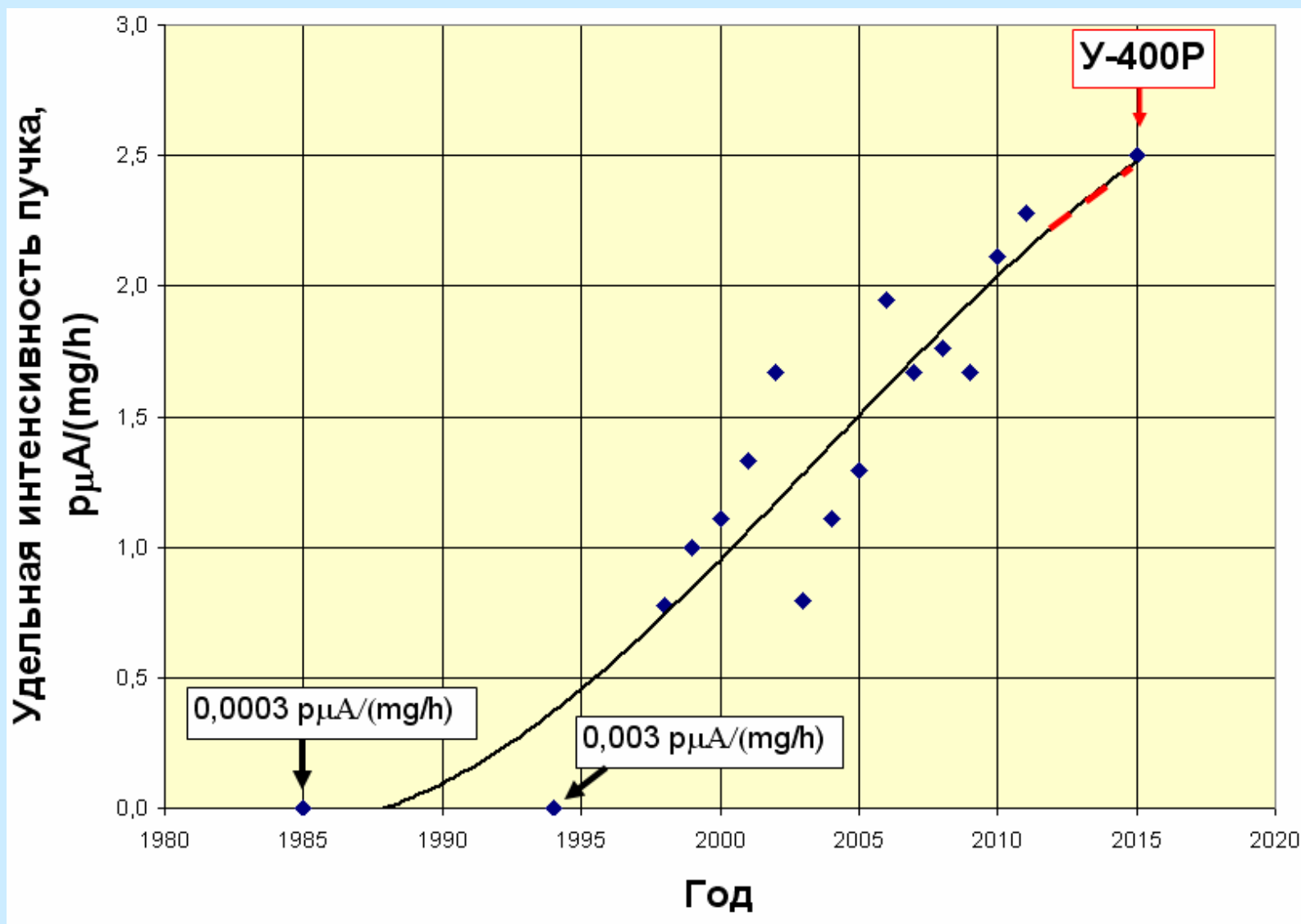
У400. Интенсивность пучка 48Са на мишени с 1985 по 2011 г. и интерполяция до 2015 года



Modernization of the U400 accelerator

- **improvement of the quality and intensity of stable and radioactive beams (^{48}Ca – $2.5 \div 3 \text{ p}\mu\text{A}$),**
- **providing of a smooth variation of energy of ions in the range $0.8 - 27 \text{ MeV/A}$,**
- **decrease in the consumption of rare isotopes,**
- **decrease in power consumption**

У400. Удельная на расход вещества интенсивность пучка ^{48}Ca на мишени с 1985 по 2011 г. и интерполяция до 2015 года



Гикал Б.Н.

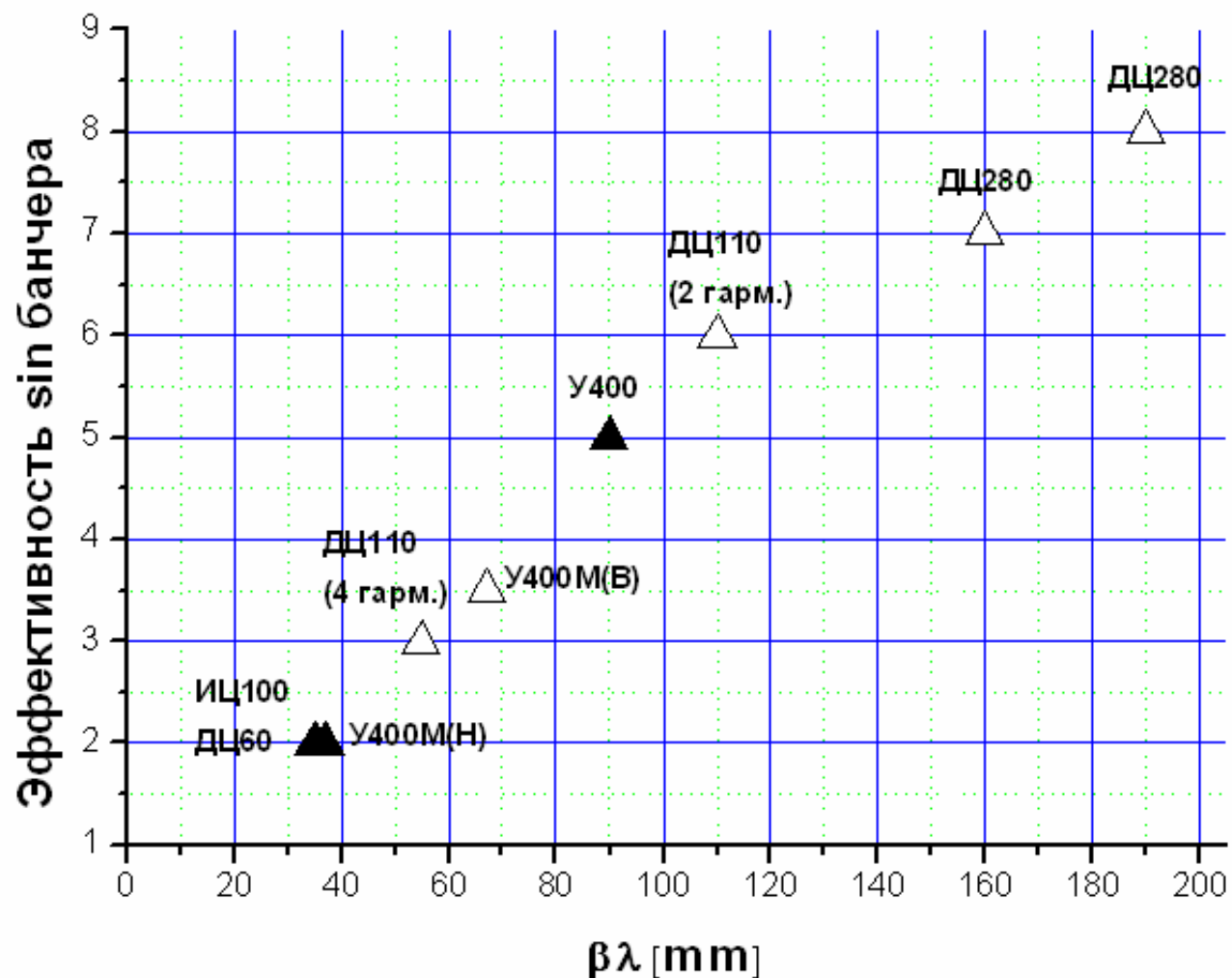


Рис.3. Предполагаемая зависимость эффективности синусового банчера от $\beta\lambda$ инжектируемого пучка тяжелых ионов в циклотроны ЛЯР при оптимальном расположении банчера

▲ -экспериментальные данные

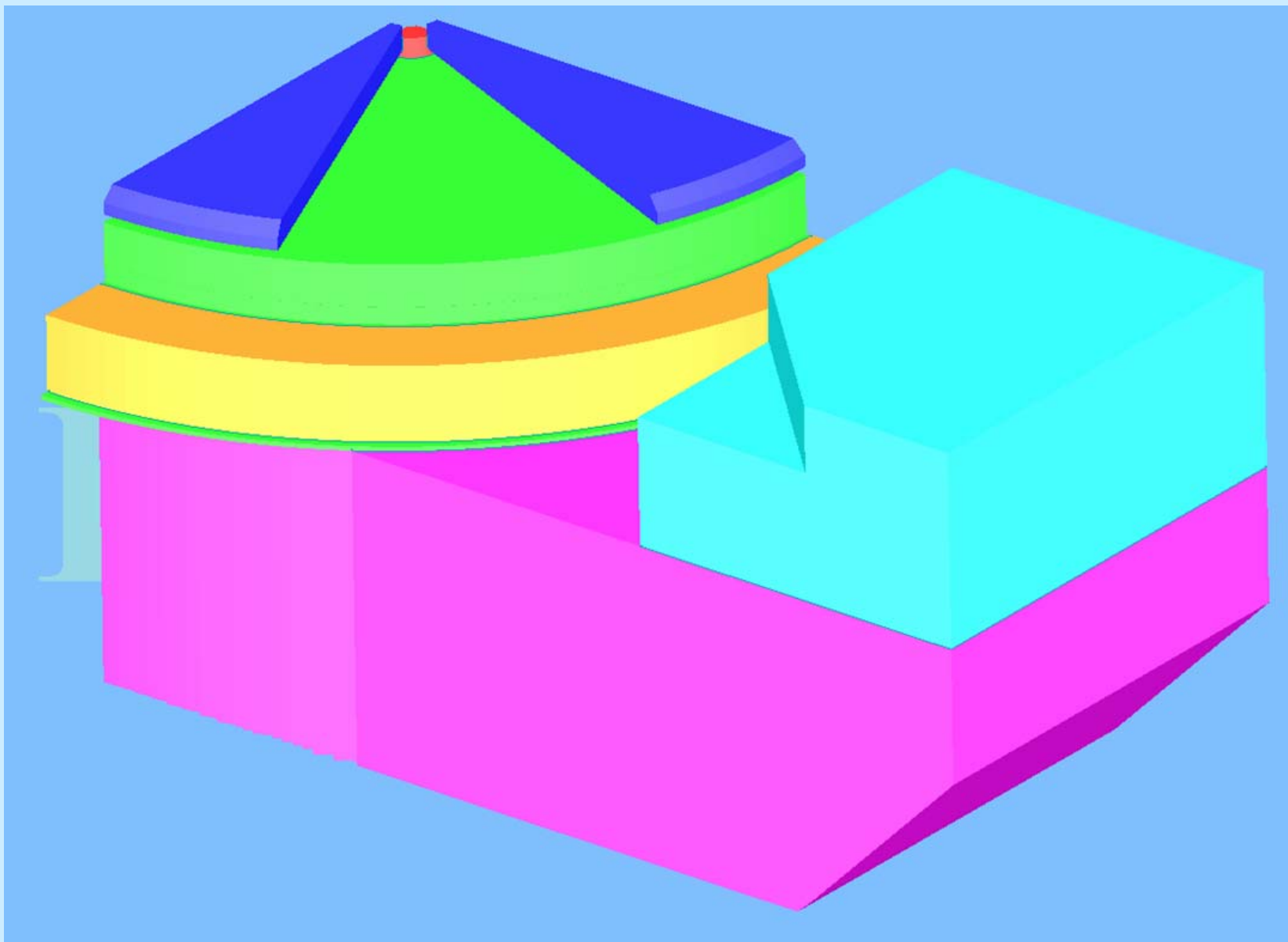
△- ожидаемые точки

Parameters of U400 and U400R typical ion

U400		
Ion	Ion energy [MeV/u]	Output intensity
$^4\text{He}^{1+}$	-	-
$^6\text{He}^{1+}$	11	$3 \cdot 10^7$ pps
$^8\text{He}^{1+}$	7.9	-
$^{16}\text{O}^{2+}$	5.7; 7.9	5 μA
$^{18}\text{O}^{3+}$	7.8; 10.5; 15.8	4.4 μA
$^{40}\text{Ar}^{4+}$	3.8; 5.1 *	1.7 μA
$^{48}\text{Ca}^{5+}$	3.7; 5.3 *	1.2 μA
$^{48}\text{Ca}^{9+}$	8.9; 11; 17.7 *	1 μA
$^{50}\text{Ti}^{5+}$	3.6; 5.1 *	0.4 μA
$^{58}\text{Fe}^{6+}$	3.8; 5.4 *	0.7 μA
$^{84}\text{Kr}^{8+}$	3.1; 4.4 *	0.3 μA
$^{136}\text{Xe}^{14+}$	3.3; 4.6; 6.9 *	0.08 μA

U400R (expected)		
Ion	Ion energy [MeV/u]	Output intensity
$^4\text{He}^{1+}$	$6.4 \div 27$	23 μA **
$^6\text{He}^{1+}$	$2.8 \div 14.4$	10^8 pps
$^8\text{He}^{1+}$	$1.6 \div 8$	10^5 pps
$^{16}\text{O}^{2+}$	$1.6 \div 8$	19.5 μA **
$^{16}\text{O}^{4+}$	$6.4 \div 27$	5.8 μA **
$^{40}\text{Ar}^{4+}$	$1 \div 5.1$	10 μA
$^{48}\text{Ca}^{6+}$	$1.6 \div 8$	2.5 μA
$^{48}\text{Ca}^{7+}$	$2.1 \div 11$	2.1 μA
$^{50}\text{Ti}^{10+}$	$4.1 \div 21$	1 μA
$^{58}\text{Fe}^{7+}$	$1.2 \div 7.5$	1 μA
$^{84}\text{Kr}^{7+}$	$0.8 \div 3.5$	1.4 μA
$^{132}\text{Xe}^{11+}$	$0.8 \div 3.5$	0.9 μA
$^{238}\text{U}^{27+}$	$1.5 \div 8$	0.1 μA

Main magnet model



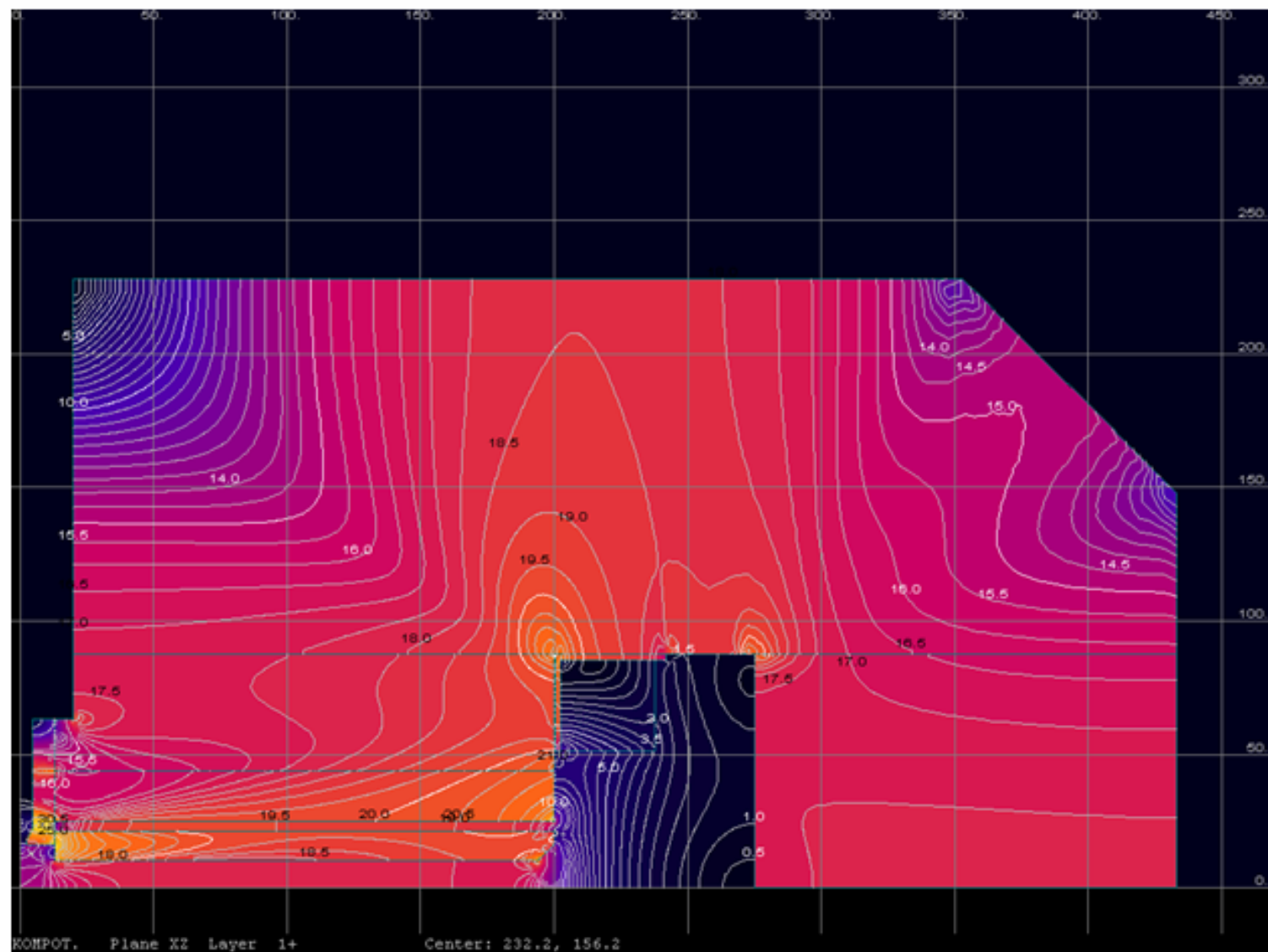


Рис.2.11. Распределение магнитной индукции (кГс) в центральном продольном сечении. Ток 240кА.

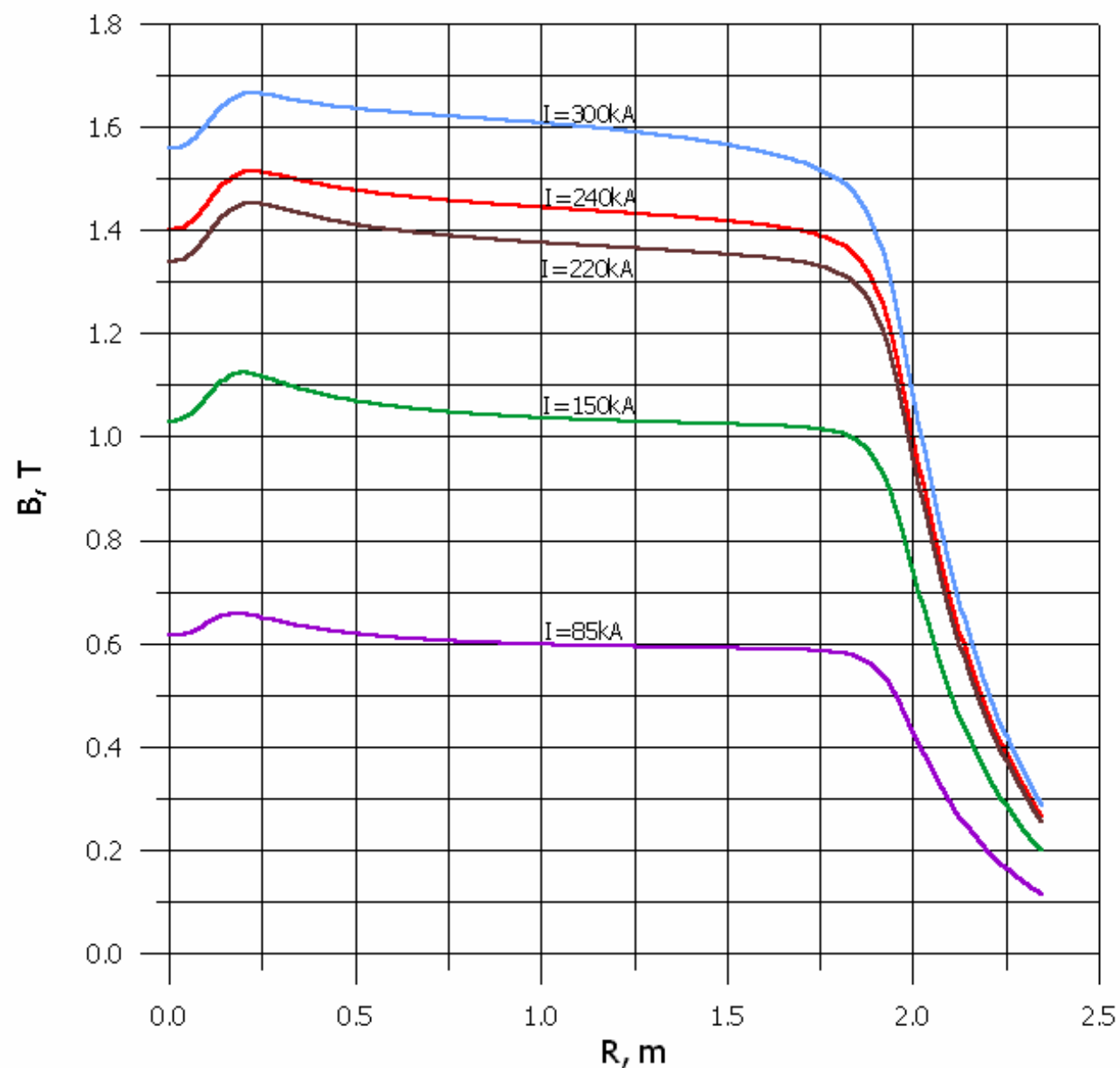
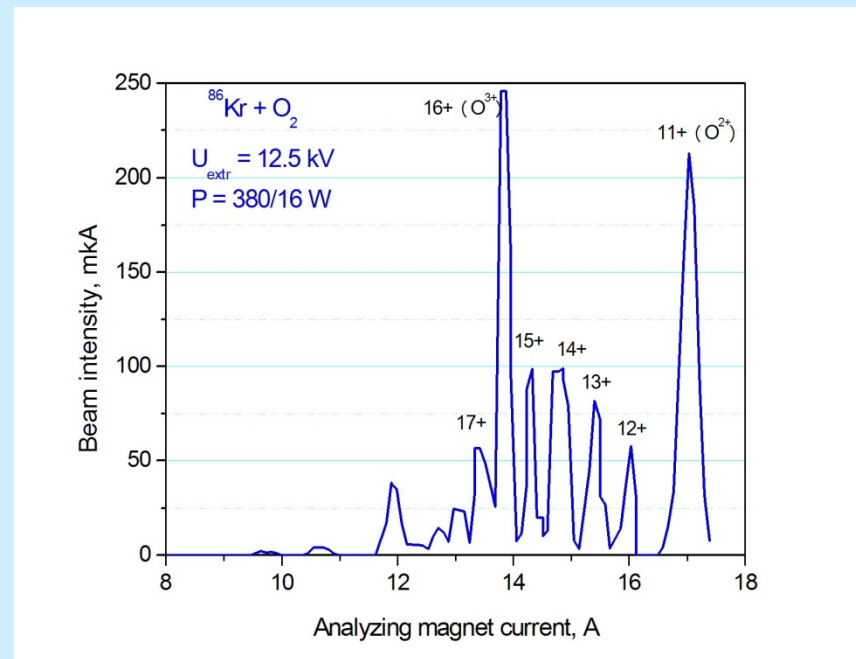
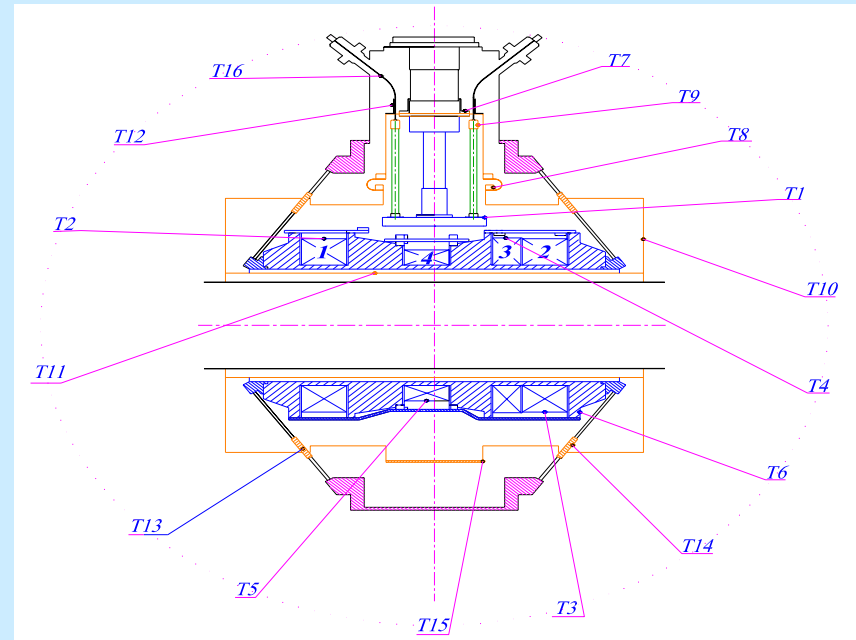
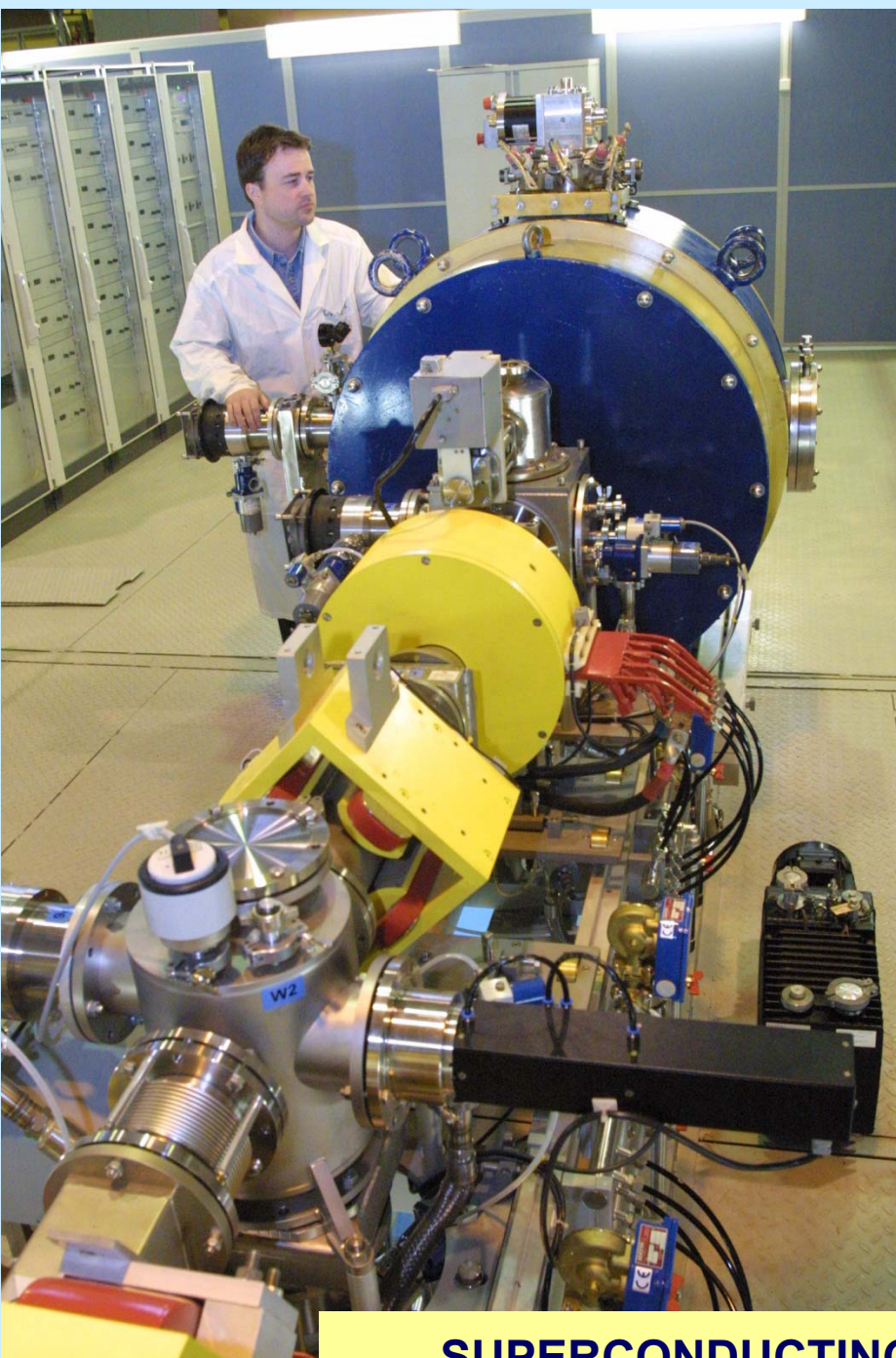


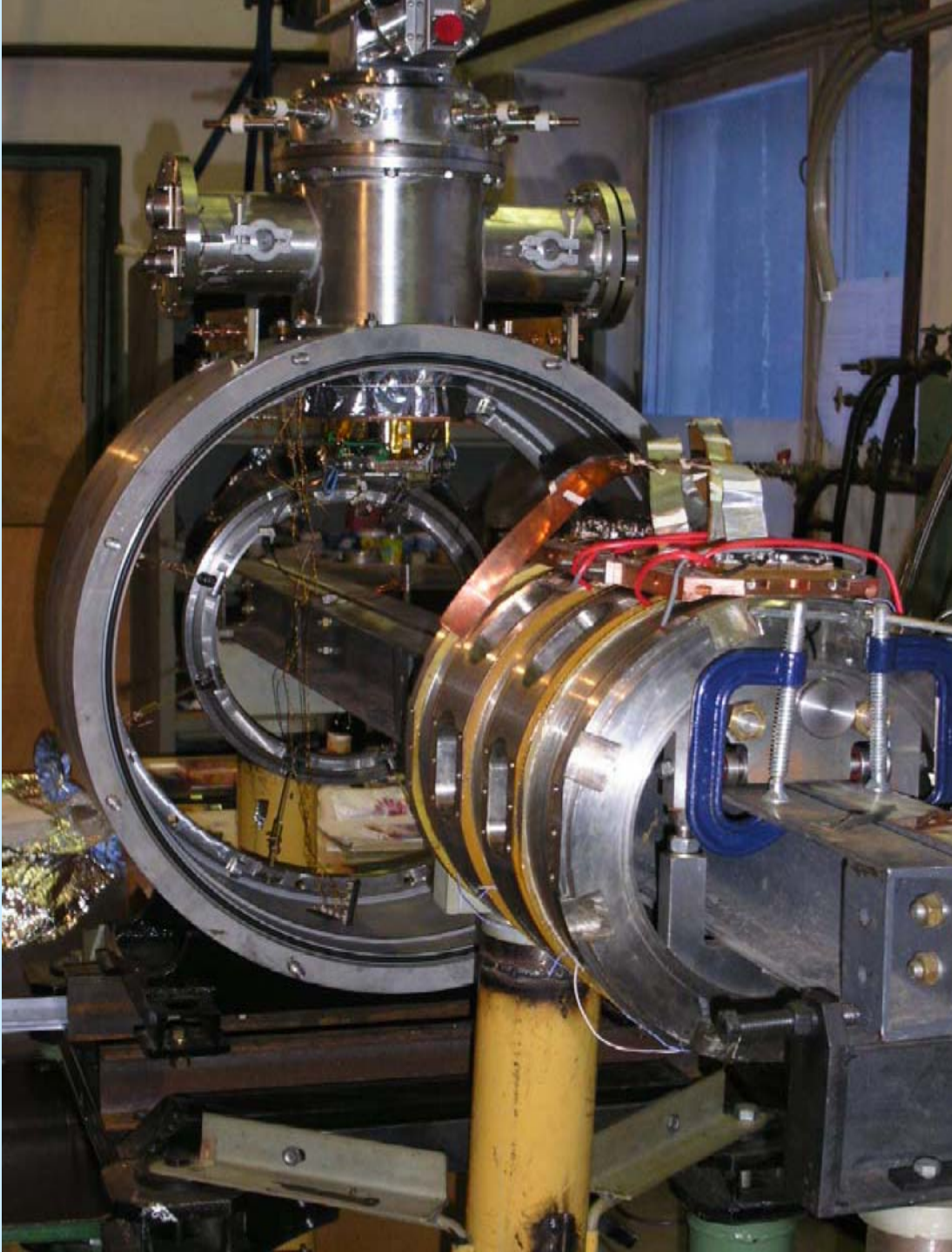
Рис.2.1. Зависимость среднего поля от радиуса для нескольких уровней тока основной обмотки: 85кА, 150кА, 220кА, 240кА, 300кА

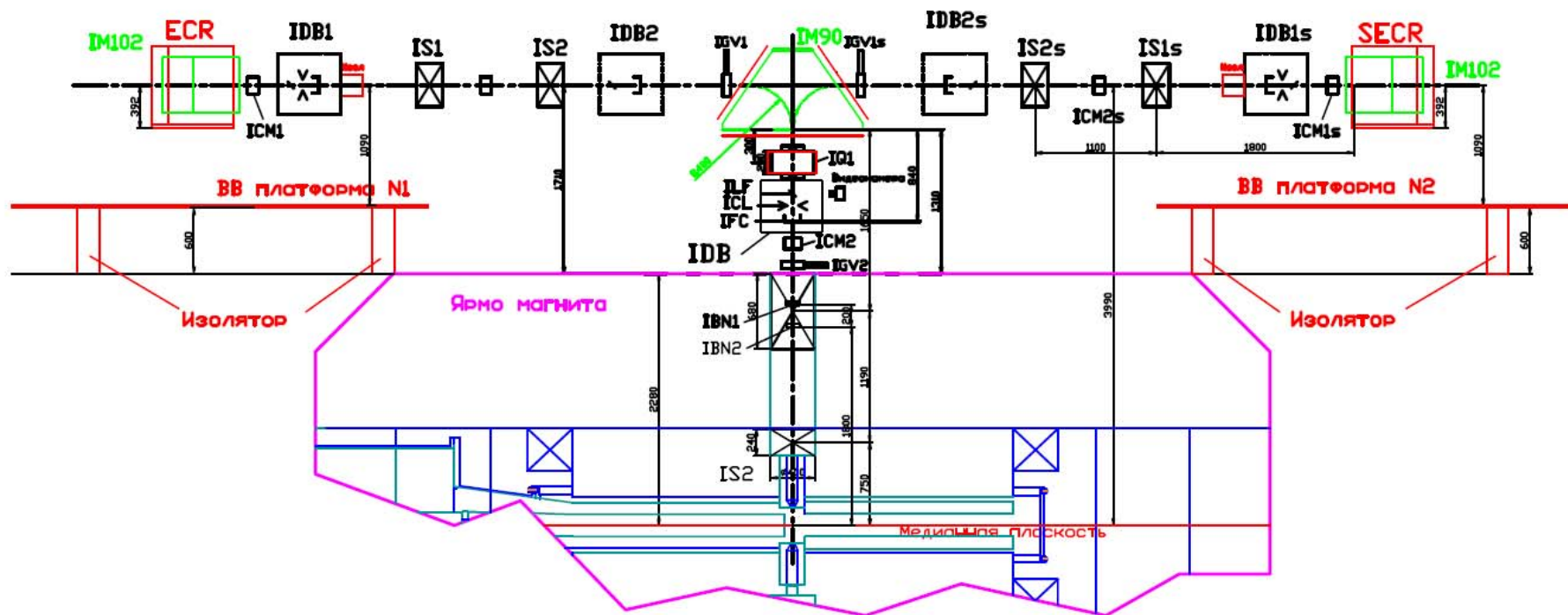
Иваненко И.А.

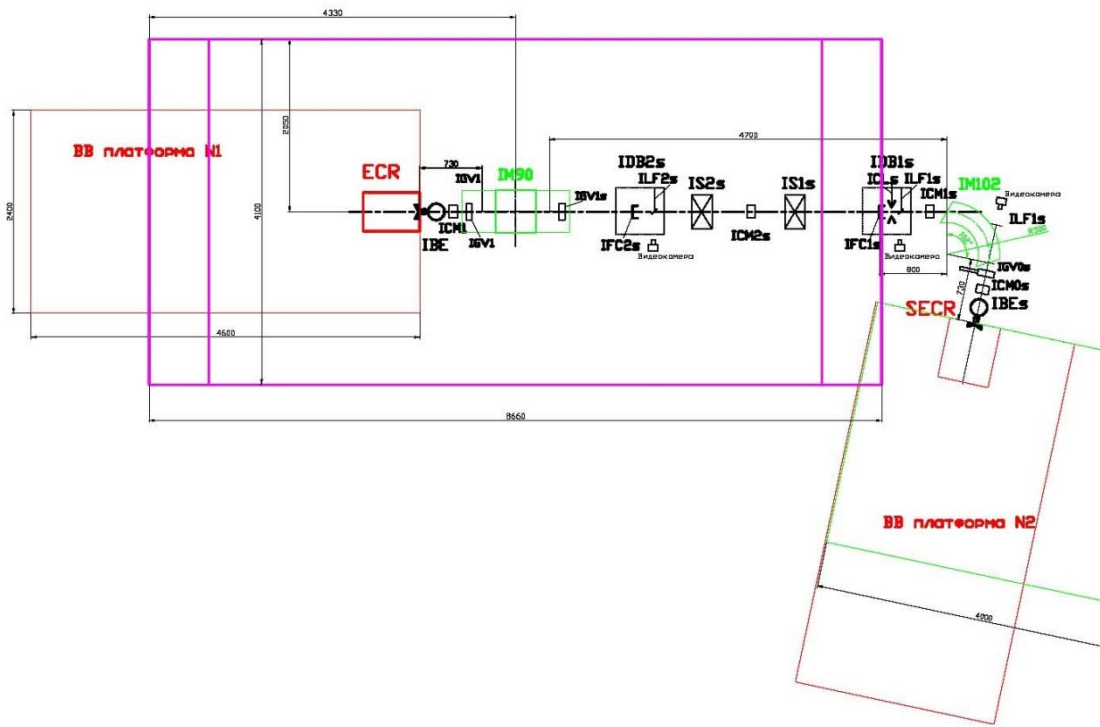
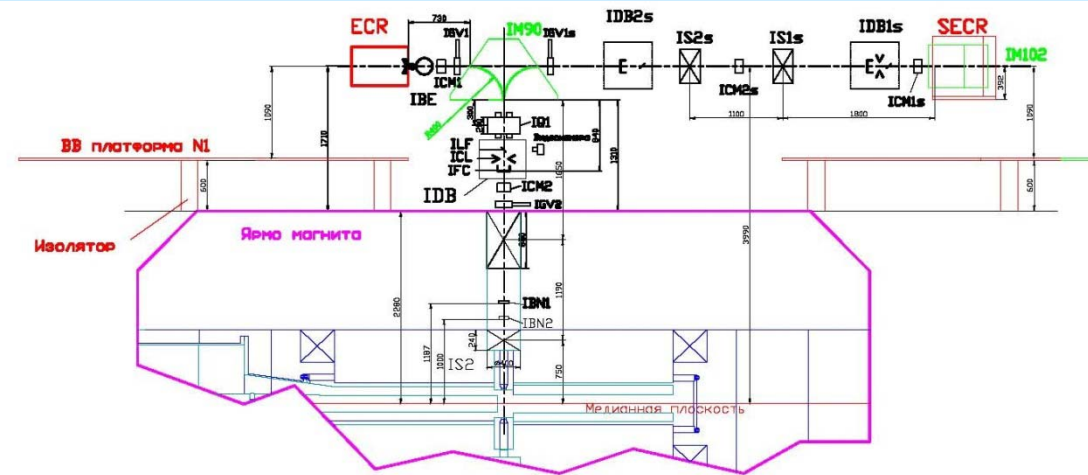


SUPERCONDUCTING ECR ION SOURCE at IC-100

DECRIS-SC2 on test bench

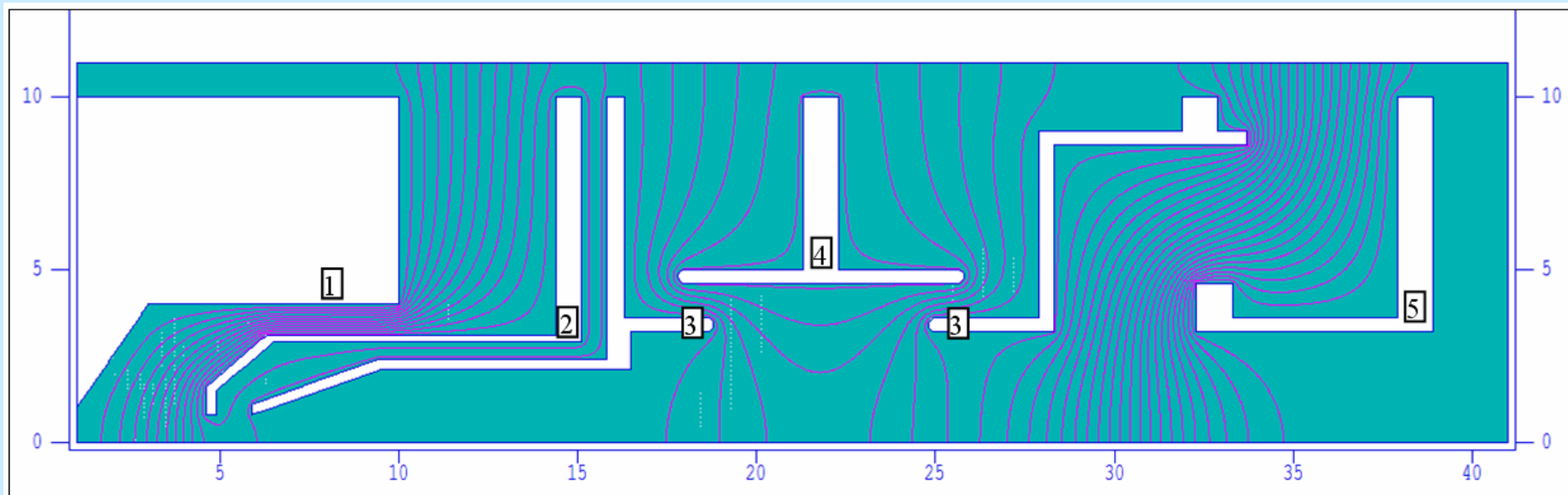




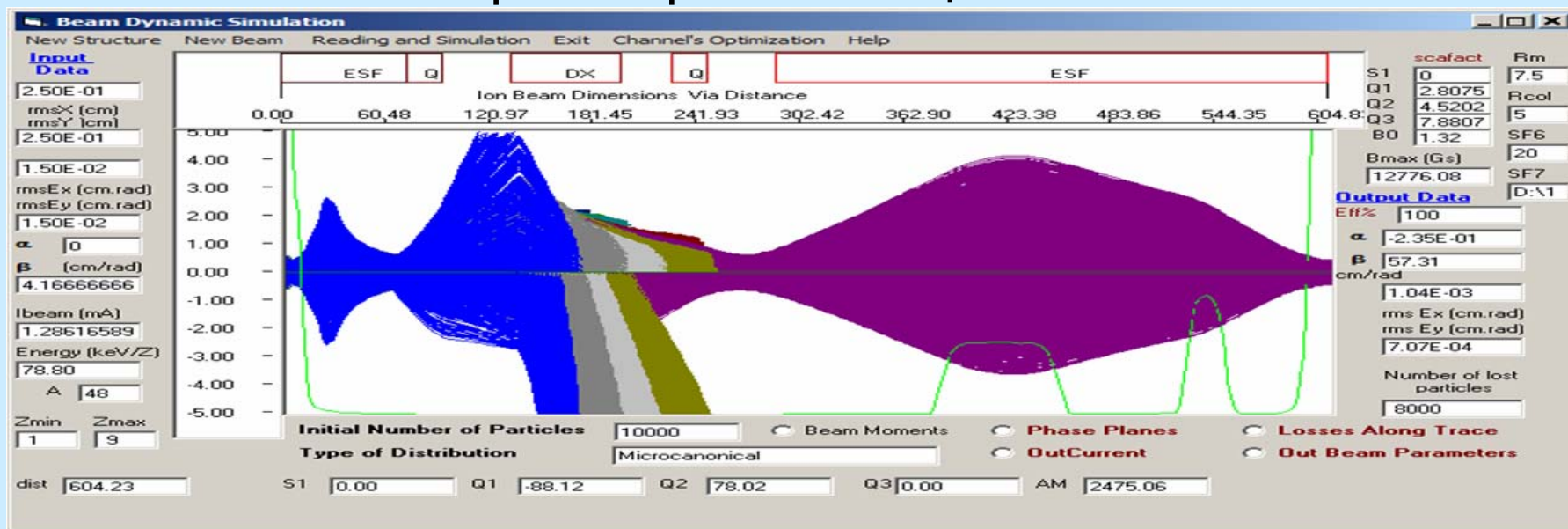


Axial injection system of DC280, allowing to inject beams from two ion sources

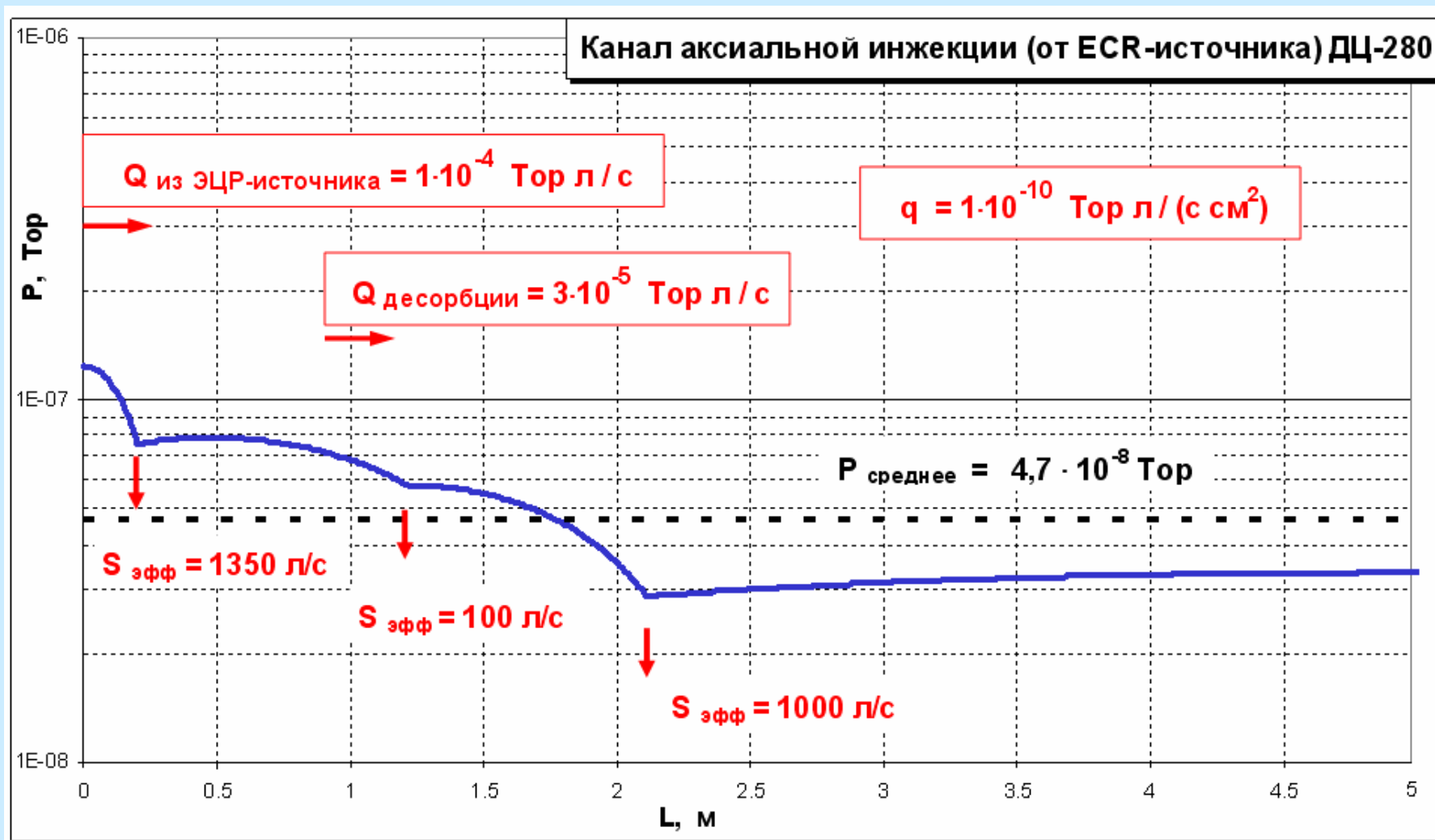
Физическая модель ЭЦР источника ионов



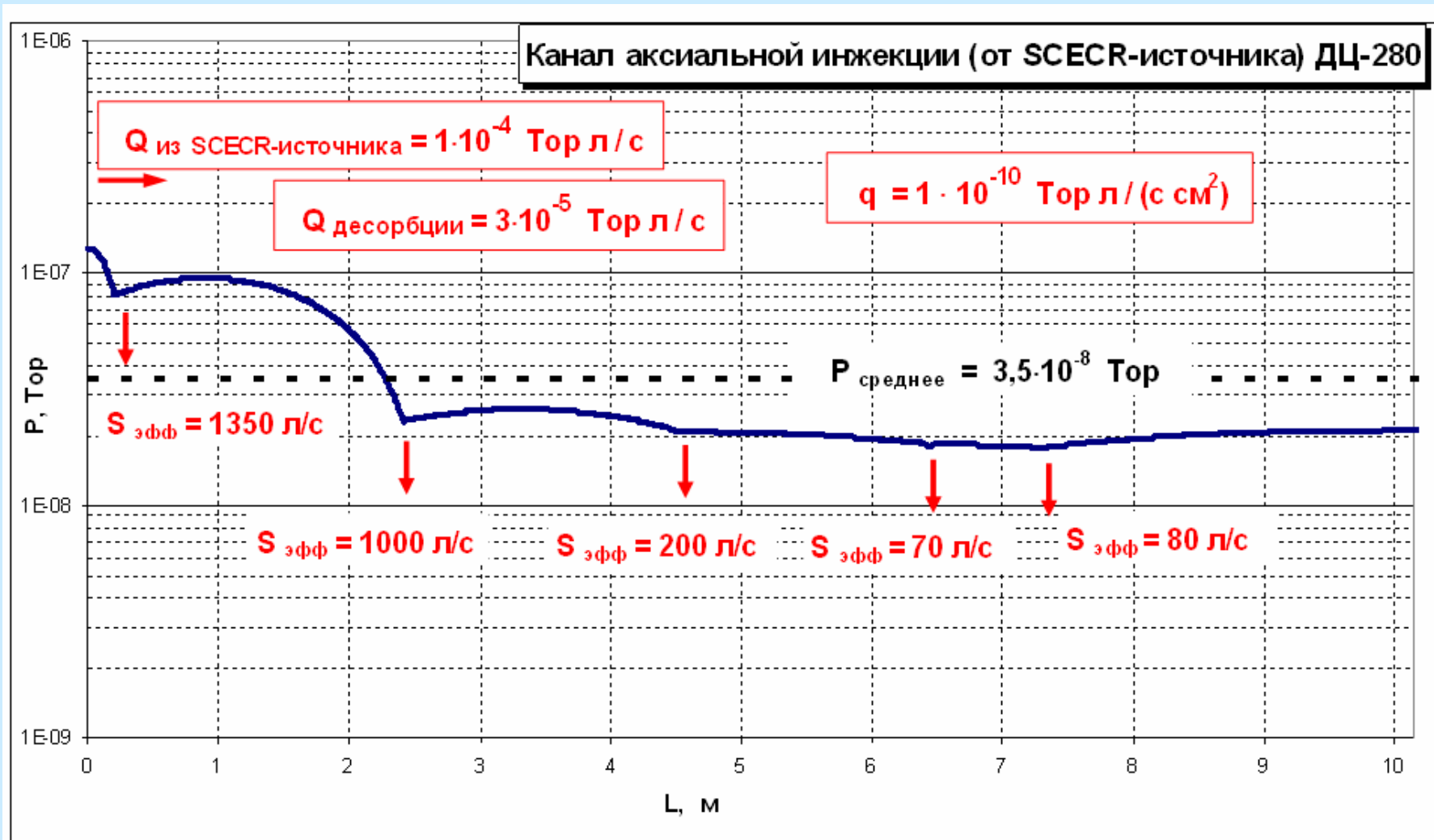
Траектории частиц в канале



Распределение давления вдоль линии инъекции от ECR-источника



Распределение давления вдоль линии инъекции от SCECR-источника



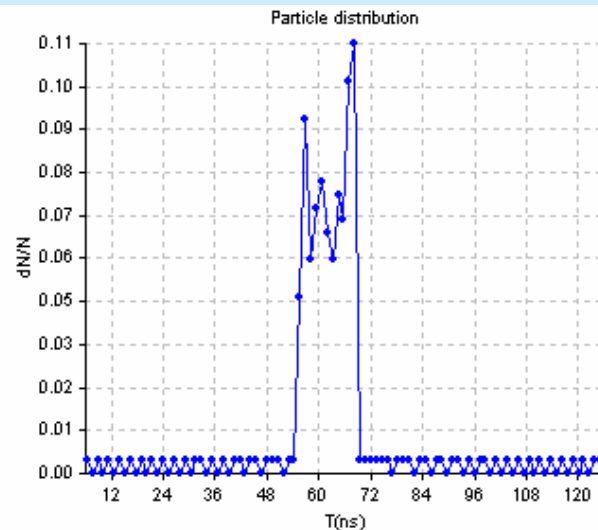


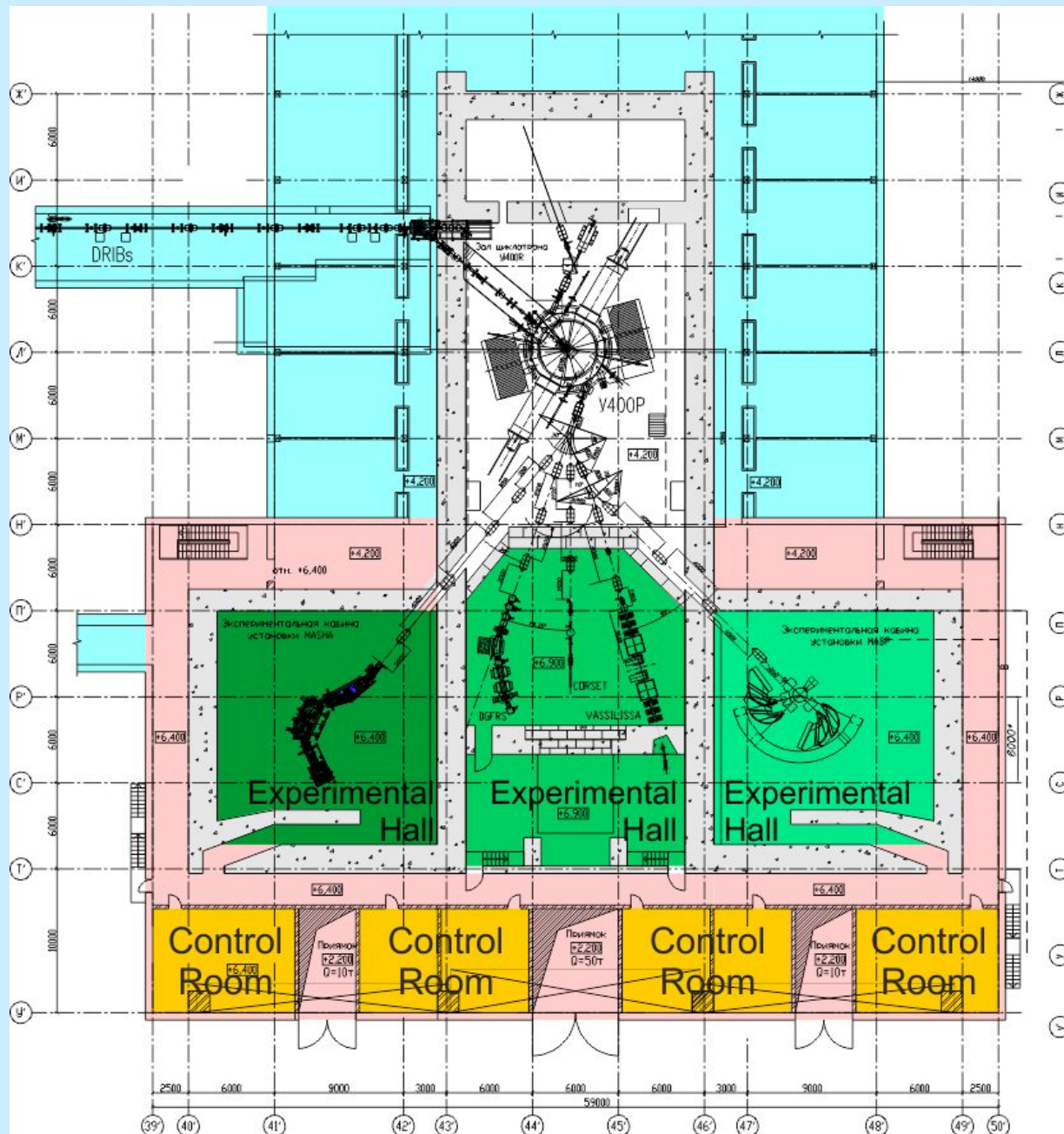
Рис. 3 Временное распределение плотности частиц в медианной плоскости

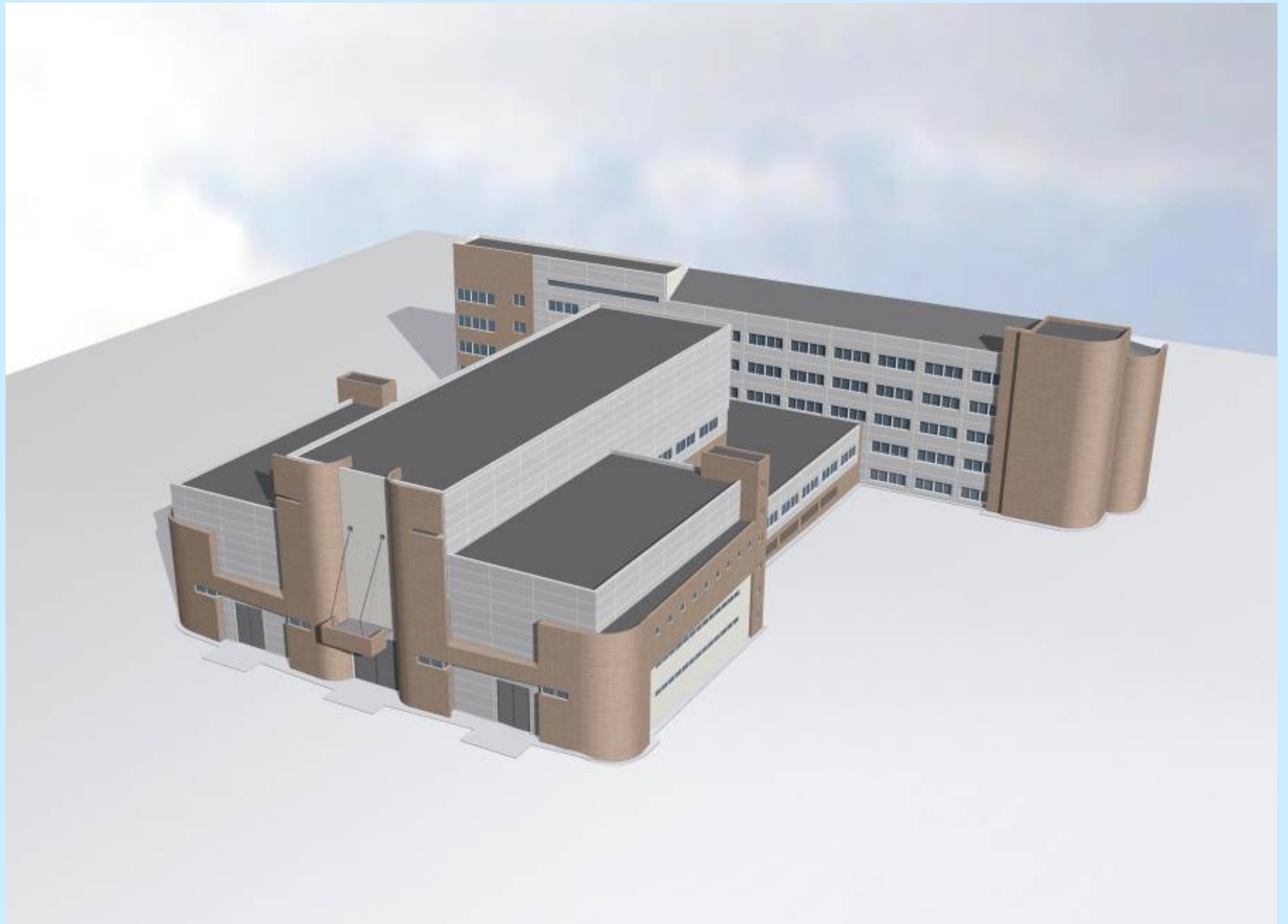
III. Банчеровка двумя синусными банчерами, работающими на 1-й и 2-й гармониках ускоряющего ВЧ напряжения

Расстояние банчера №1 (1-я гармоника ВЧ, синусный или линейный) до медианной плоскости ДЦ-280:	2 м
Расстояние банчера №2 (2-я гармоника ВЧ) до медианной плоскости ДЦ-280:	1.8 м
Зазор между сетками банчера №1	30 мм
Зазор между сетками банчера №2	15 мм

Наименование		Фазовый сдвиг
Амплитуда напряжения на банчере №1	3800 В	0
Амплитуда напряжения на банчере №2	1500 В	65°
Полученная эффективность захвата	71 %	
Эффективность с учетом потерь на сетках	65.8 %	

U400R. Median plane level. Second floor.

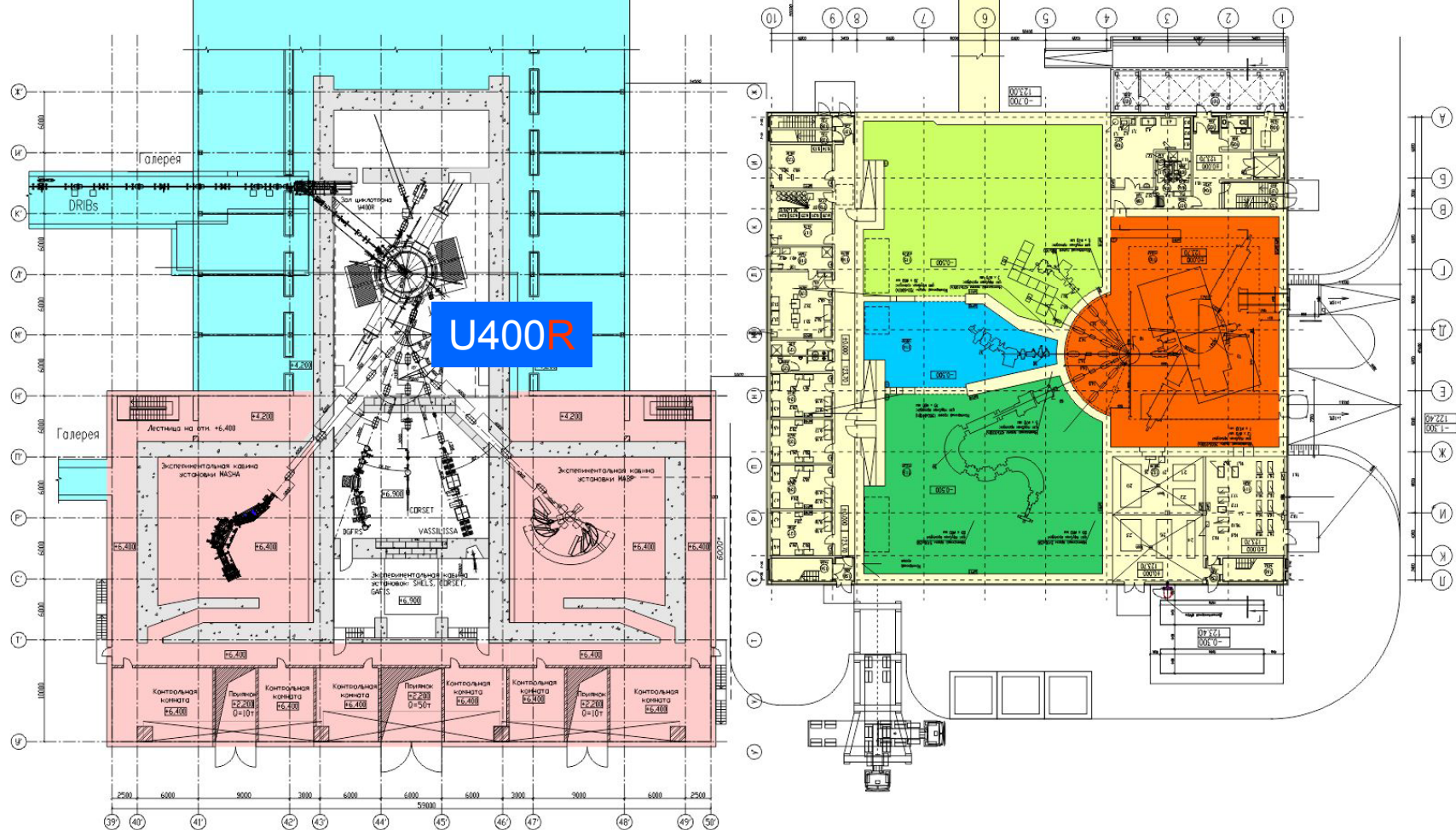




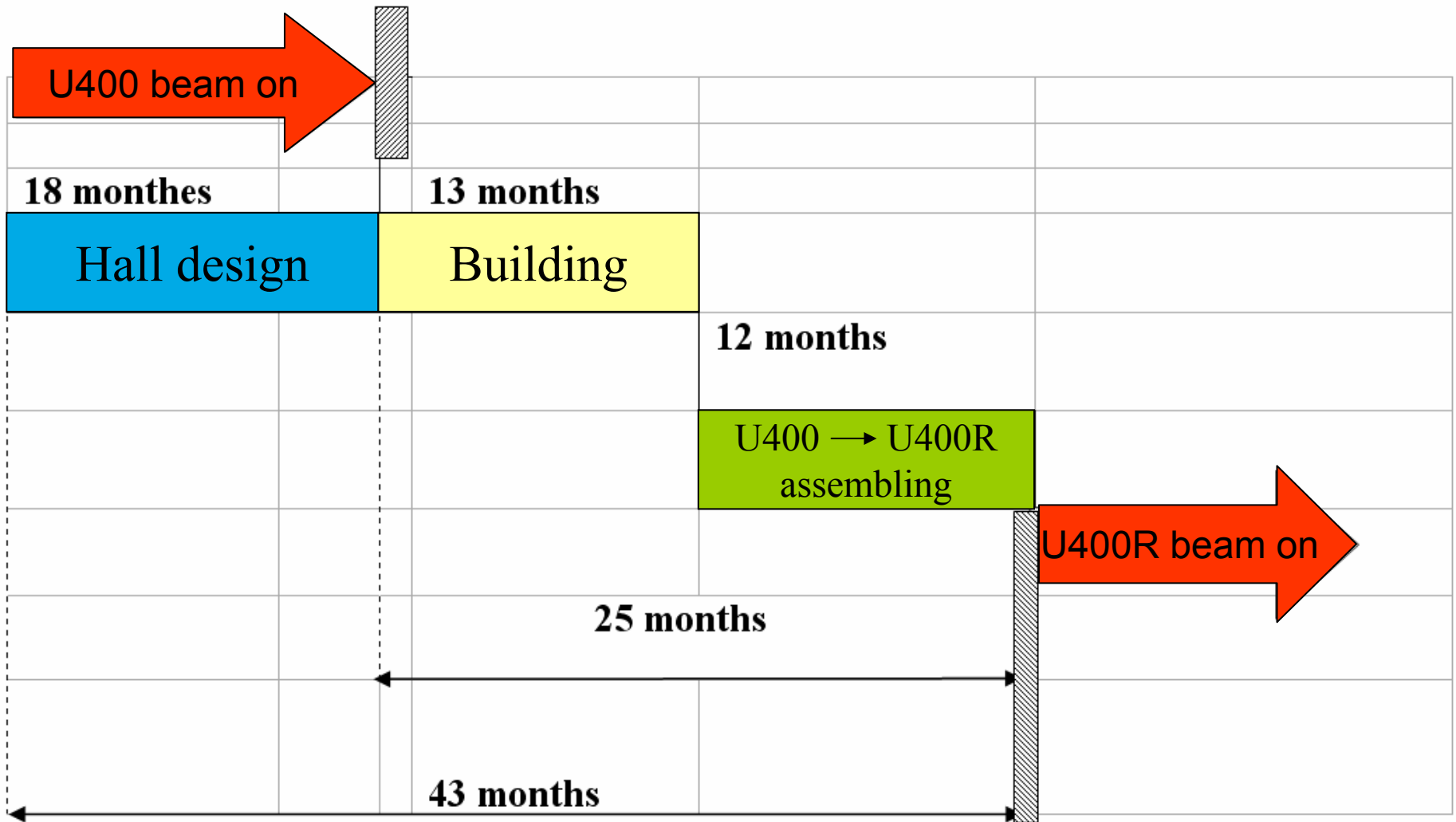
U400R + SHE factory

Building 131

SHE factory



U400 → U400R Schedule

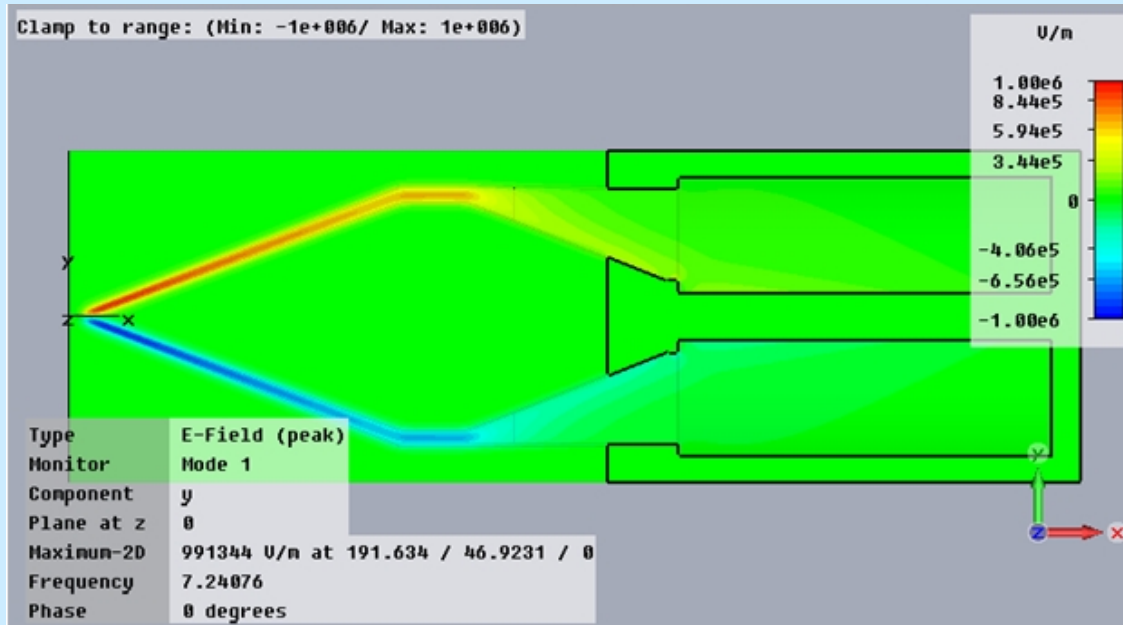
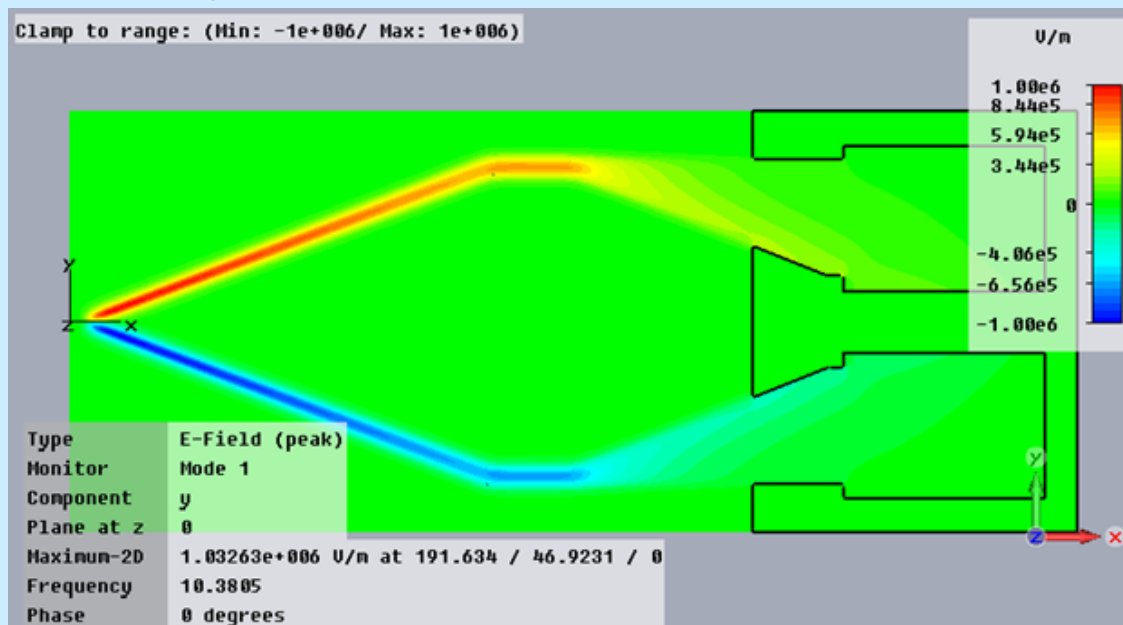


U400 → U400R hall reconstruction results

	2011	Project
Areas for set-ups	400 m ²	1500 m ²
Areas for electronics	300 m ²	600 m ²
Areas for technical equipment	670 m ²	1300 m ²
Number of radiation isolated halls	1	6

Расчет основного резонатора циклотрона DC280

Распределение E_y компоненты электромагнитного поля в медианной плоскости



Карамышев О.В.
Франко И.

Flat-Top dee

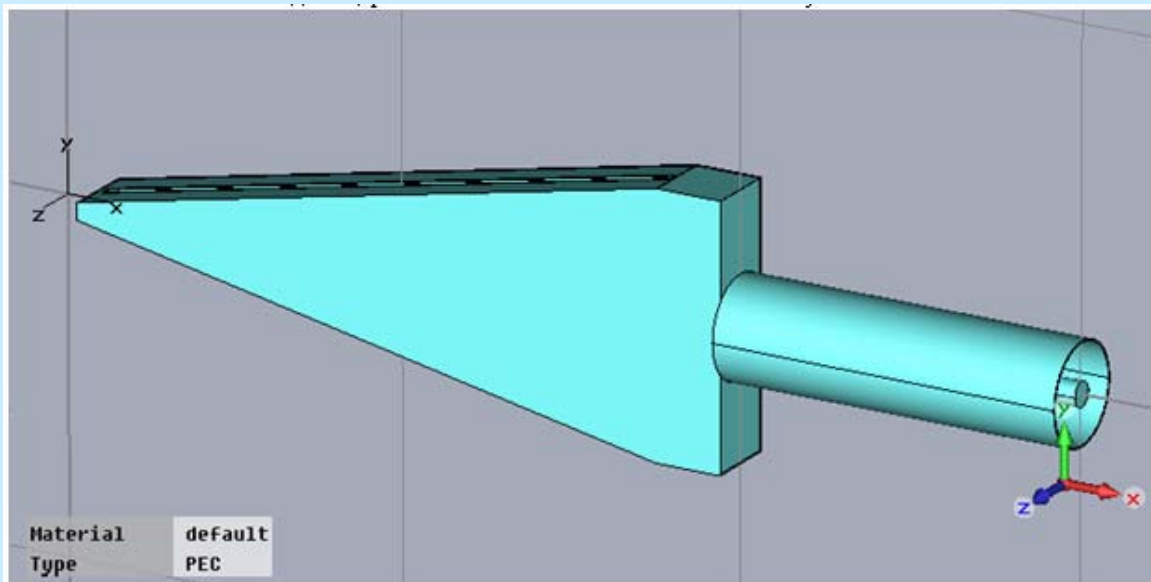


Рисунок 1. Вид модели.

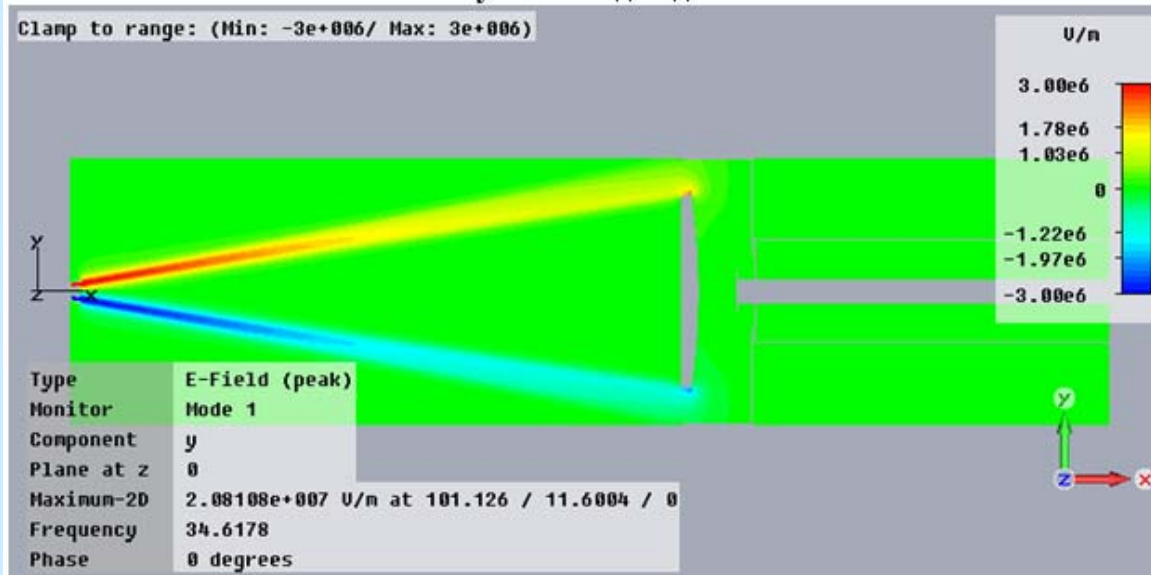
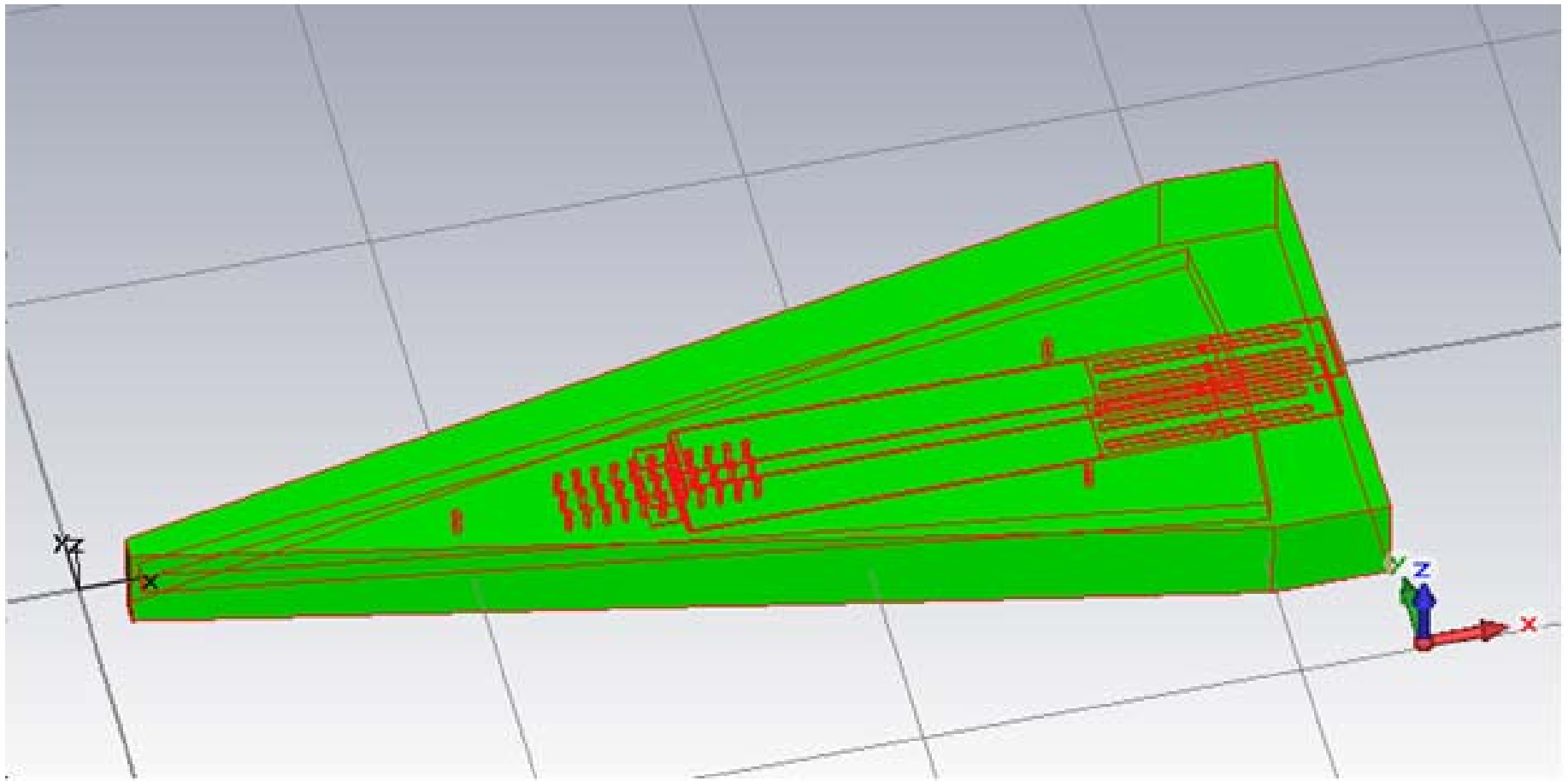


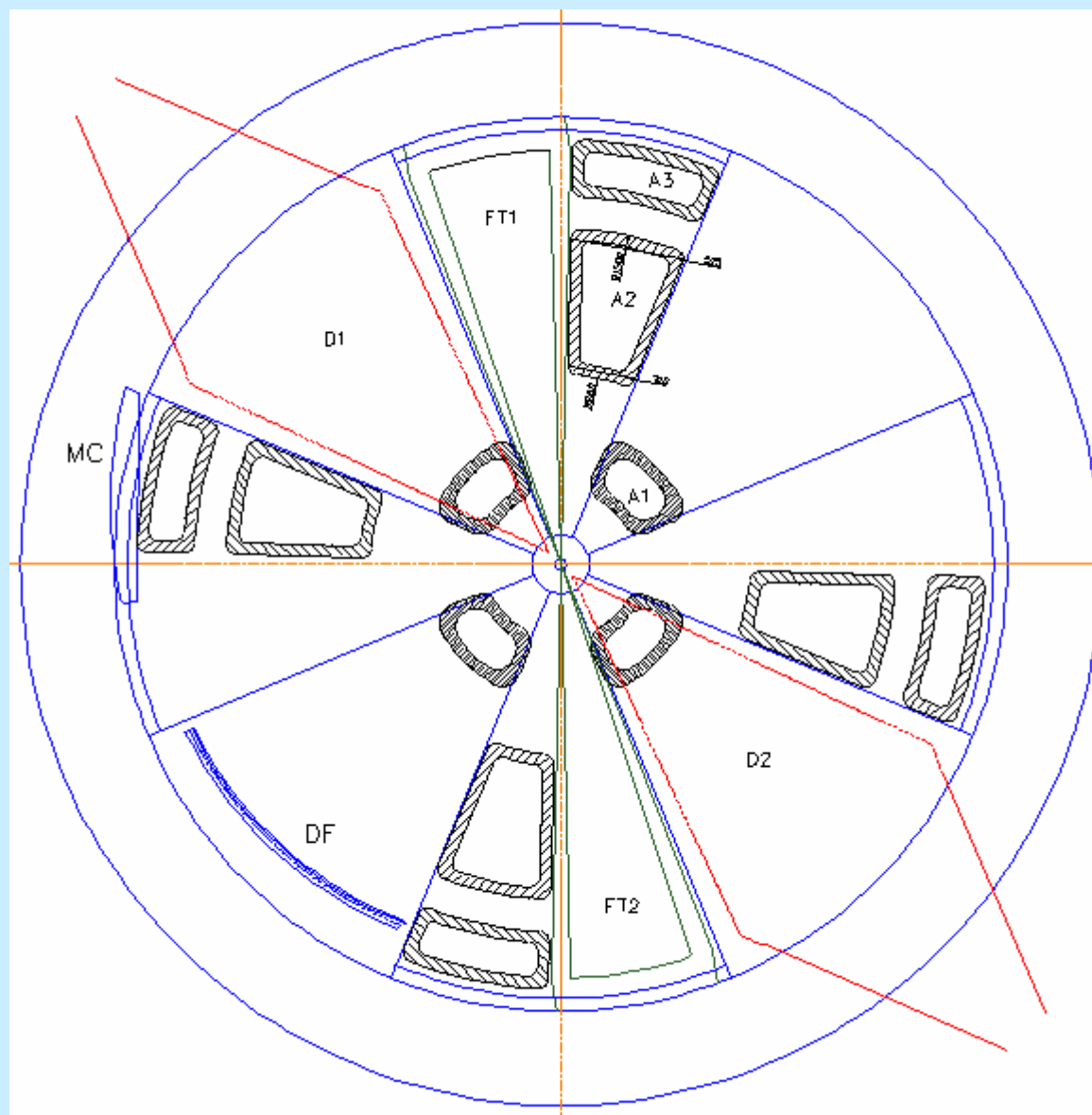
Рисунок 2. Распределение E_y компоненты электромагнитного поля в медианной плоскости.

Flat-Top дуанты

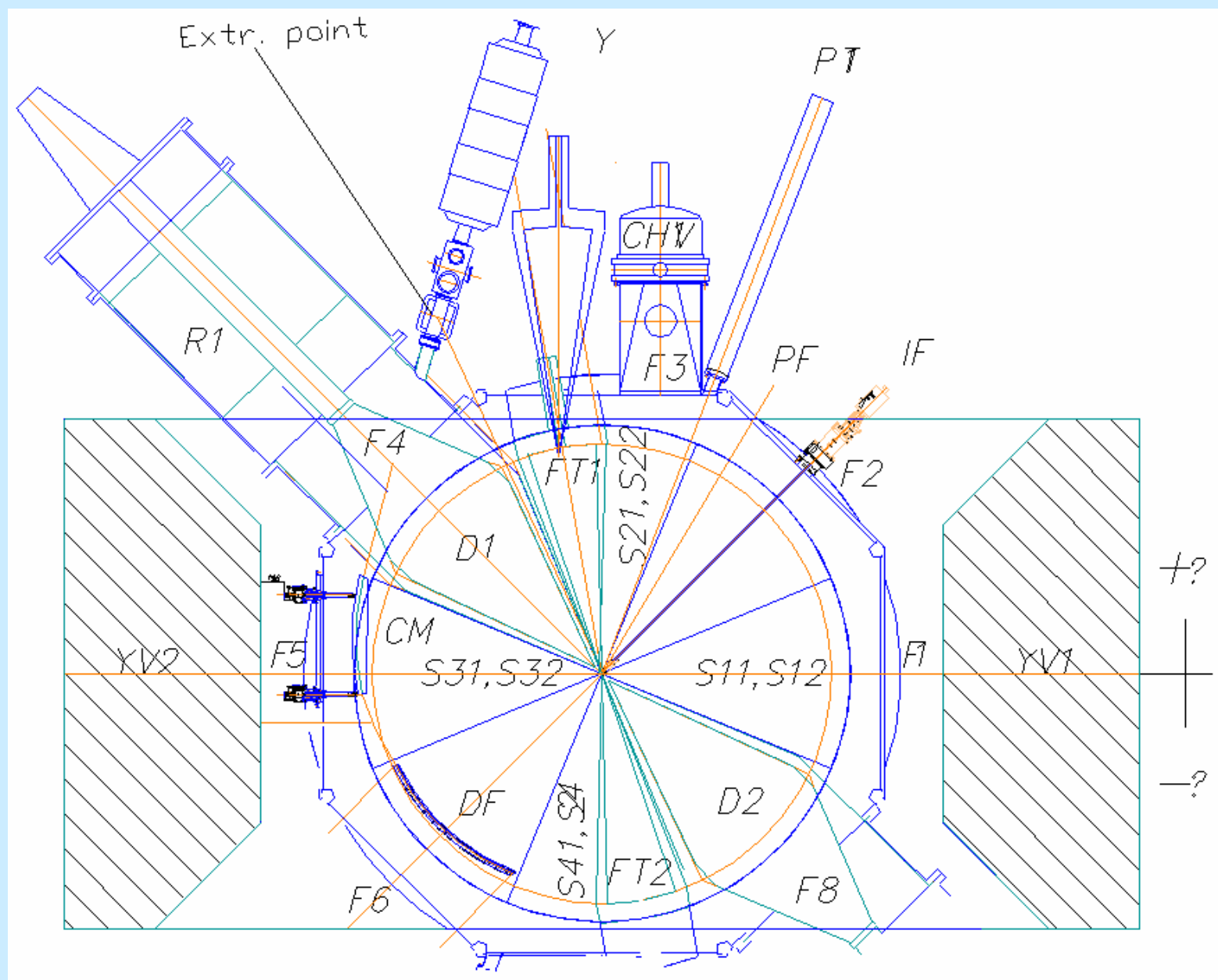


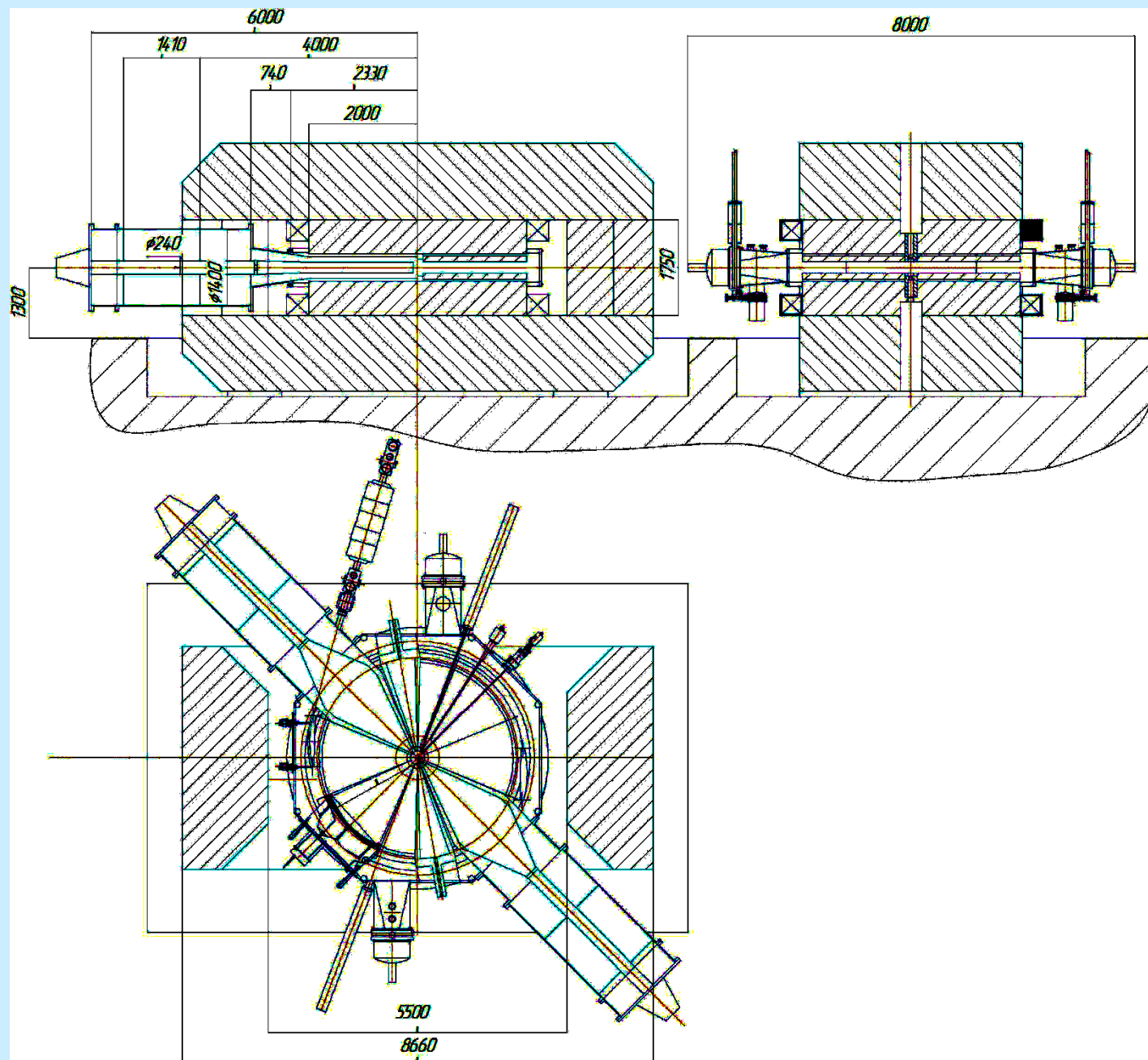
Вид модели

Эскизное размещение азимутальных корректирующих обмоток

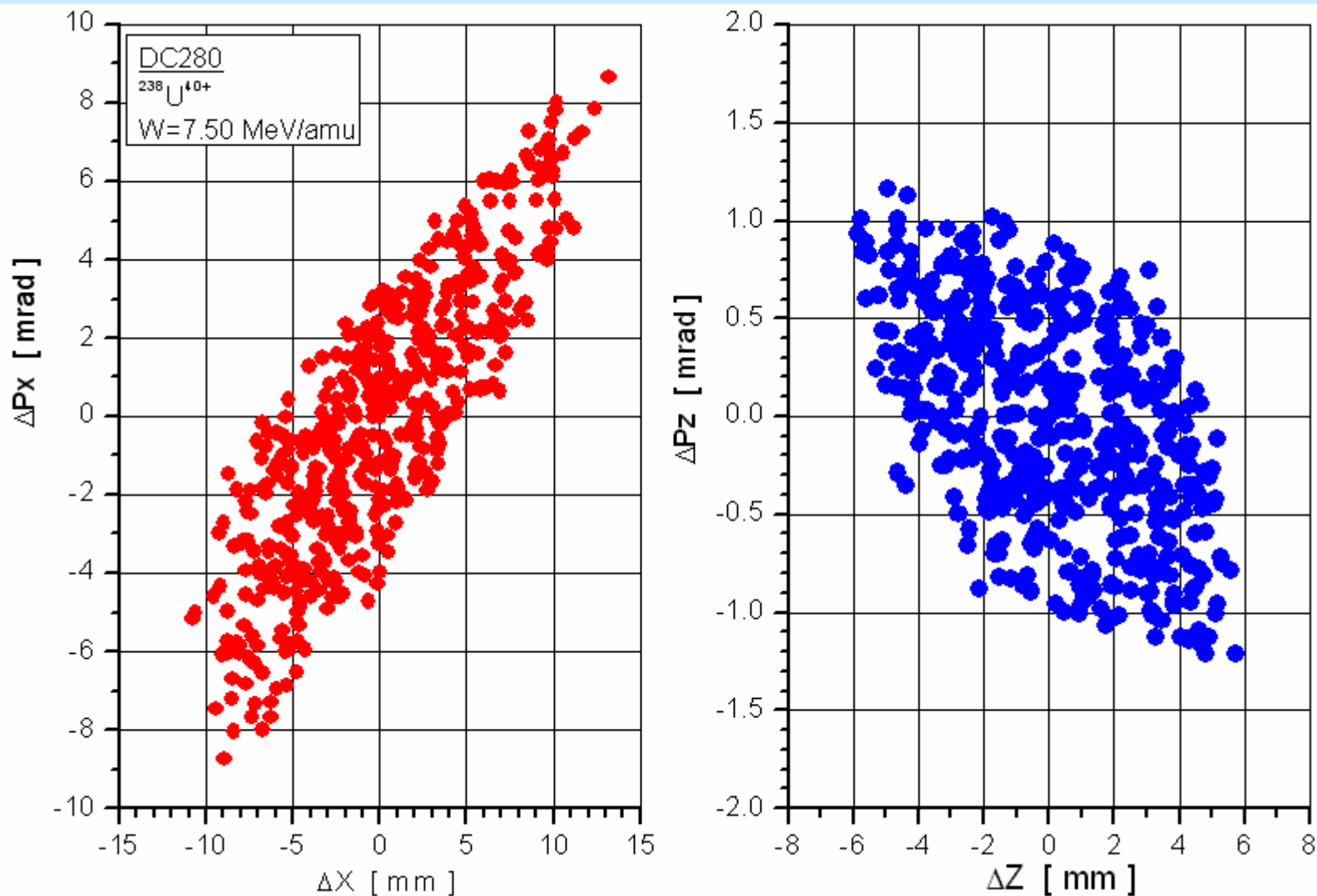


Формирование выведенных пучков в циклотроне ДЦ280



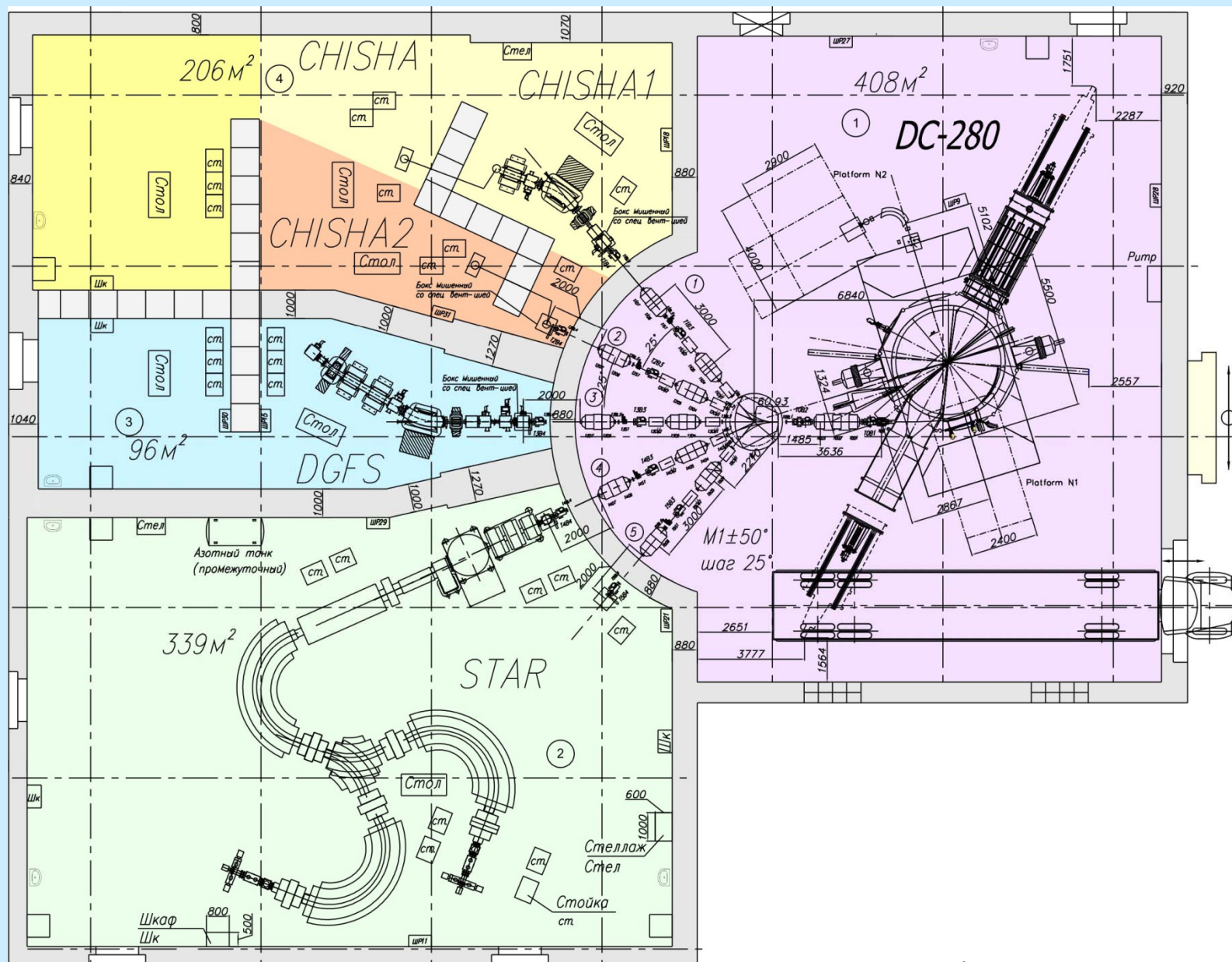


Формирование выведенных пучков в циклотроне ДЦ280



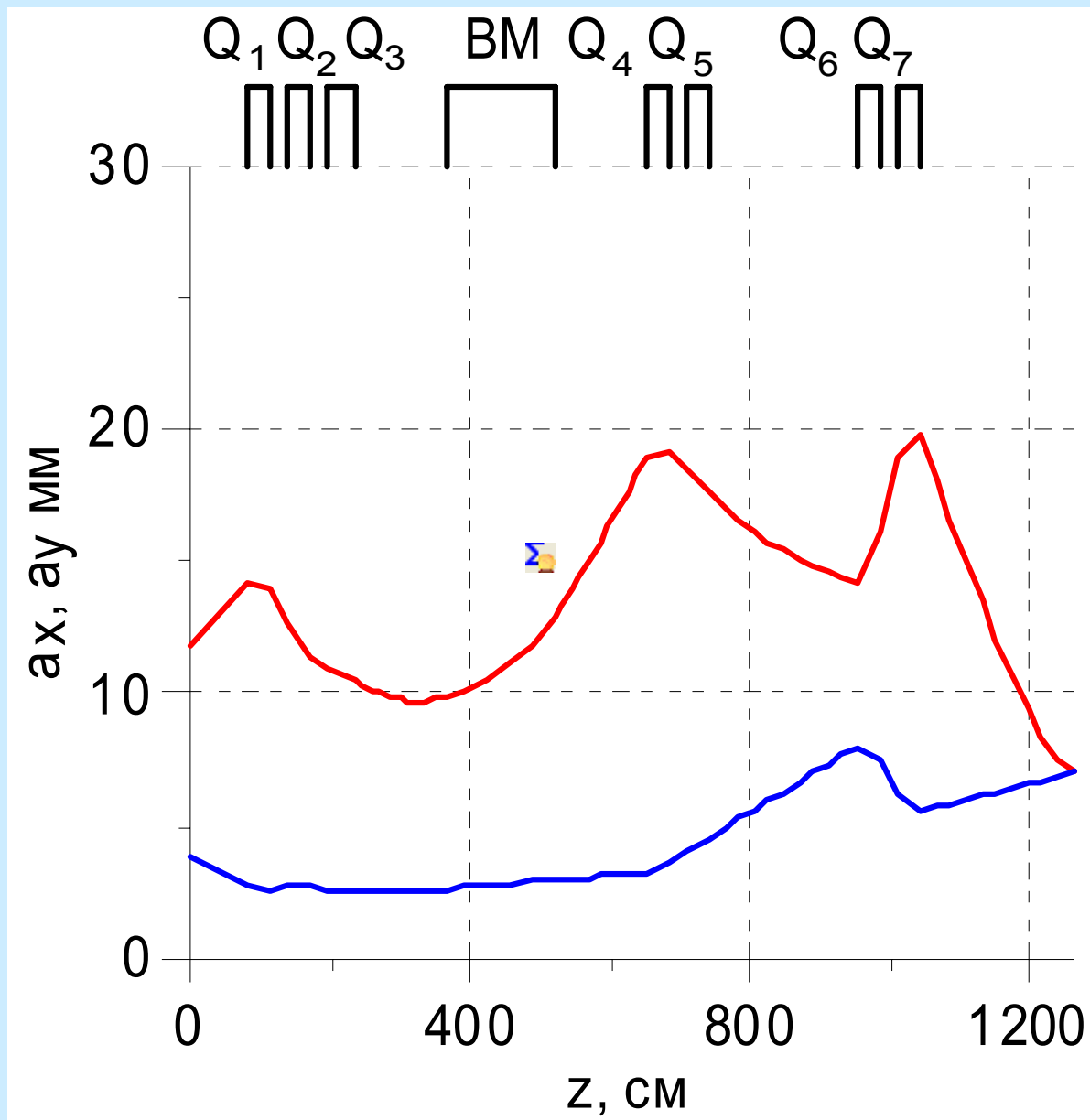
Эмиттансы пучка ионов $^{238}\text{U}^{40+}$ с энергией 7.50 МэВ/н в конечной точке

New Experimental Building with DC280 accelerator complex

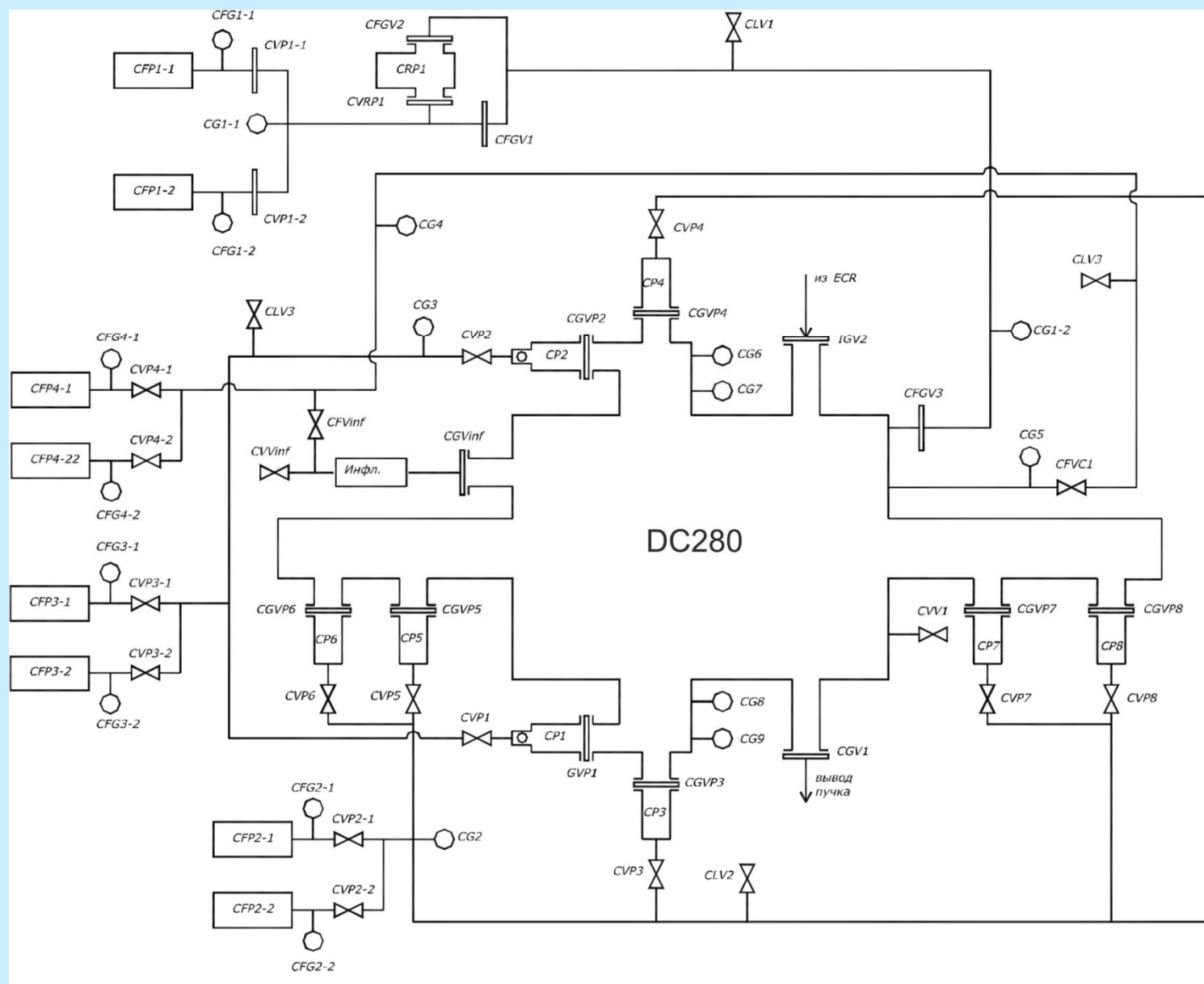


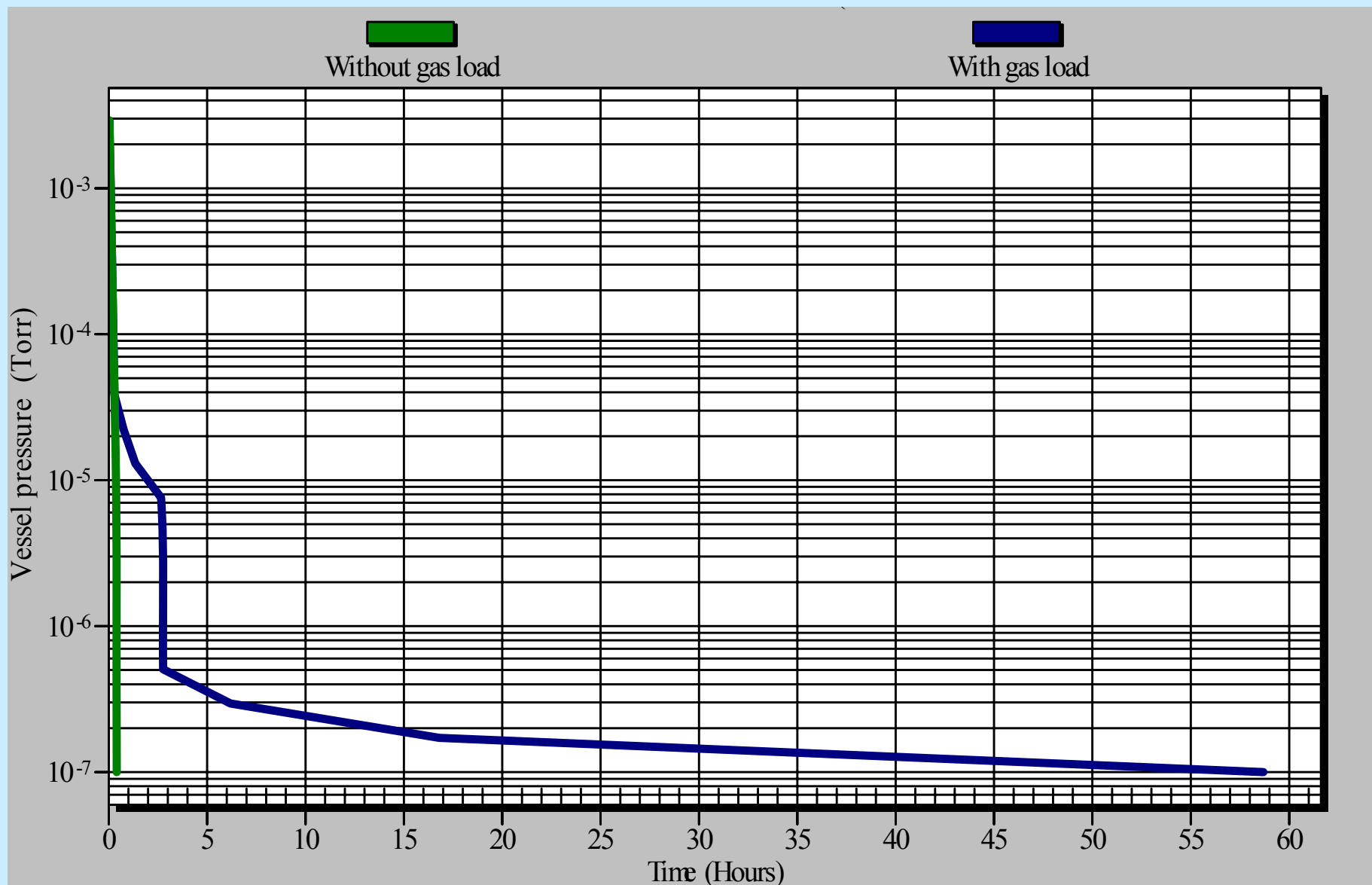
Гульбежян Г.Г. Башевой В.В.

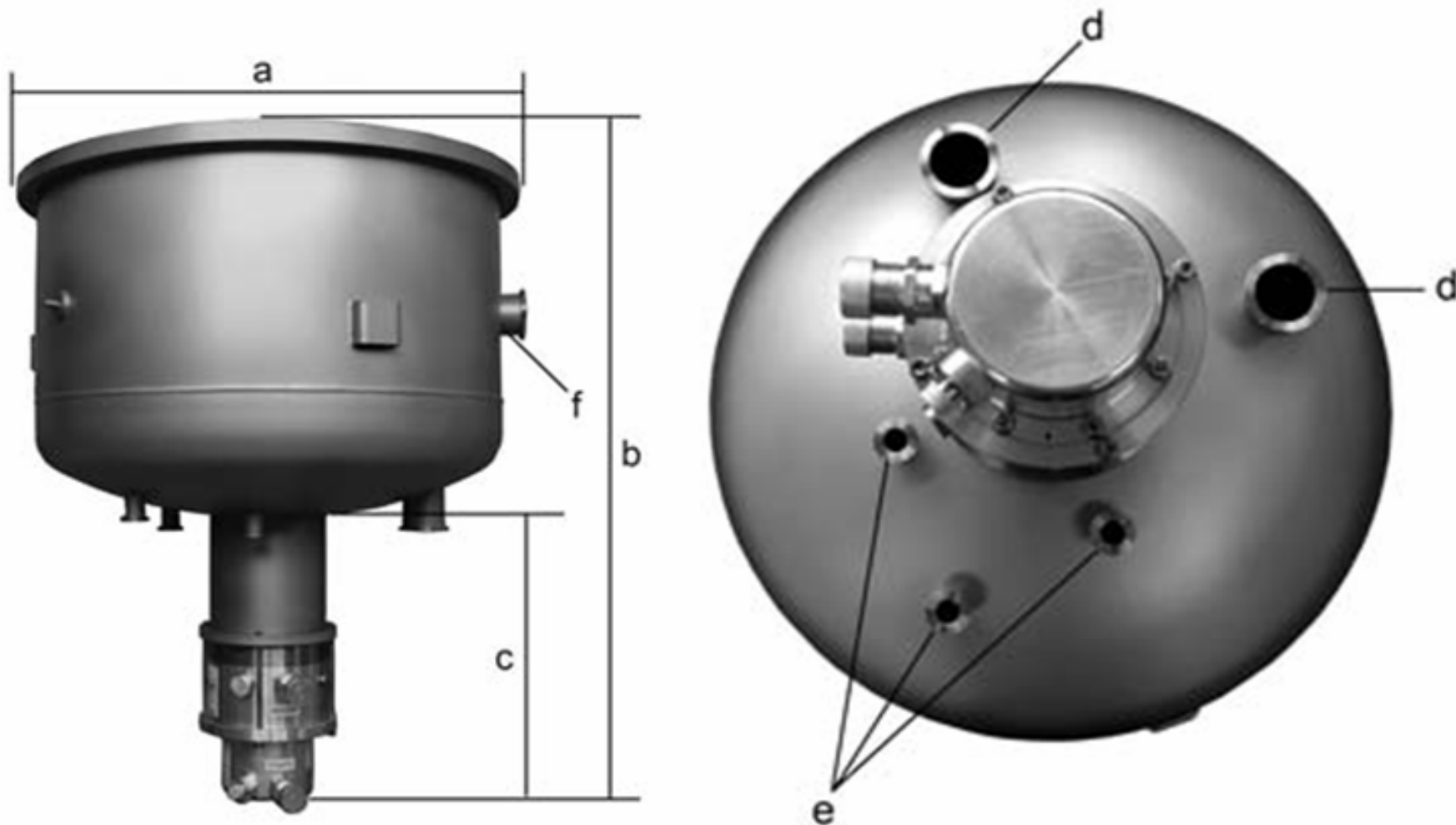
Beam transport



Принципиальная схема вакуумной откачки ускорителя ДЦ280



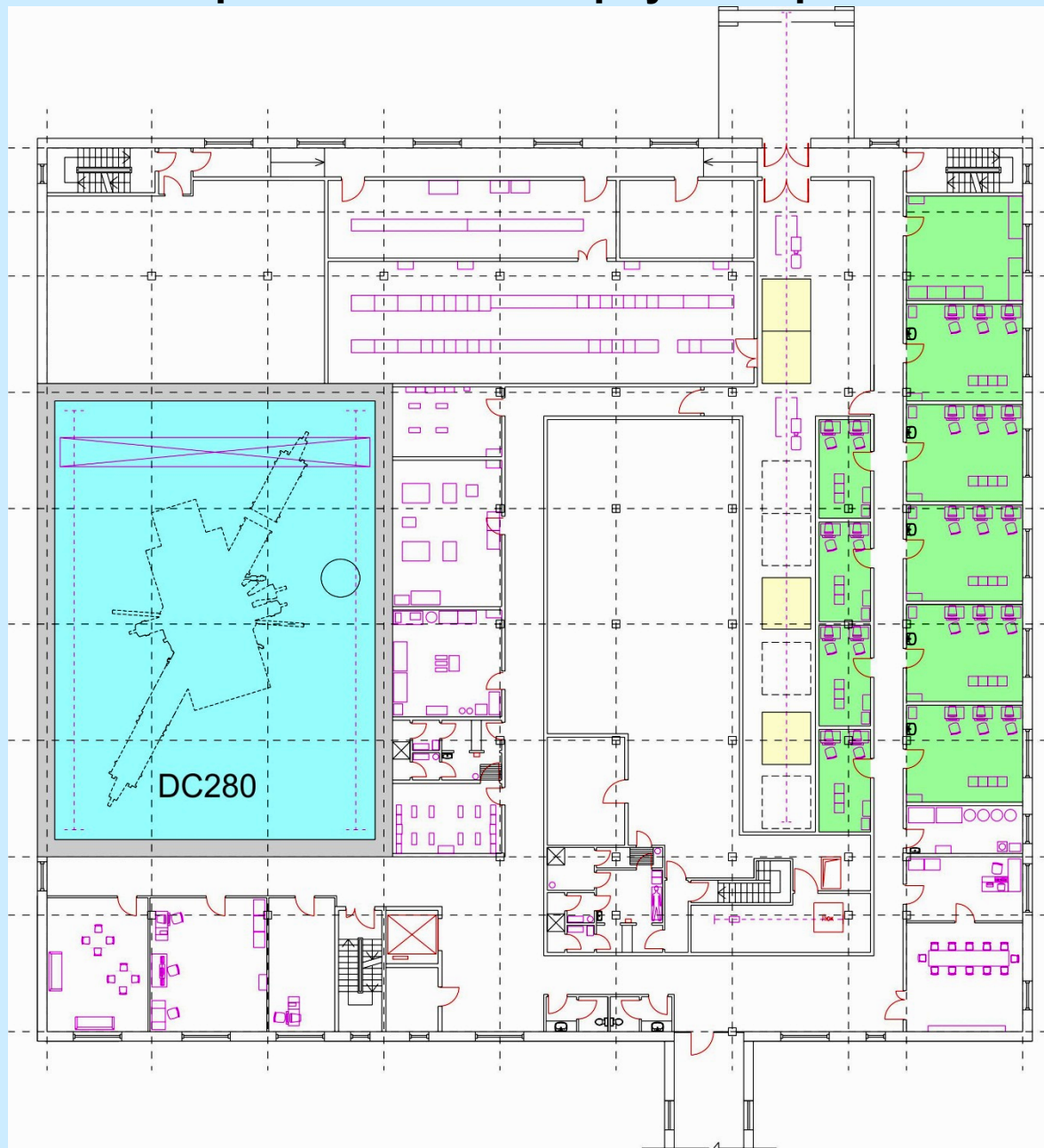




Скорость откачки крионасоса VELCO 630:

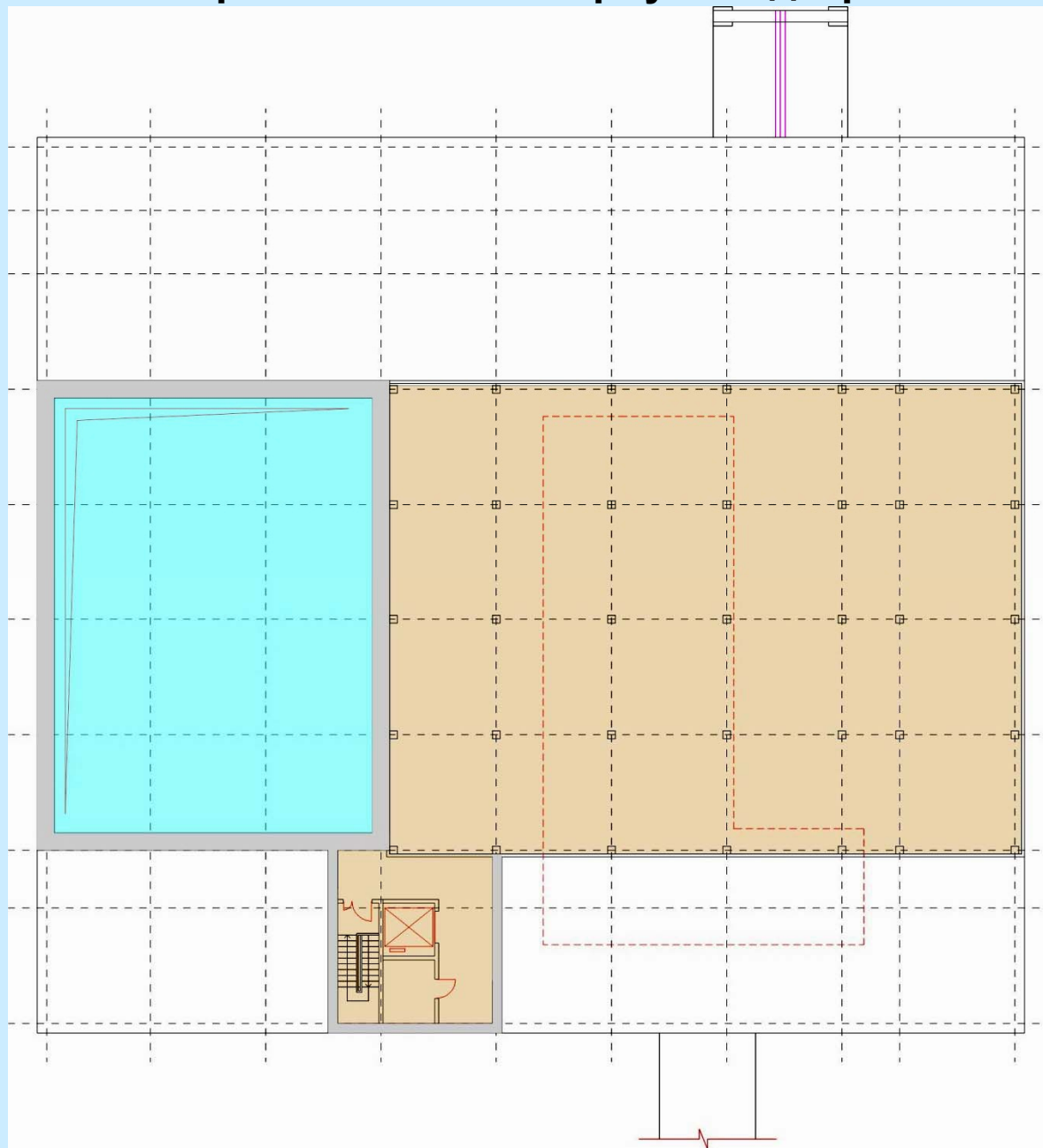
- По воздуху (азоту) - 15000 л/с
- По водяным парам - 45000 л/с

Экспериментальный корпус. Второй этаж



Гульбекян Г.Г. Башевой В.В.

Экспериментальный корпус. Надстройка



Гульбекян Г.Г. Башевой В.В.

Экспериментальный корпус. Подвальное помещение

