

Рабочее совещание по физической программе
проекта Супер Чарм Тау фабрики
ИЯФ СО РАН, Новосибирск
18 декабря 2017

Super Charm Tau Factory
Коллайдер

П.П.МИНОВ

Команда Супер Чарм Тау фабрики

В.В. Анашин, Д.Е. Беркаев, Е.А. Бехтенов,
А.В. Богомягков, А.В. Брагин, П.Д. Воблый, Г.И. Гусев,
А.М. Долгов, А.Н. Журавлев, К.В. Золотарев,
С.Е. Карнаев, Г.В. Карпов, Е.К. Кенжебулатов,
В.А. Киселев, В.В. Колмогоров, И.А. Кооп, А.А. Краснов,
В.С. Кузьминых, Г.Я. Куркин, А.Е. Левичев, Е.Б. Левичев,
П.В. Логачев, П.В. Мартышкин, Н.А. Мезенцев,
О.И. Мешков, Н.Ю. Мучной, С.А. Никитин, И.Н. Окунев,
А.В. Отбоев, О.А. Павлов, В.М. Петров, П.А. Пиминов,
Ю.А. Пупков, Д.В. Сеньков, С.В. Синяткин,
А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, А.Г. Трибендис,
С.В. Хрущев, Д.Н. Шатилов, С.В. Шиянков, В.А. Шкаруба

Экспериментальная программа

- Сканирование во всем диапазоне энергий (1÷2.5 ГэВ) с шагом 50÷100 МэВ. Поляризация не требуется

- Набор статистики в точках, где поляризация необходима
 - 1.00 ГэВ Порог рождения нуклонов. Требуется продольная поляризация
 - 1.12 ГэВ Порог рождения Λ -гиперонов. Требуется поляризация
 - 1.55 ГэВ Пик J/ψ . Поляризация желательна для изучения распада $J/\psi \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$
 - 1.78 ГэВ Порог рождения τ -лептонов. Требуется поляризация
 - 1.84 ГэВ Пик $\psi(2S)$. Поляризация желательна для изучения τ -лептона
 - 1.89 ГэВ Пик $\psi(3770)$. Поляризация желательна для изучения τ -лептона
 - 2.10 ГэВ Порог рождения D_s -мезонов. Поляризация желательна для изучения τ -лептона
 - 2.29 ГэВ Порог рождения Λ_c -барионов. Требуется поляризация

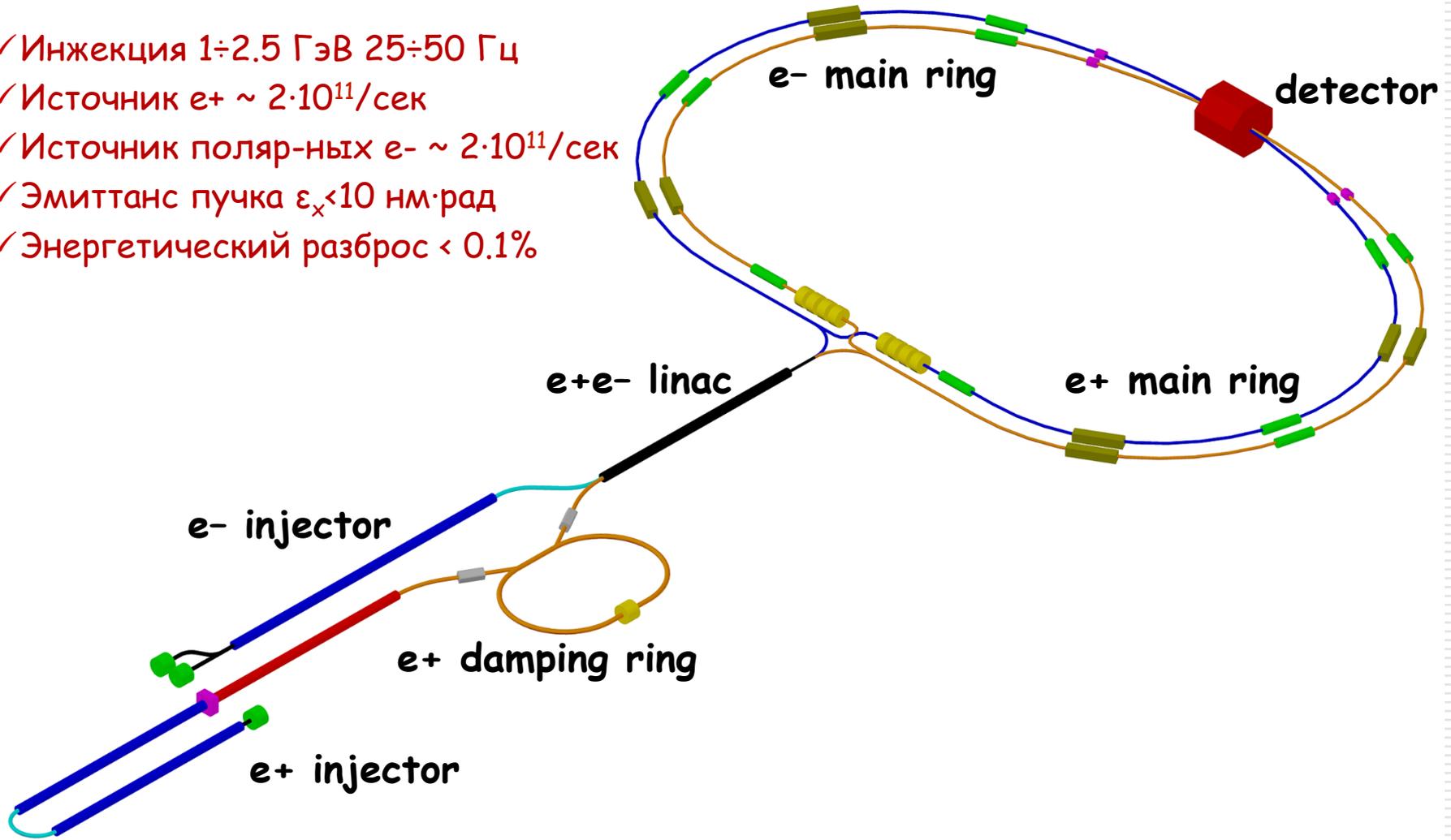
Таким образом, поляризация нужна низкой энергии, в пике J/ψ и во всем диапазоне по энергии выше порога рождения тау-лептонов, если она не приводит к падению светимости.

Основные требования

- Энергия от 1.0 до 2.5 ГэВ
 - Светимость 10^{35} на 2 ГэВ
 - Продольная поляризация электронов в IP
 - Не требуется монохроматизации
 - Калибровка энергии методом ОКР
-
- Два кольца
 - Crab waist collisions
 - Суб-миллиметровая бета-функция в IP
 - Сохранение эмиттанса пучка и времени затухания от энергии
 - Получение больших токов (использование ОС)
 - 5 сибирских змеек
 - Источник позитронов
 - Источник поляризованных электронов
 - 2.5 ГэВ Линак
 - 25÷50 Гц инжекция

Общая схема установки

- ✓ Инжекция $1 \div 2.5$ ГэВ $25 \div 50$ Гц
- ✓ Источник $e^+ \sim 2 \cdot 10^{11}/\text{сек}$
- ✓ Источник поляр-ных $e^- \sim 2 \cdot 10^{11}/\text{сек}$
- ✓ Эмиттанс пучка $\epsilon_x < 10$ нм·рад
- ✓ Энергетический разброс $< 0.1\%$



Инжектор

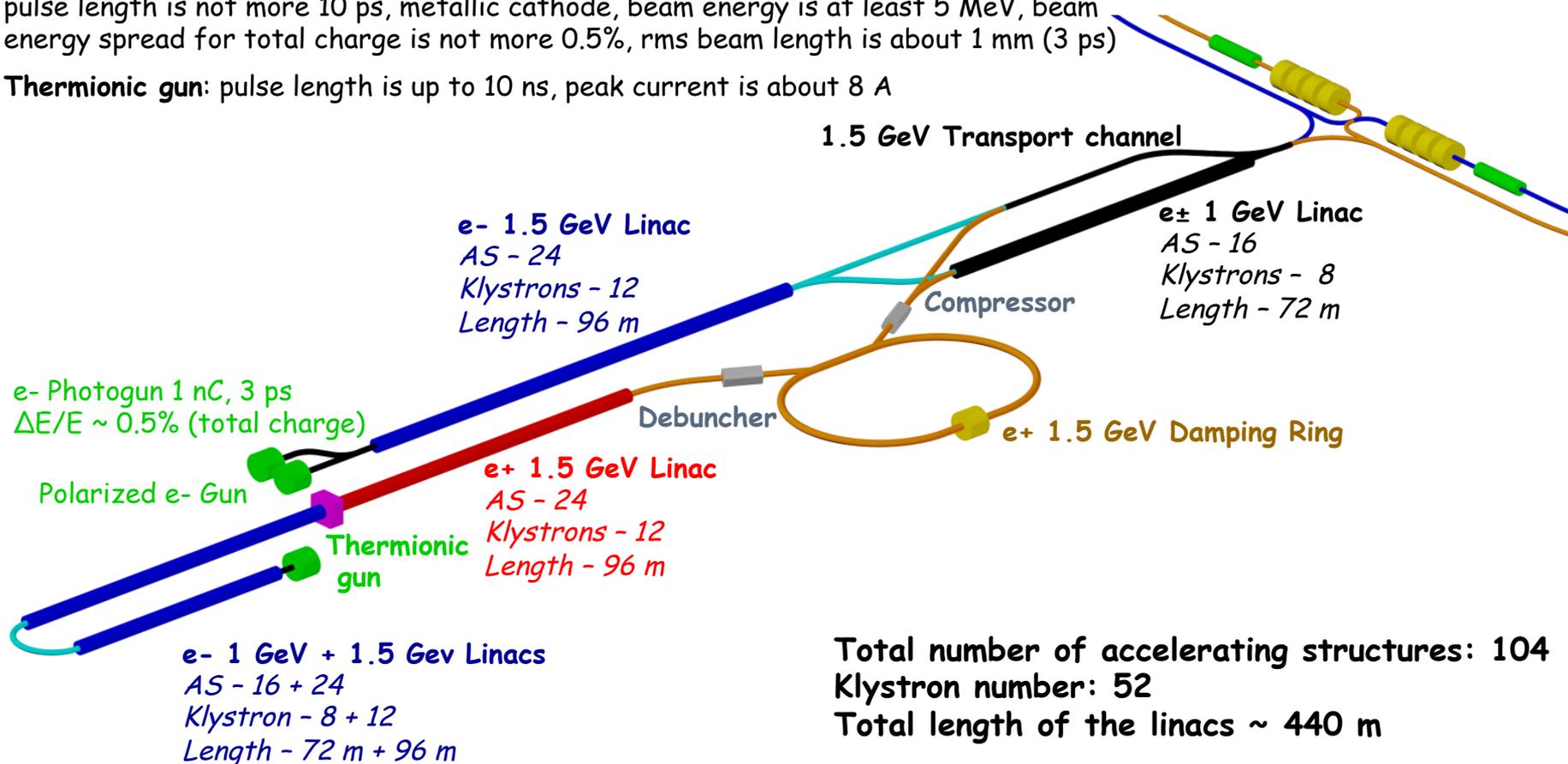
Accelerating structure: TW, constant impedance (geometry), length is 3 m, quasi-constant electric field distribution, energy gain is 22 MeV/m, beam energy per structure is 66 MeV

Klystron: peak power is 50 MW, repetition rate is 50 Hz, pulse length is up to 5 μ s

RF module: 1 klystron, 2 accelerating structures, electric field amplitude is 27 MV/m, gap between structures is 1 m

RF photogun: beam charge is 1 nC, laser length is 266 nm, laser energy is up to 3 mJ, laser pulse length is not more 10 ps, metallic cathode, beam energy is at least 5 MeV, beam energy spread for total charge is not more 0.5%, rms beam length is about 1 mm (3 ps)

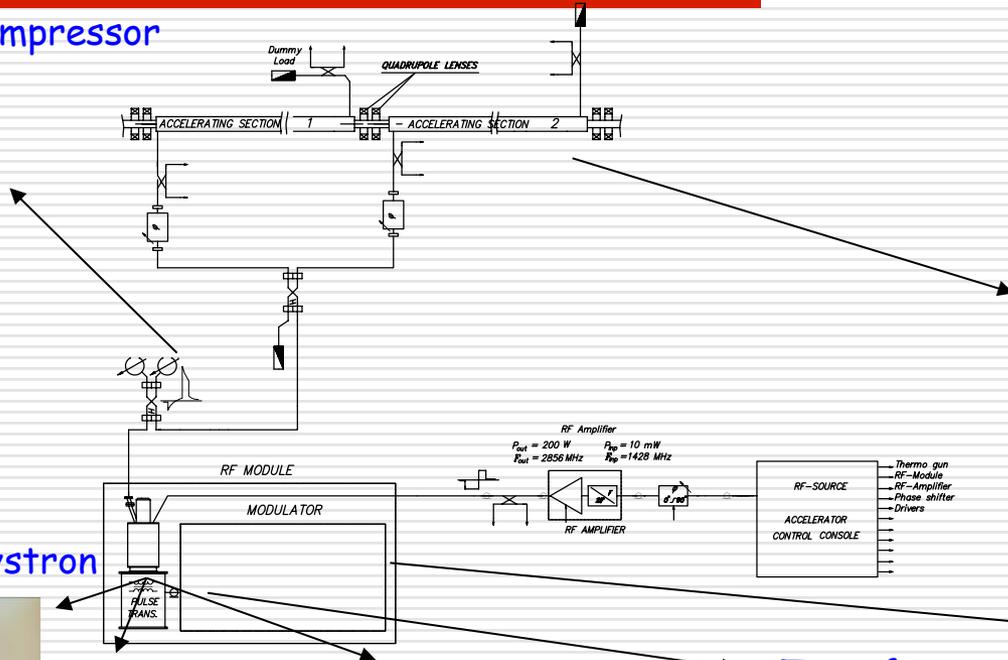
Thermionic gun: pulse length is up to 10 ns, peak current is about 8 A



200 МэВ ускоряющий модуль

SLED type power compressor

TW disk loaded accelerating structure



Prototype of the klystron



Cathode assembly



Vacuum waveguide window



Transformer

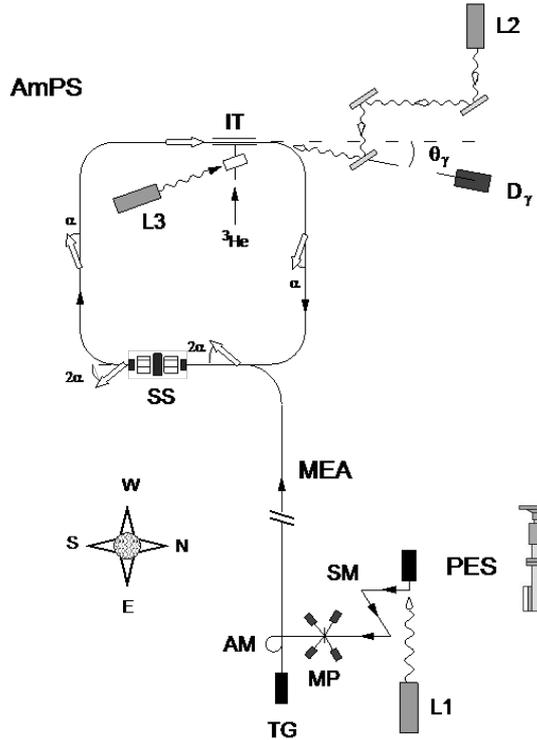


Modulator

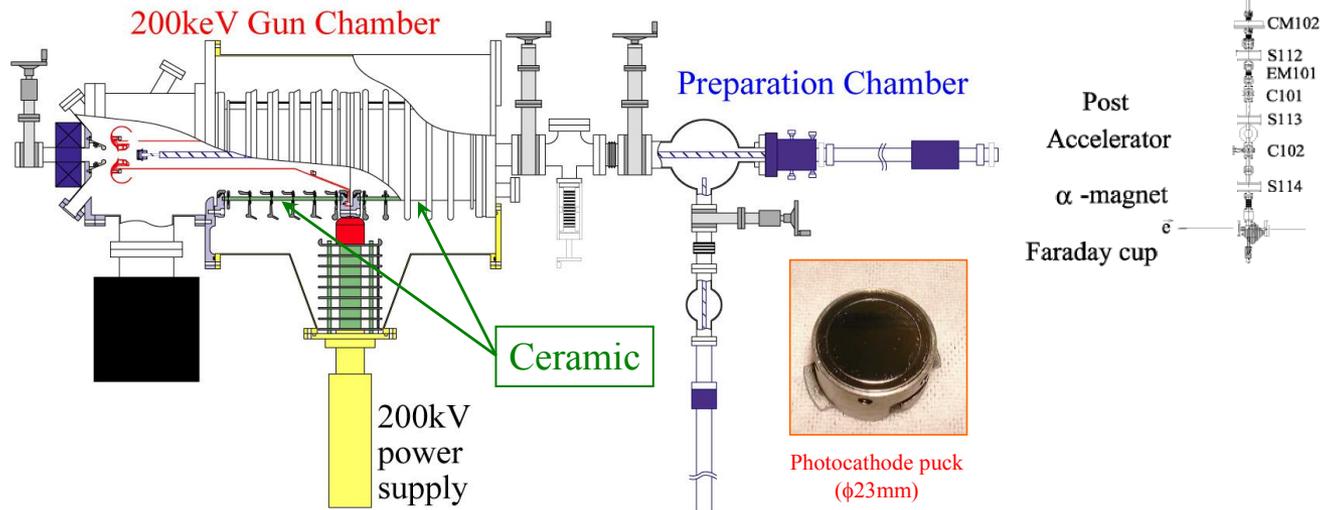


Источник поляризованных электронов

Polarized electron source produced by BINP for AmPS

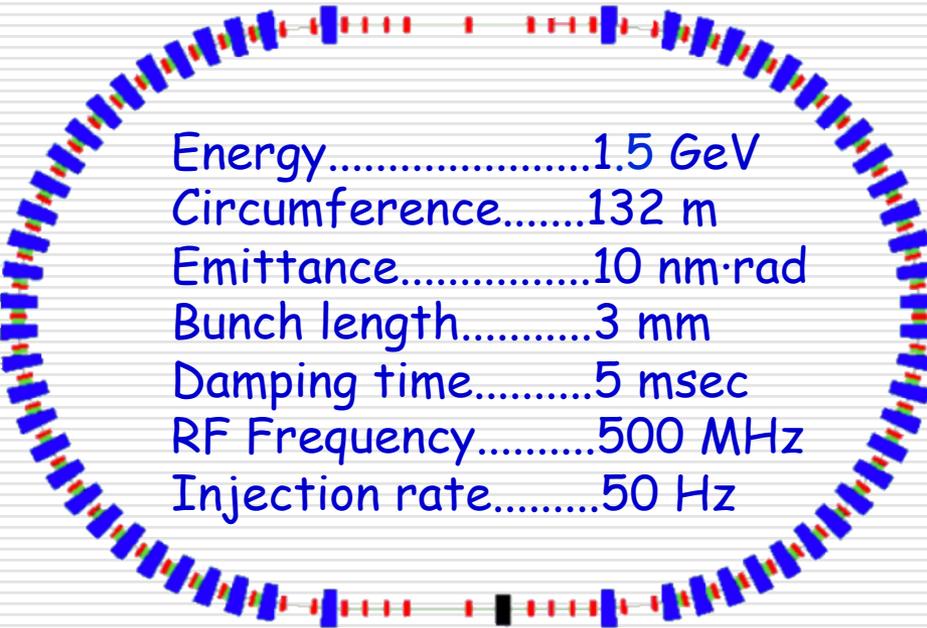


Beam polarization.....90%
 Cathode voltage.....100 kV
 Photocathode type.....AlInGaAS/AlGaAS SL
 Laser type.....Ti-Sapphire
 Light wavelength.....700-850 nm
 Laser energy in a pulse..10 mJ
 Pulse duration.....2 ns
 Repetition rate.....50 Hz
 No. of e⁻ per a pulse.....3·10¹⁰
 Normalized emittance....10÷30 mm·mrad

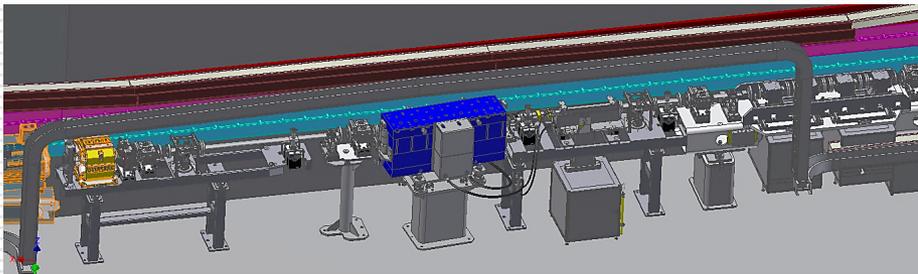


200 keV polarized electron gun of Nagoya University, Japan

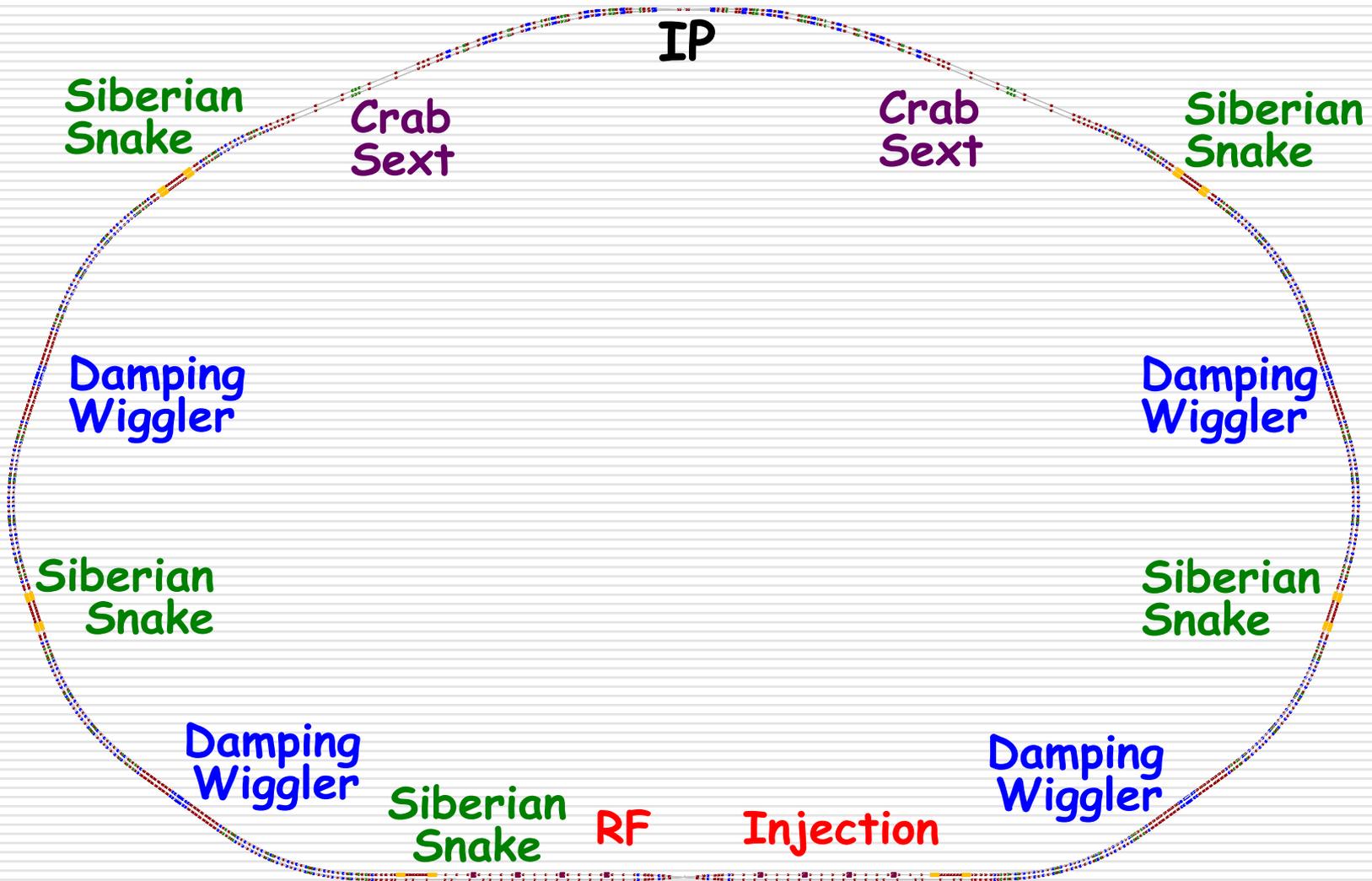
Затухательное кольцо



Energy.....1.5 GeV
Circumference.....132 m
Emittance.....10 nm·rad
Bunch length.....3 mm
Damping time.....5 msec
RF Frequency.....500 MHz
Injection rate.....50 Hz



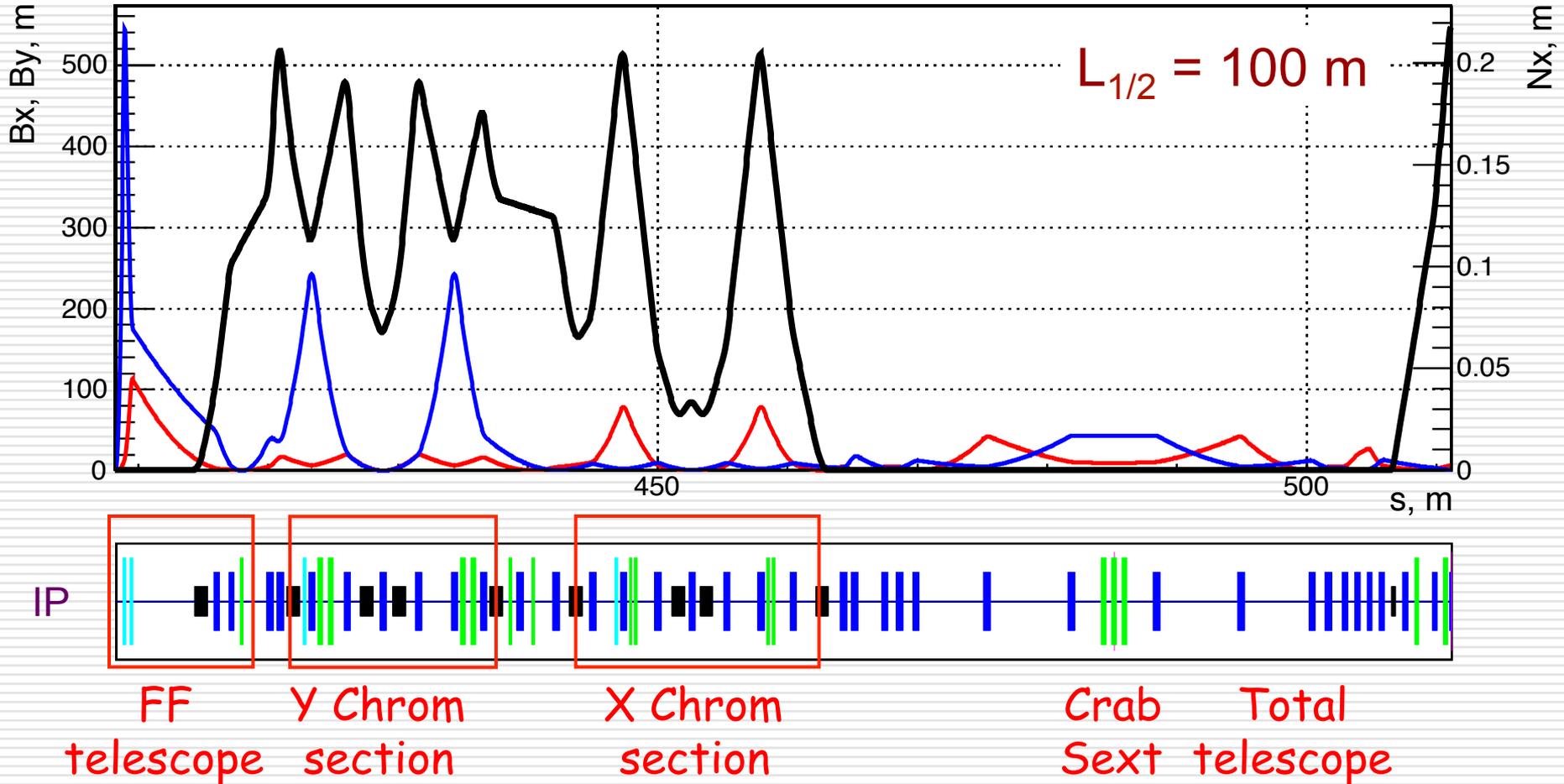
Коллайдер



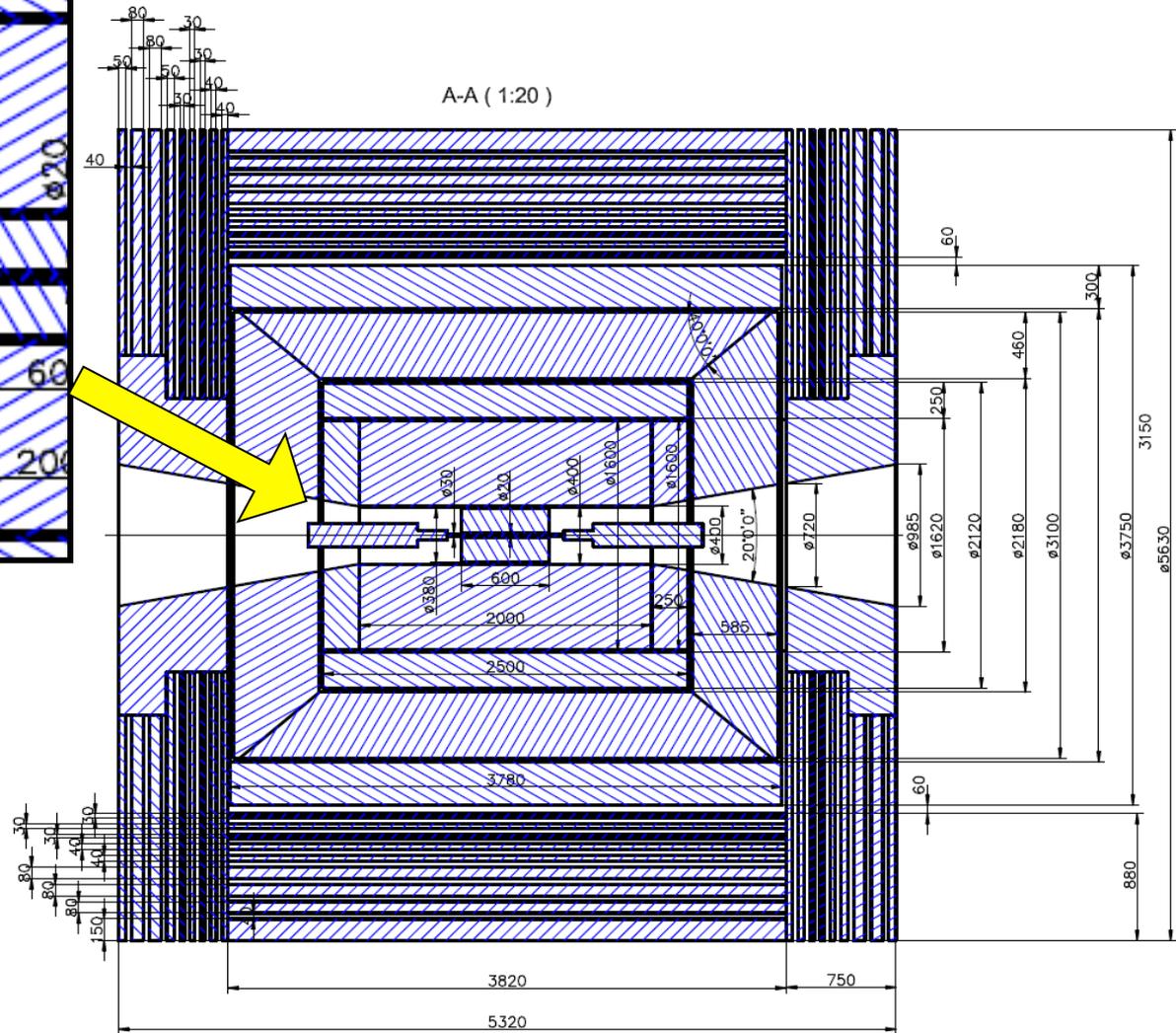
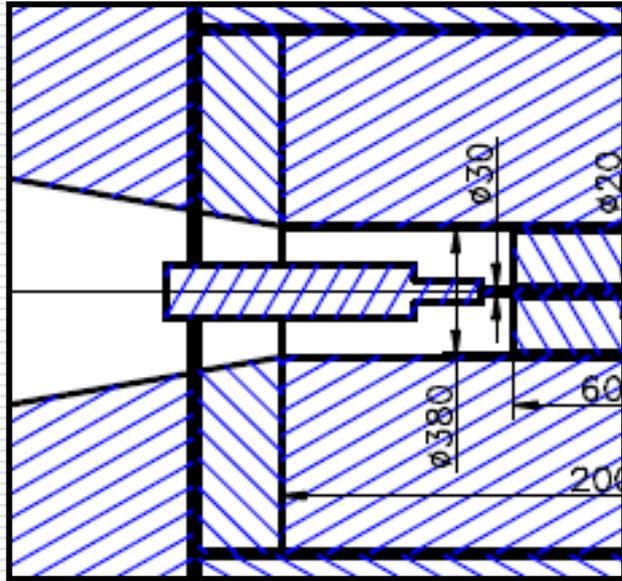
Основные параметры

Energy	1.0 GeV	1.5 GeV	2.0 GeV	2.5 GeV
Circumference	813.1 m			
Emittance hor/ver	8 nm/0.04 nm @ 0.5% coupling			
Damping time hor/ver/long	50/50/25 ms	30/30/15 ms		
Bunch length	21 mm	12 mm	10 mm	10 mm
Energy spread	$8.7 \cdot 10^{-4}$	$11 \cdot 10^{-4}$	$9.3 \cdot 10^{-4}$	$7.2 \cdot 10^{-4}$
Momentum compaction	$8.73 \cdot 10^{-4}$	$8.81 \cdot 10^{-4}$	$8.82 \cdot 10^{-4}$	$8.83 \cdot 10^{-4}$
Damping wiggler field	50 kGs	50 kGs	35 kGs	10 kGs
Synchrotron tune	0.007	0.012	0.009	0.008
RF frequency	499.95 MHz			
Harmonic number	1356			
Particles in bunch	$7 \cdot 10^{10}$			
Number of bunches	406 (10% gap)			
Bunch current	4.2 mA			
Total beam current	1.7 A			
Beam-beam parameter	0.135	0.135	0.121	0.097
Luminosity	$0.6 \cdot 10^{35}$	$0.9 \cdot 10^{35}$	$1.0 \cdot 10^{35}$	$1.0 \cdot 10^{35}$

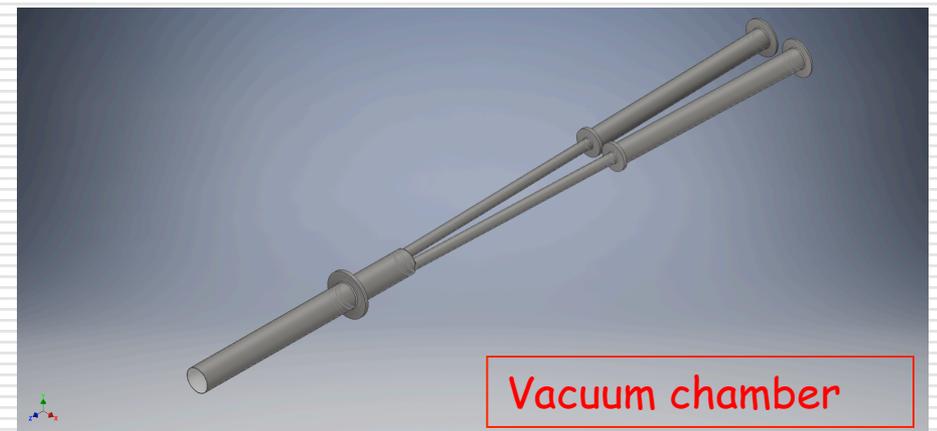
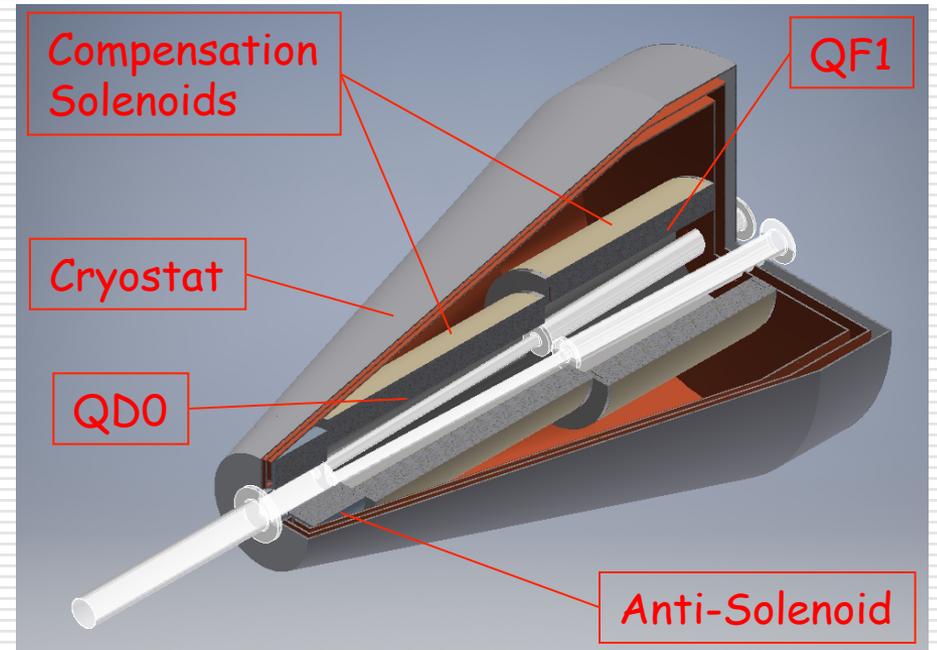
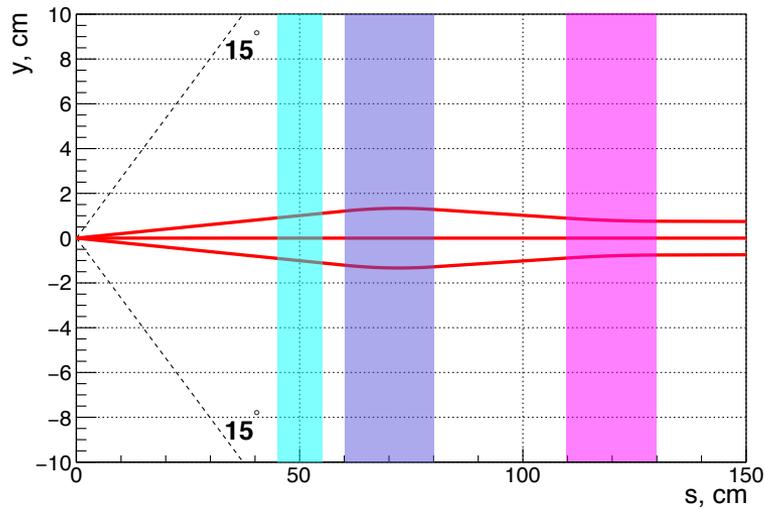
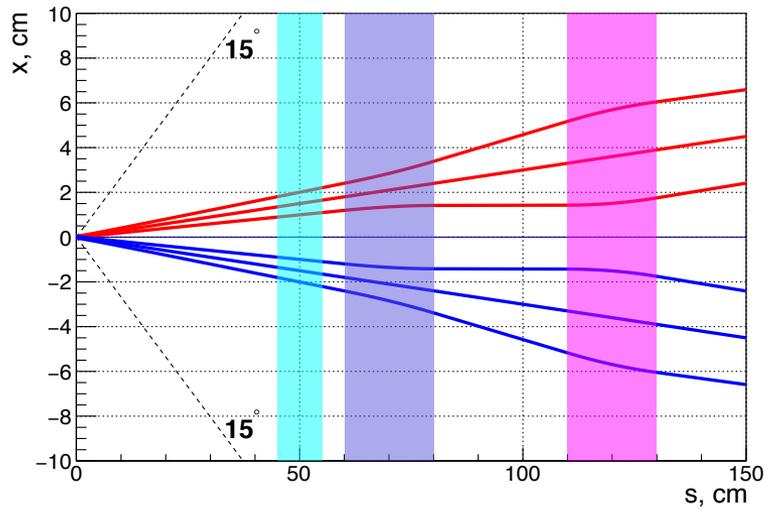
Экспериментальный промежуток



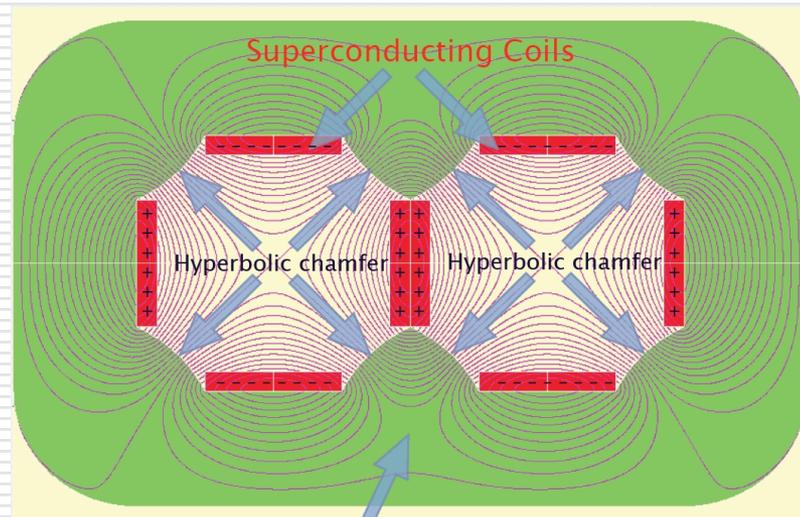
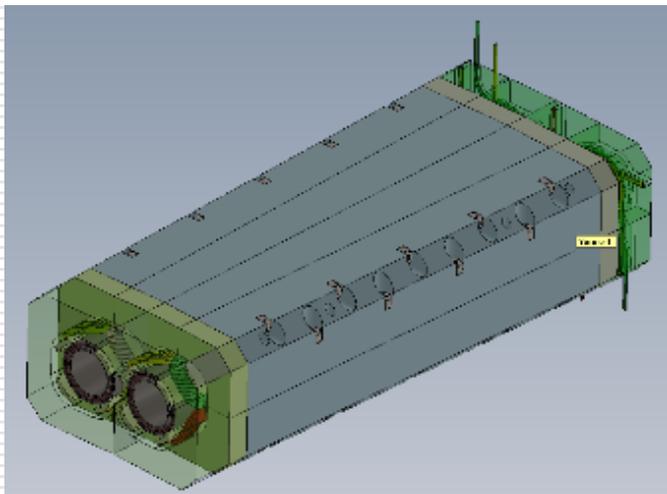
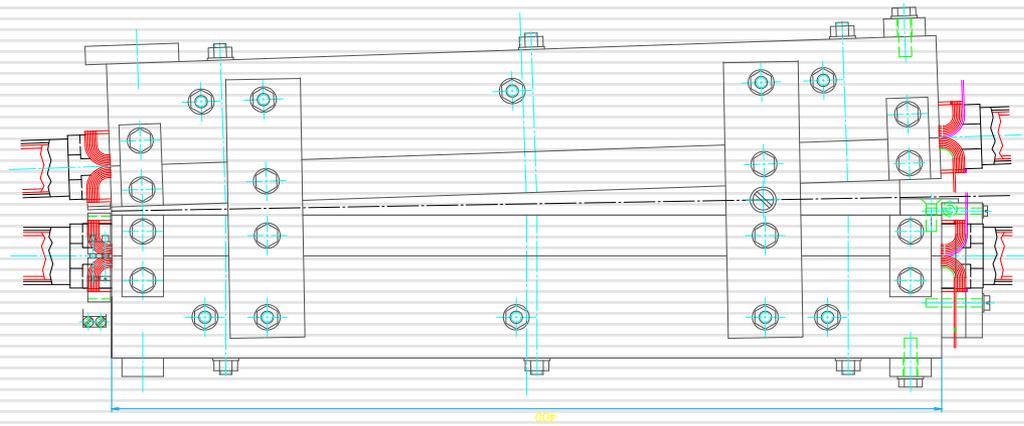
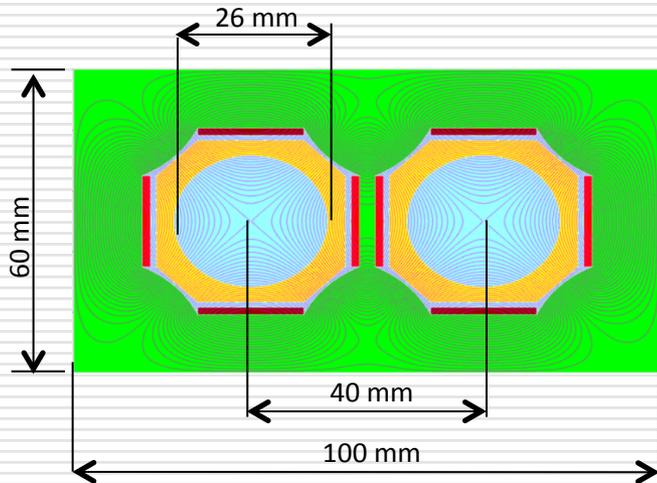
Финальный фокус



Финальный фокус

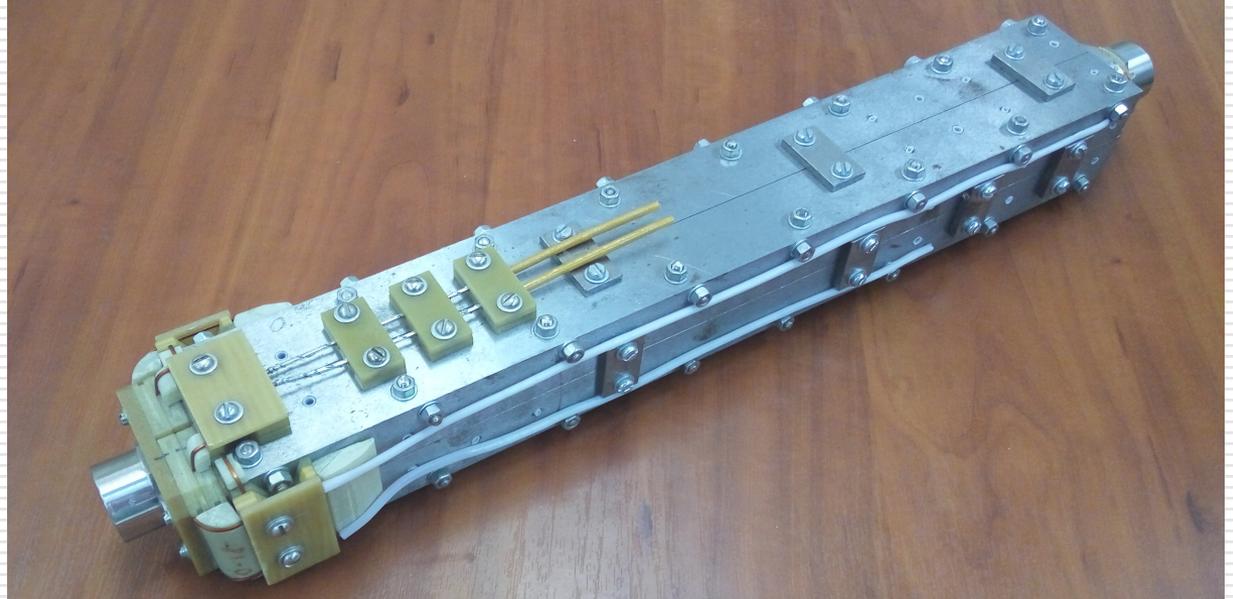
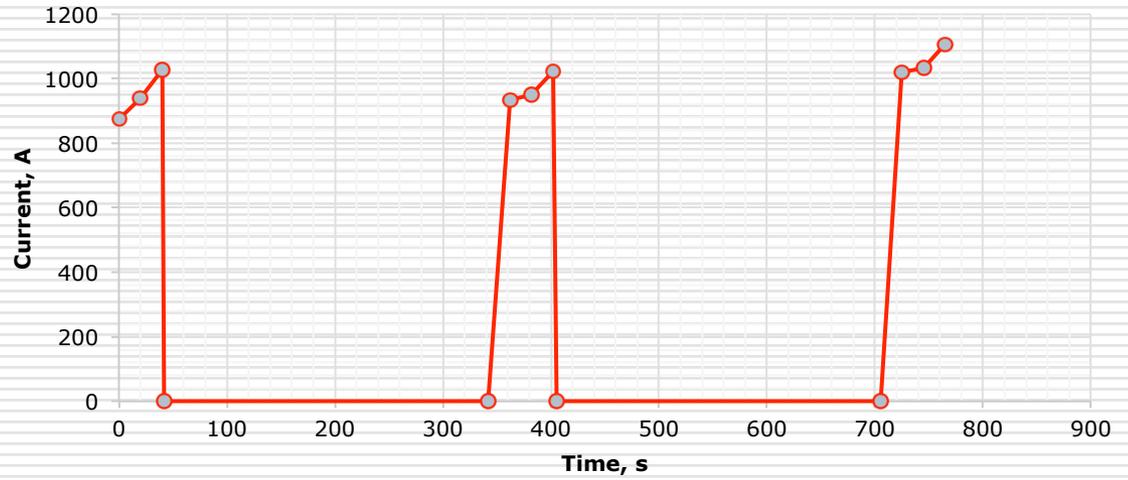


Двухапертурная линза



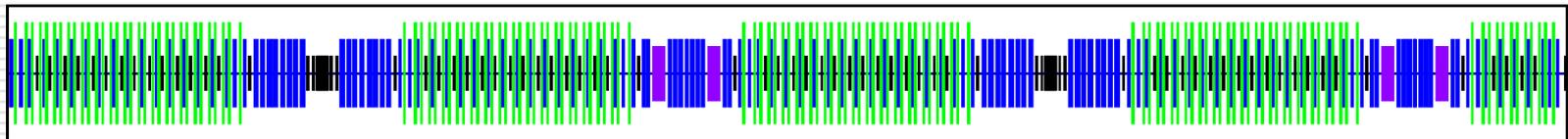
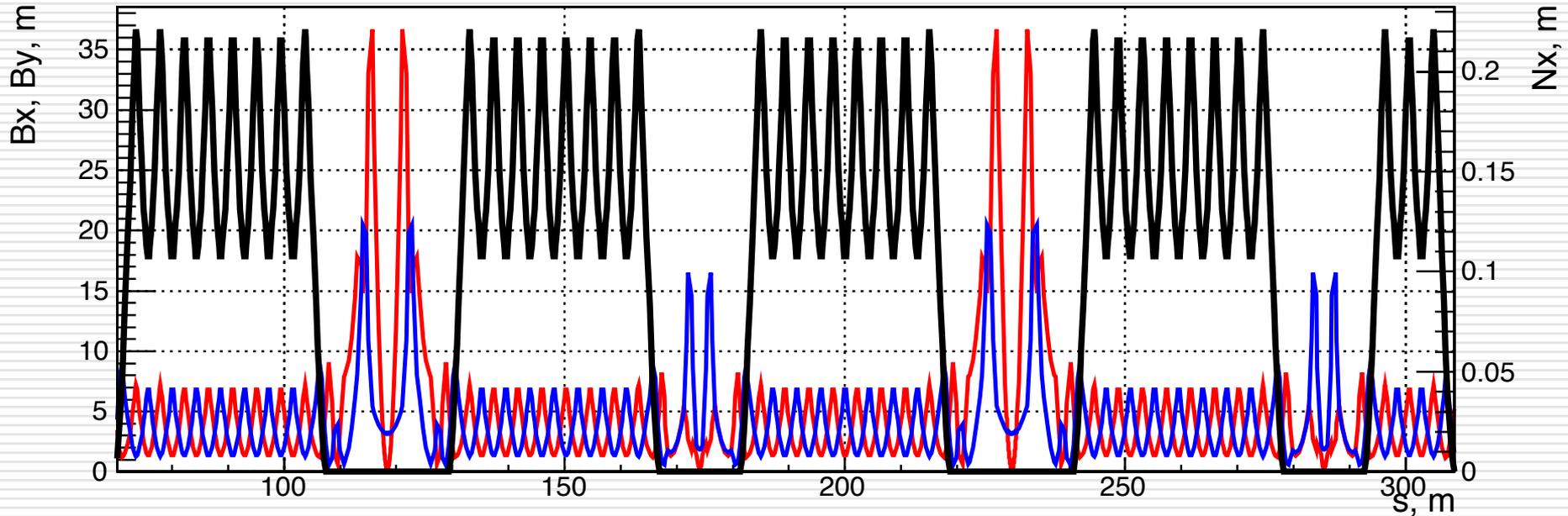
Одноапертурный прототип

Апертура.....1 см
Градиент.....10 кГс/см
Длина.....40 см
Ток.....1.15 кА·ВИТКОВ
Провод.....NbTi



П.Пиминов, Супер Чарм Тау фабрика: Коллайдер

Поворотная арка



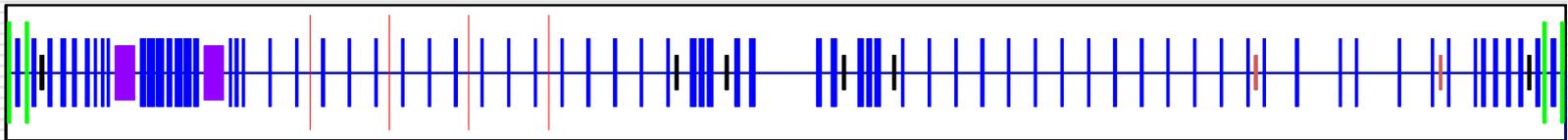
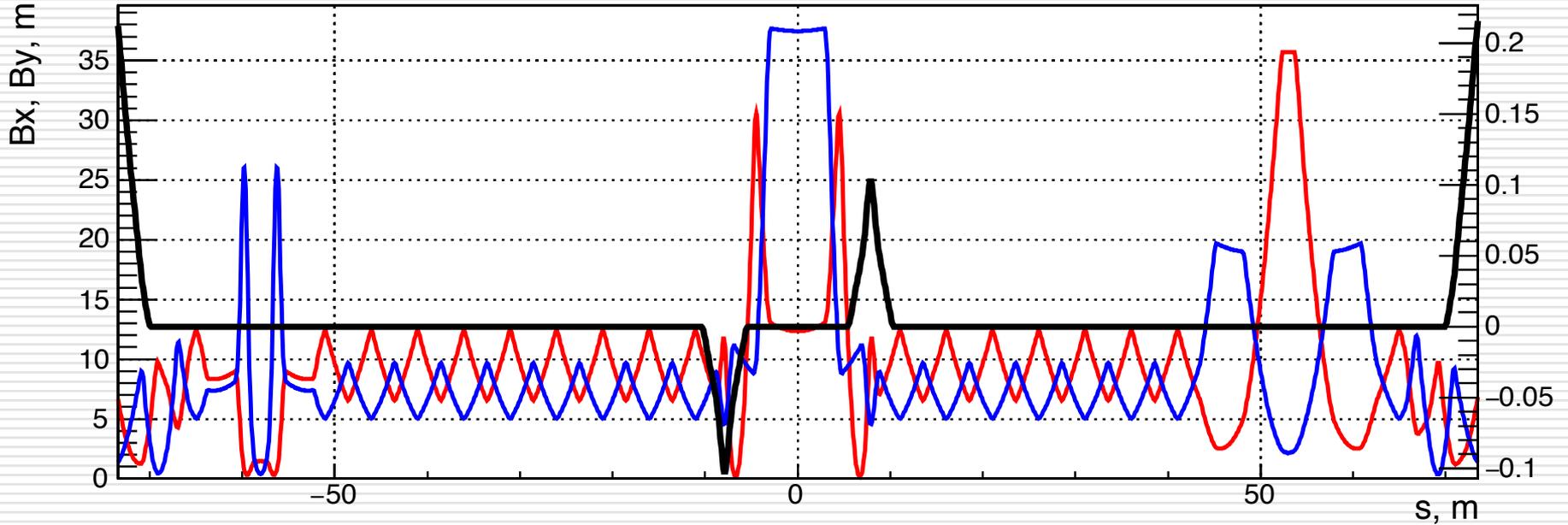
Damping
Wiggler

Siberian
Snake

Damping
Wiggler

Siberian
Snake

Технический промежуток



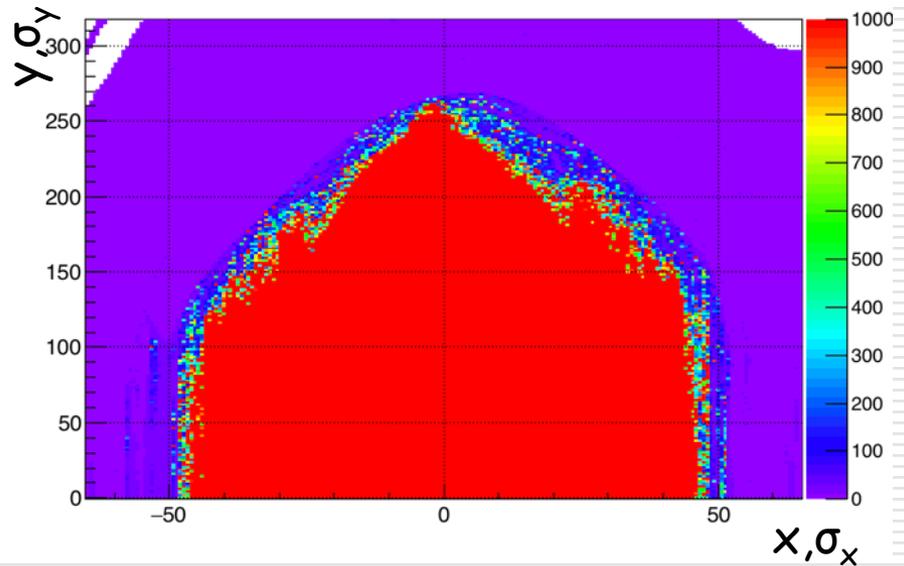
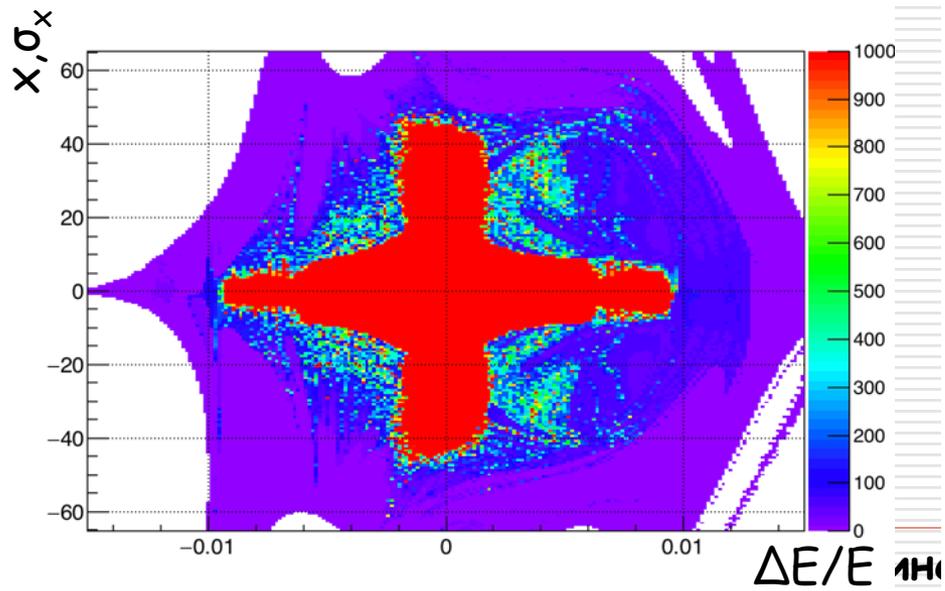
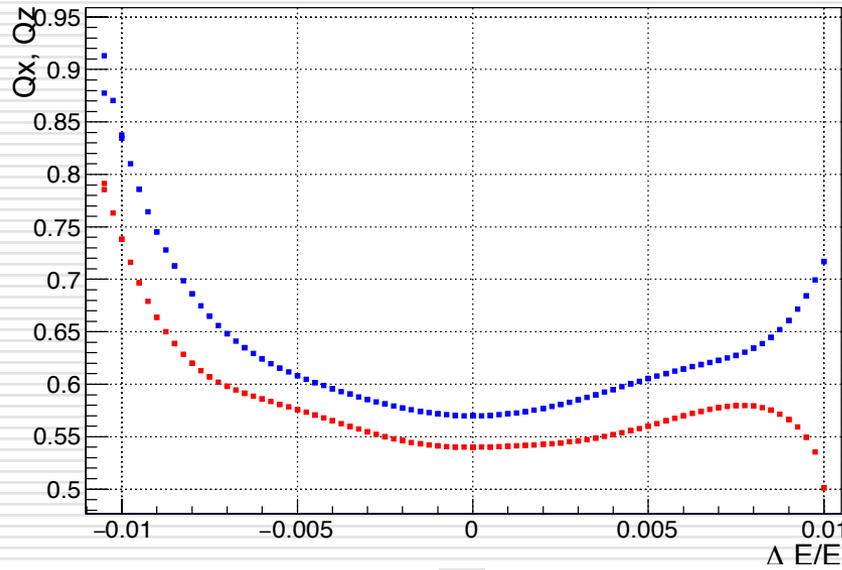
Siberian
snake

RF
cavities

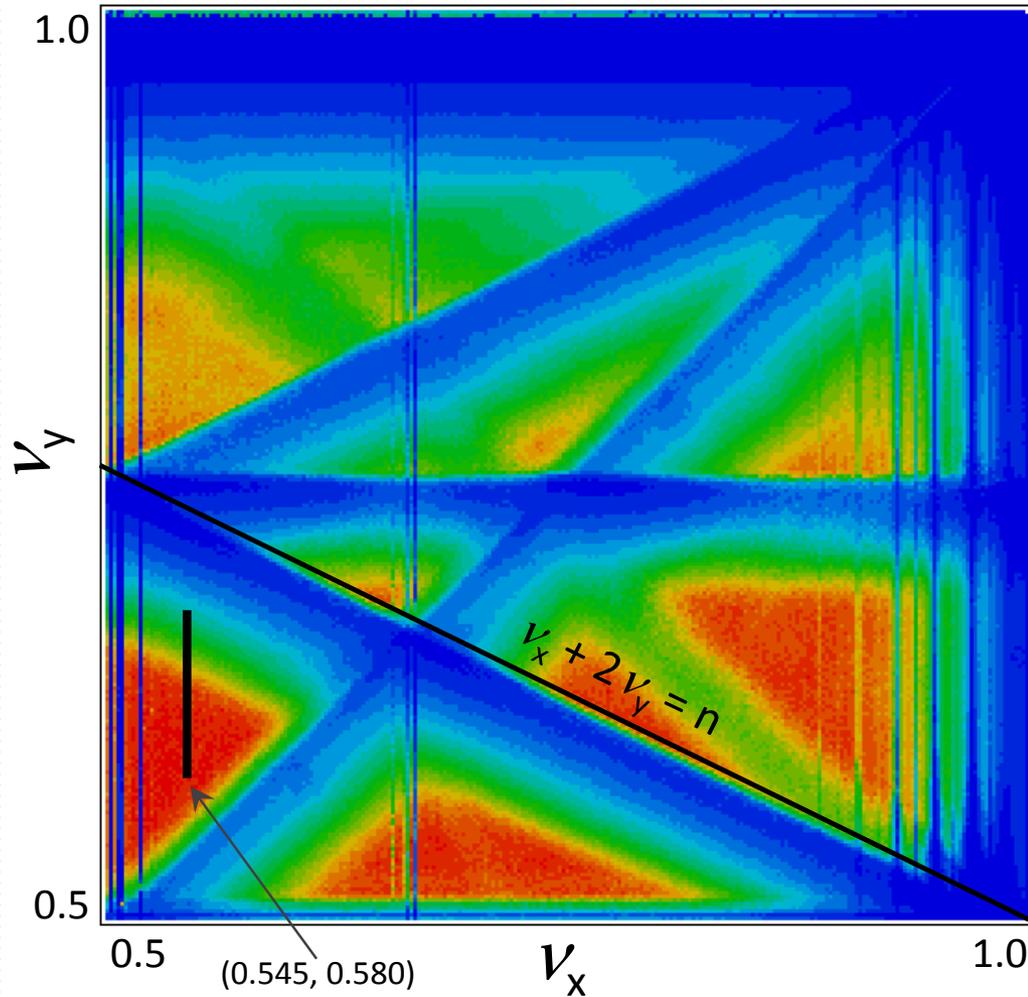
Separation
section

Injection
section

Динамическая апертура



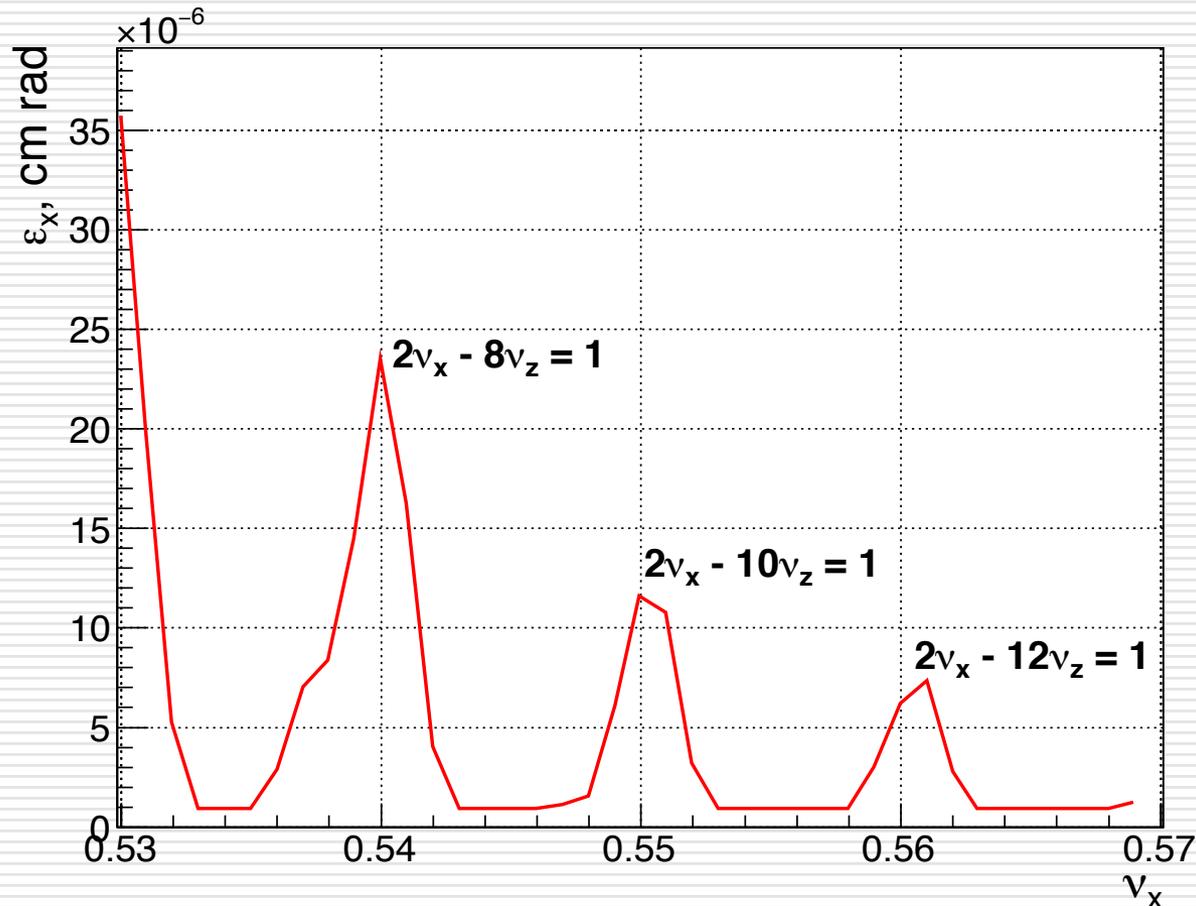
Эффекты встречи



$10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, $\xi_y \sim 0.12$, $\xi_x \sim 0.004$ @ 2 ГэВ

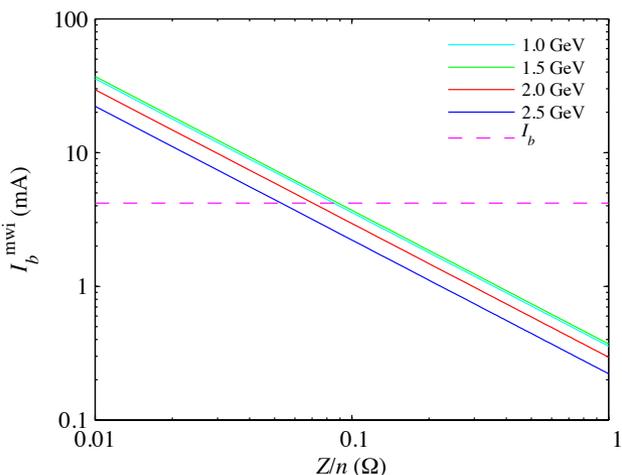
Эффекты встречи

Моделирование эффектов встречи в квази-сильно-сильном приближении — когерентная XZ неустойчивость

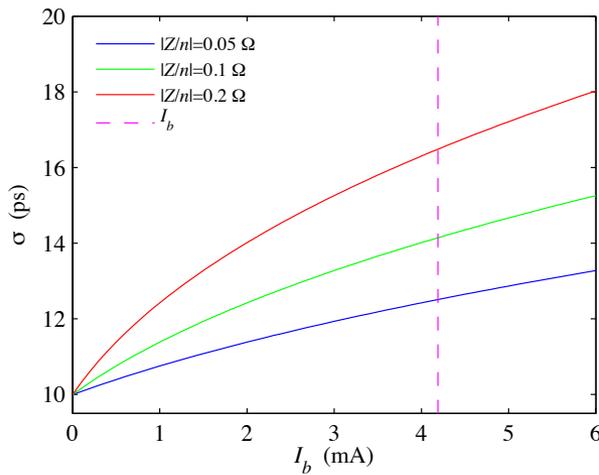


Коллективные эффекты

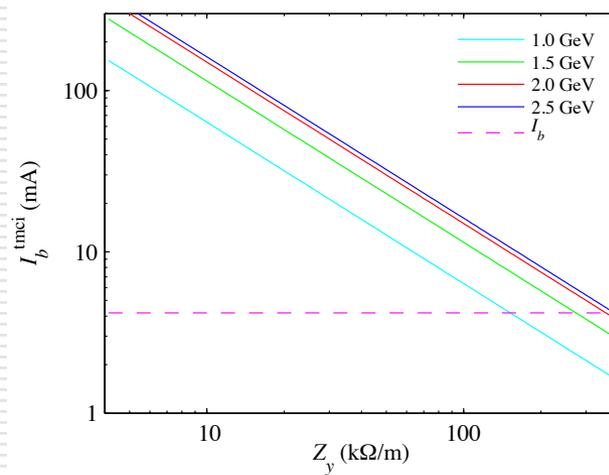
Микроволновая неустойчивость



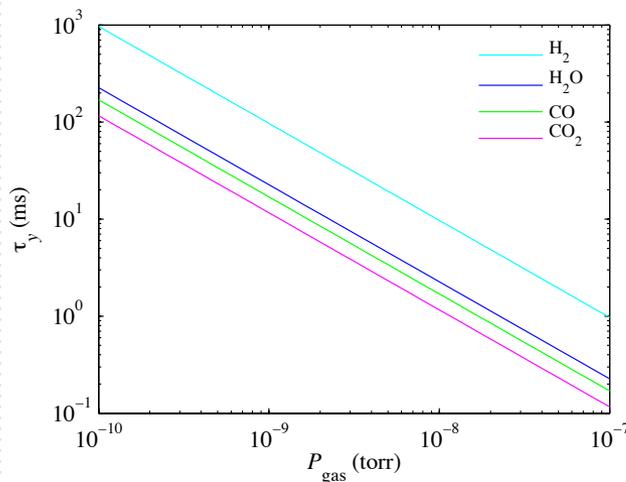
Удлинение сгустка



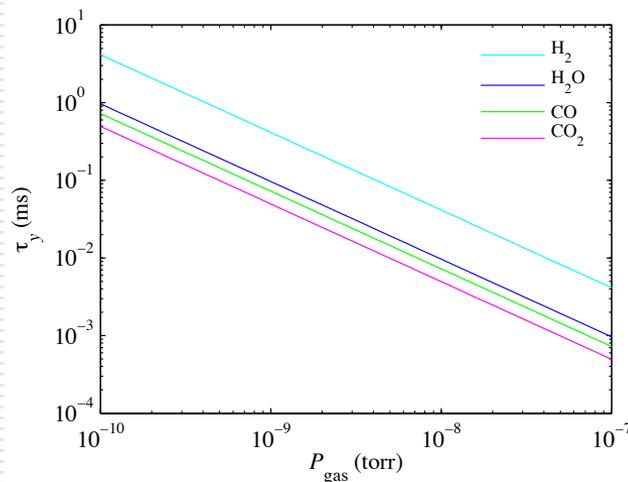
ТМС неустойчивость



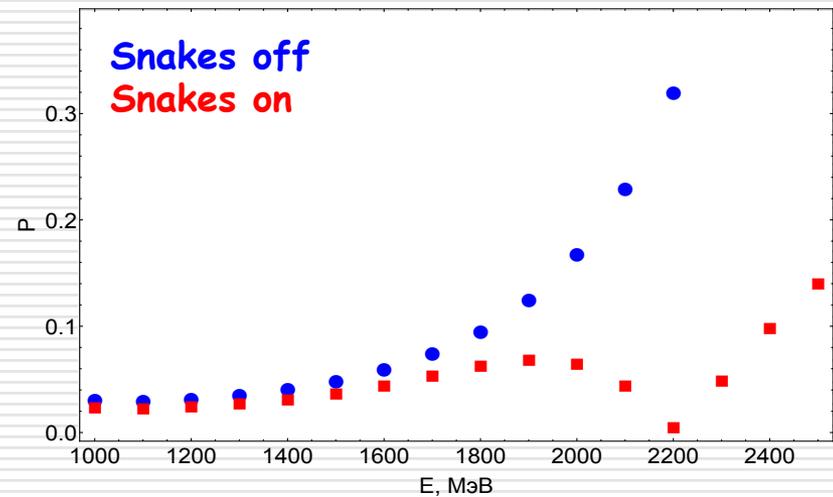
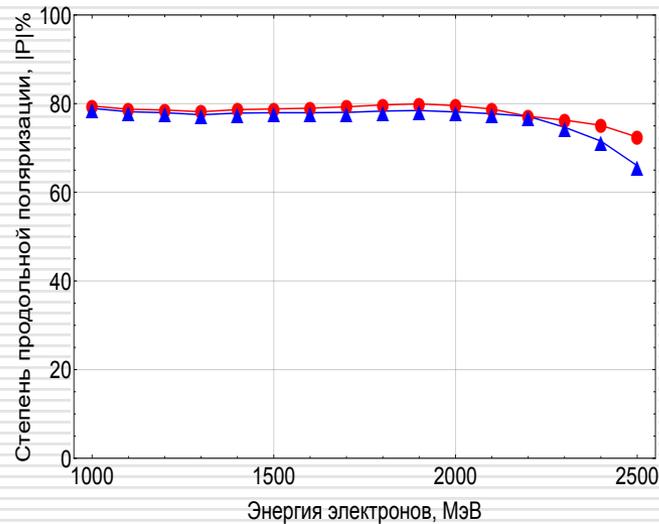
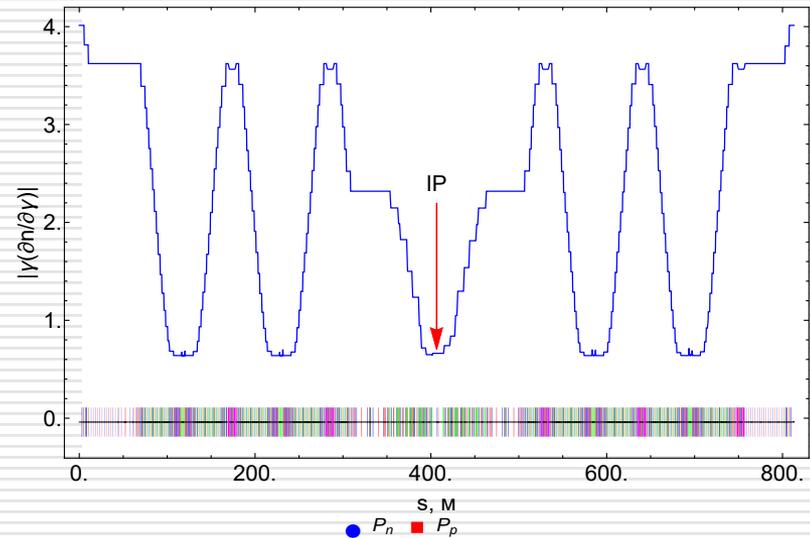
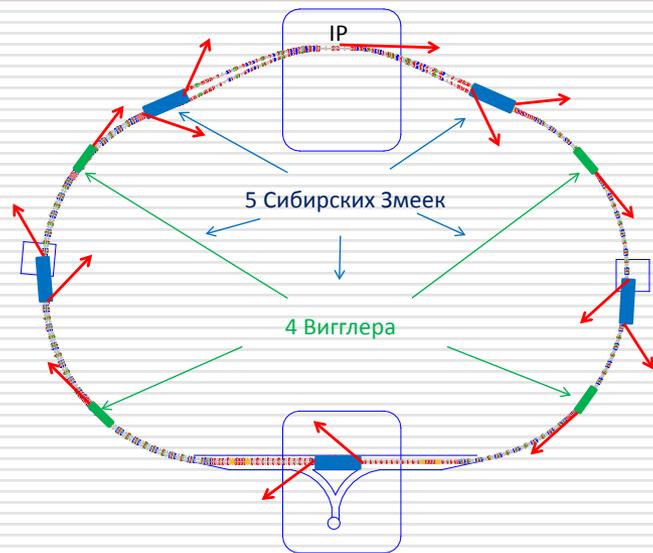
Многооборотная ионная неустойчивость



Быстрая ионная неустойчивость

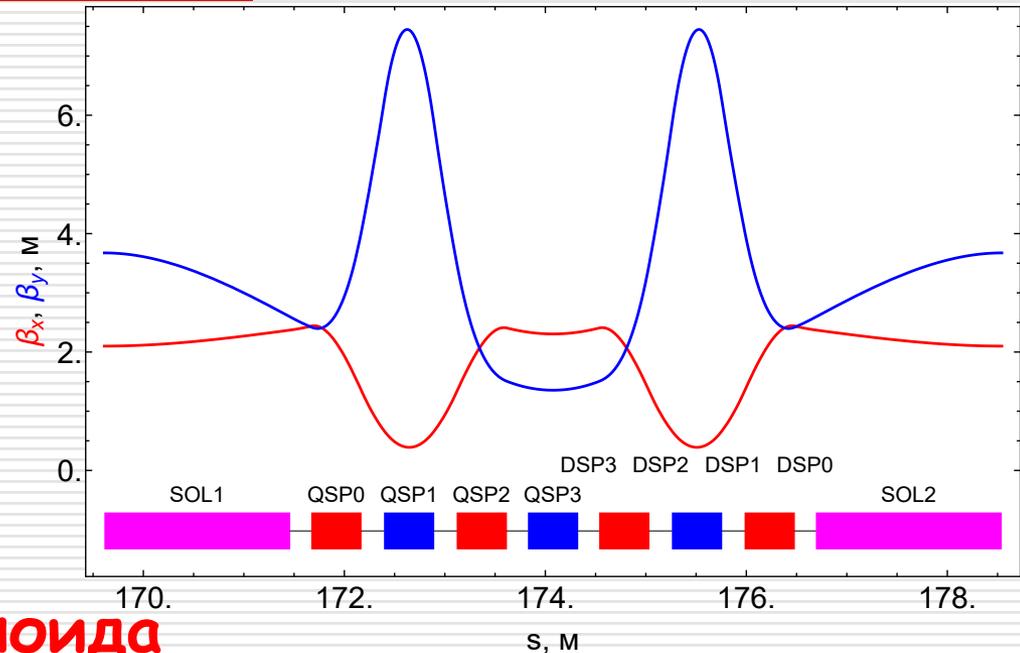


Поляризация



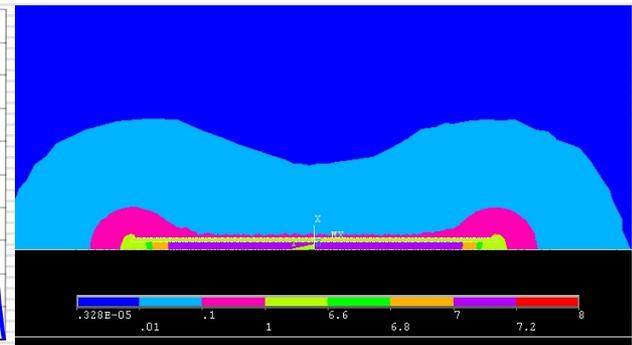
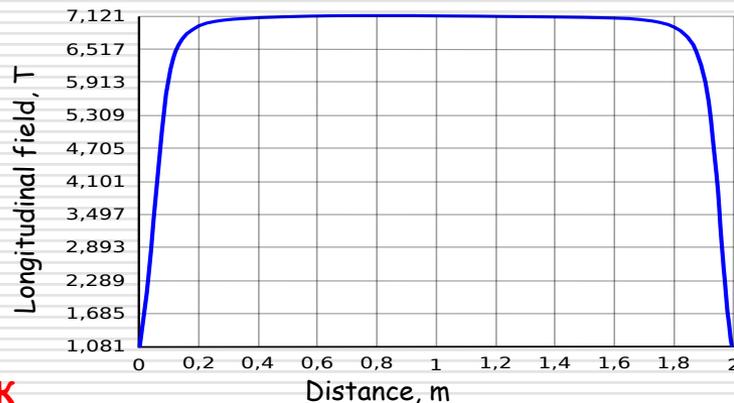
Сибирская змейка

7 квадрупольных линз
Градиент.....2.6 кГс/см
Длина.....50÷65 см
Апертура..... \varnothing 76 мм



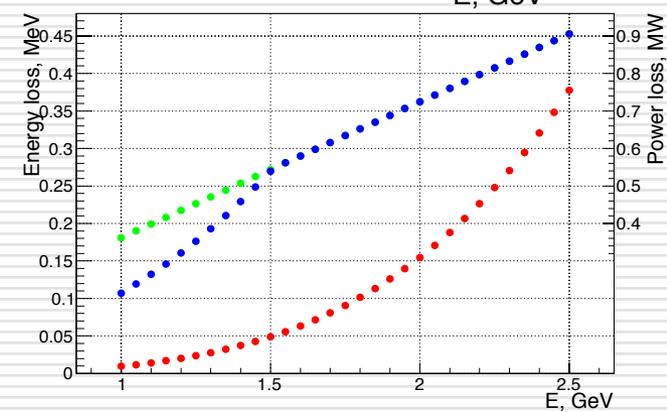
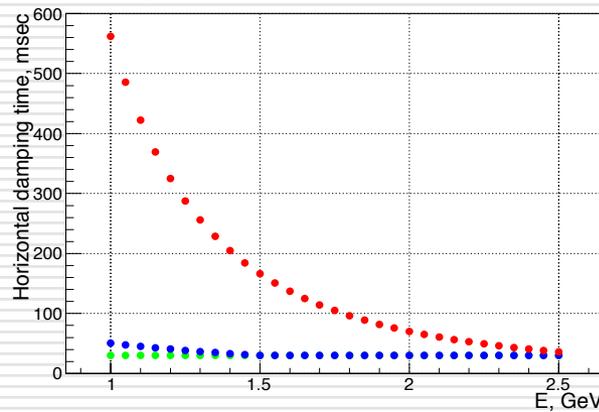
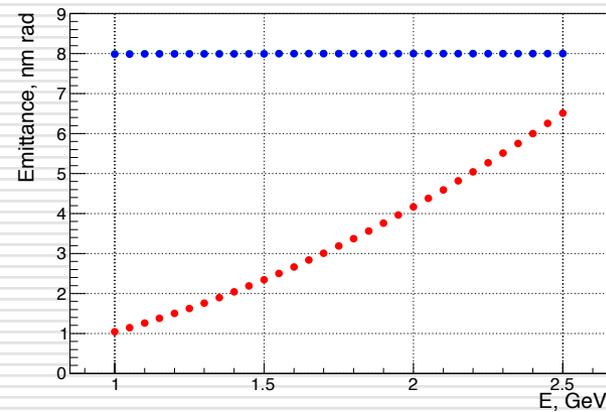
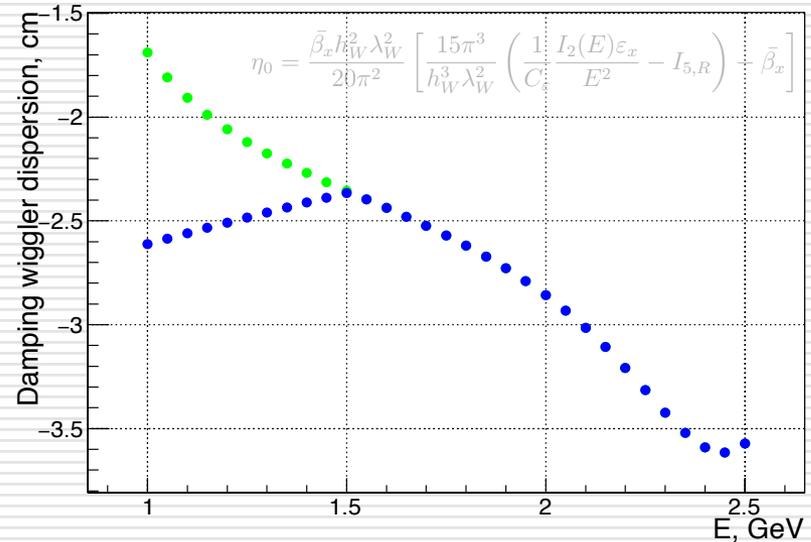
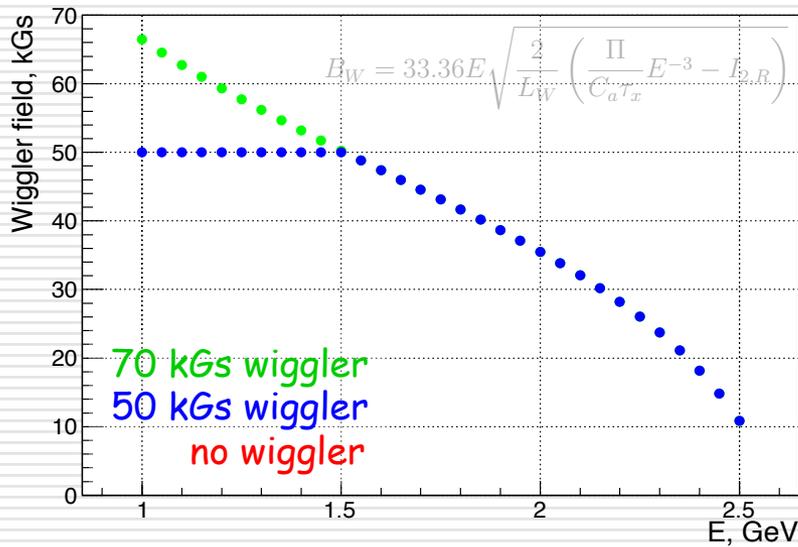
2 сверхпроводящих соленоида

Поле.....71 кГс
Длина.....1.85 м
Апертура... \varnothing 76 мм
Ток.....220
Витки.....50000
Провод.....NbTi
Энергия.....390 кДж

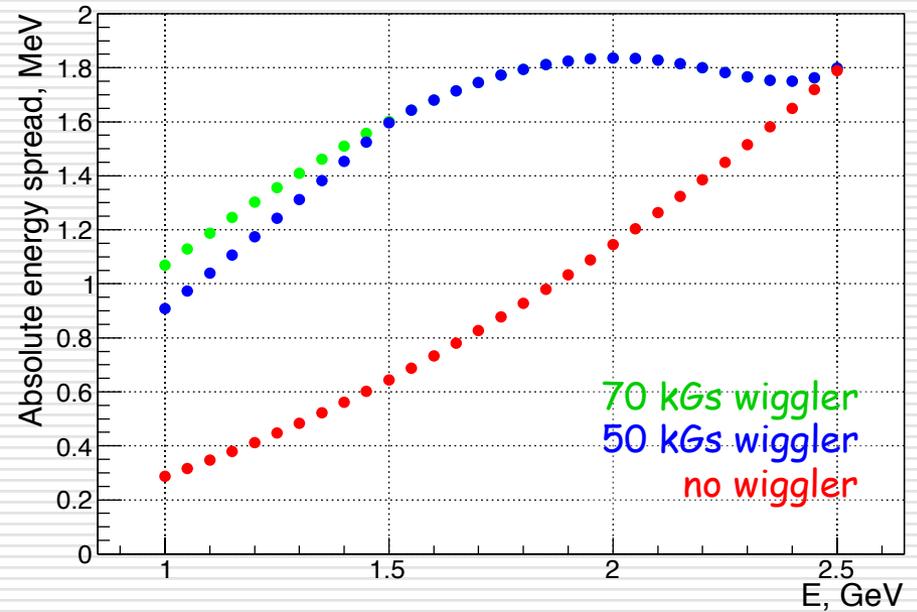
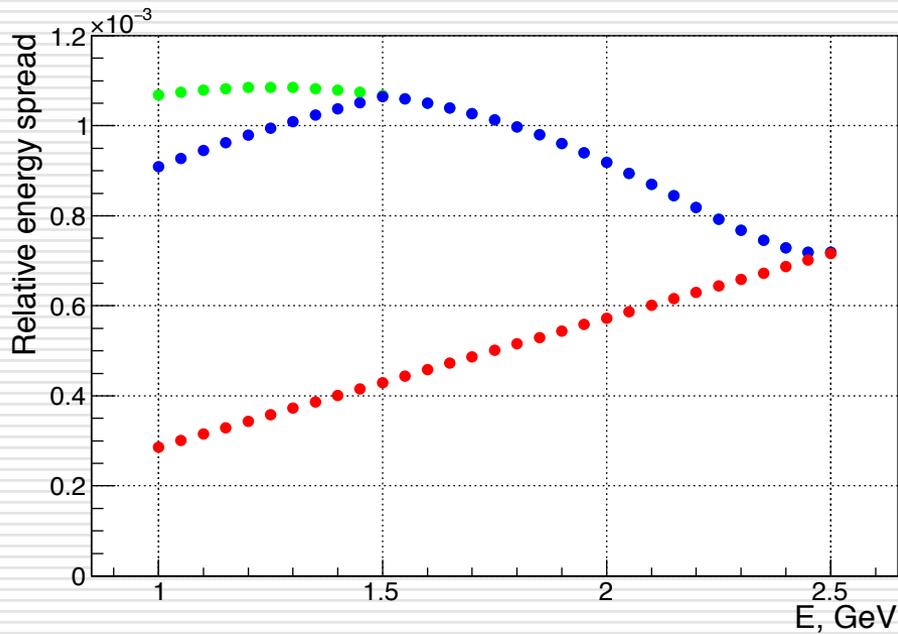


Вигглер-затухатель

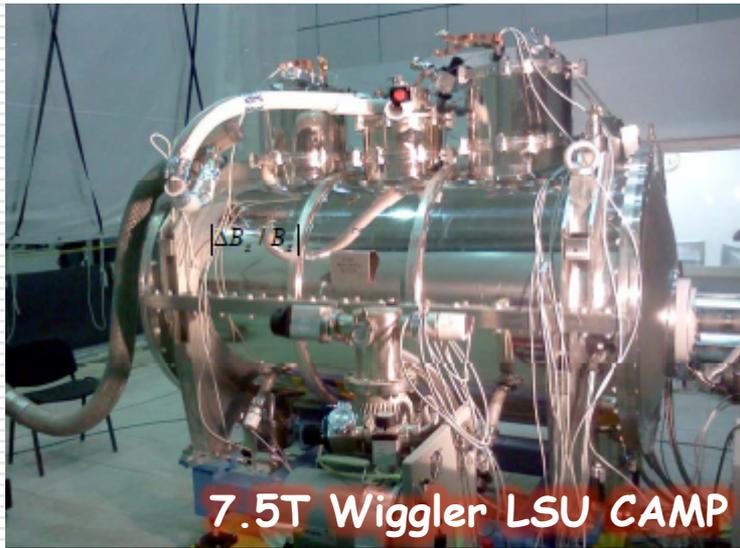
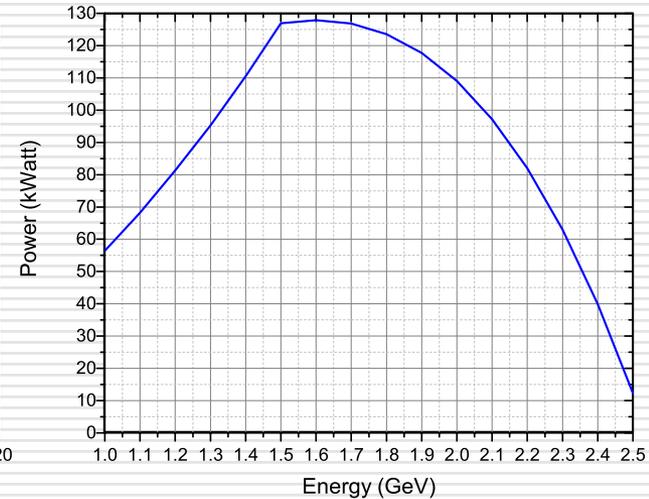
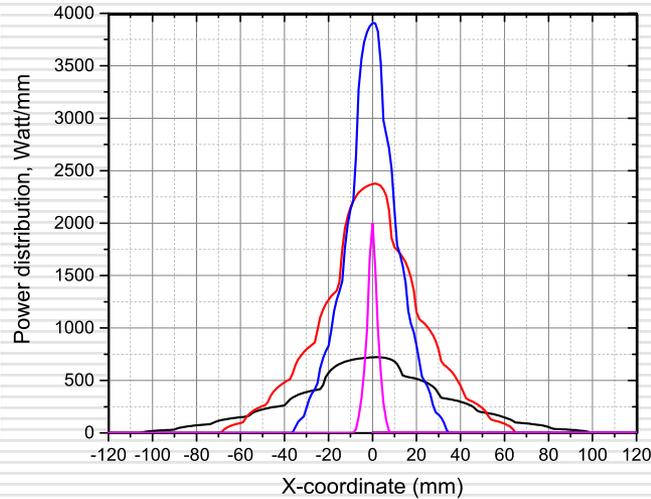
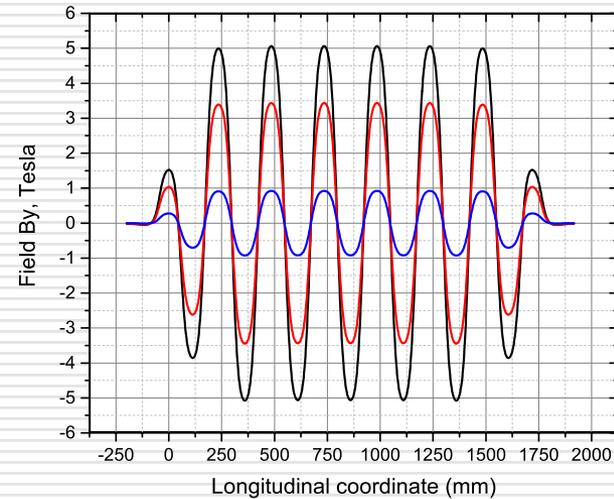
4 сверхпроводящих вигглера-затухателя позволяют контролировать эмиттанс пучка (~8 нм·рад) и время затухания (~30 мс) в диапазоне 1.5÷2.5 ГэВ



Энергетический разброс



Сверхпроводящий вигглер



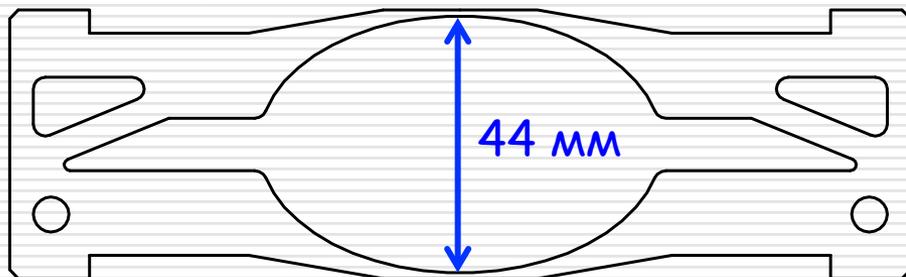
Поле.....51 кГс
Период.....25 см
Длина.....1.875 м
Зазор.....56 мм
Ток.....250/300 А
Провод.....NbTi

Вакуумная система

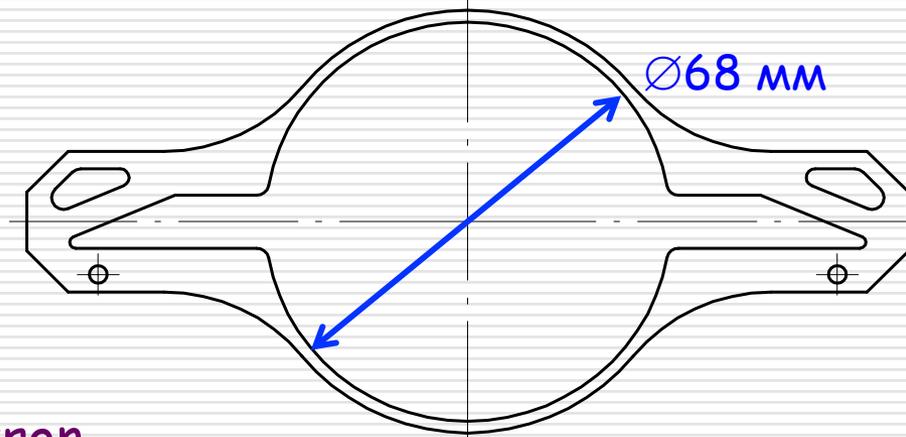
- ✓ Высокий вакуум (1 нТорр)
- ✓ Низко-импедансная камера
- ✓ Большая мощность излучения
- ✓ Подавление фото-электронов
- ✓ Теплая вакуумная камера в сверхпроводящих вигглерах и соленоидах

В вакуумную систему Super-ст и μtron закладывается единый подход

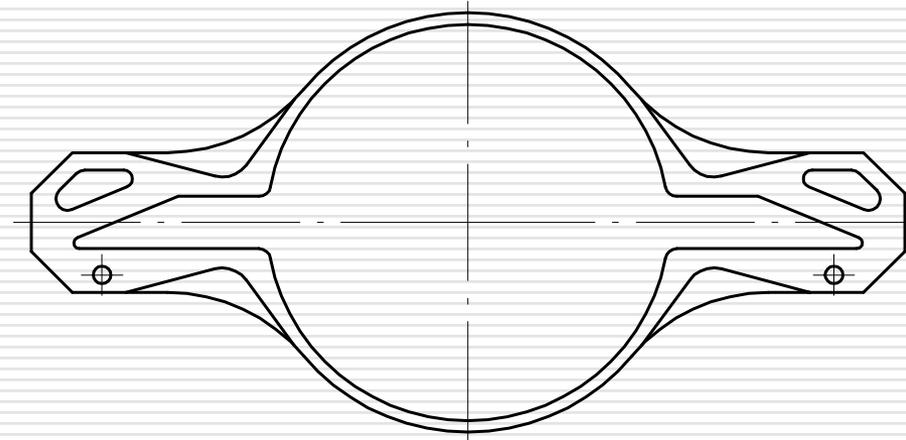
Вакуумная камера в вигглере



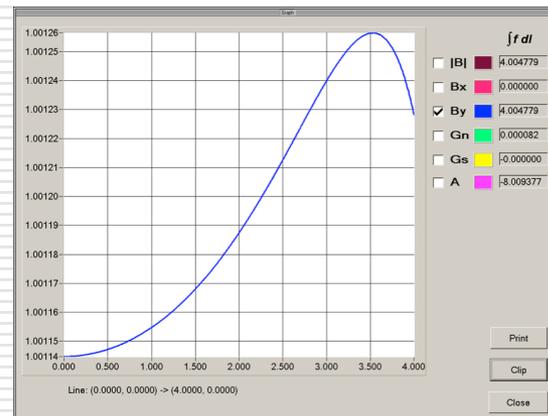
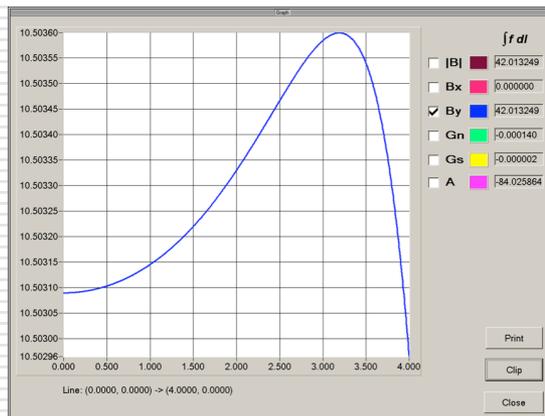
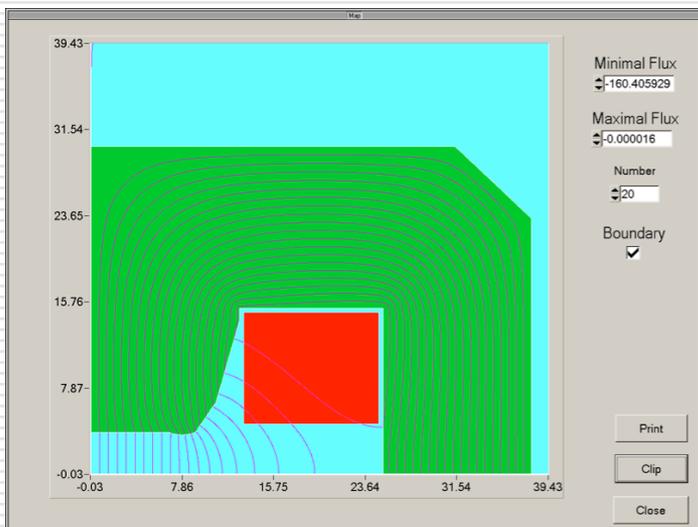
Регулярная вакуумная камера



Вакуумная камера в секступолях

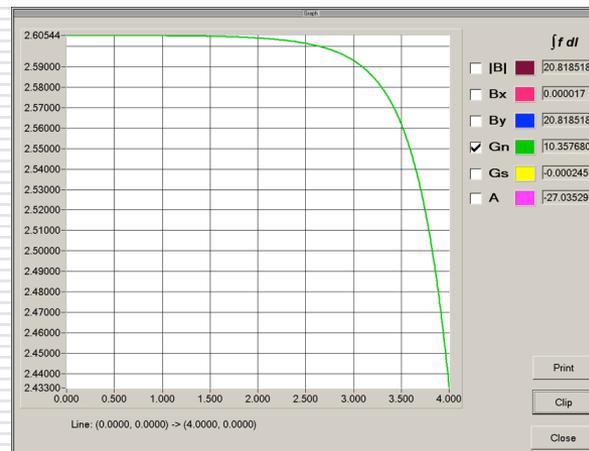
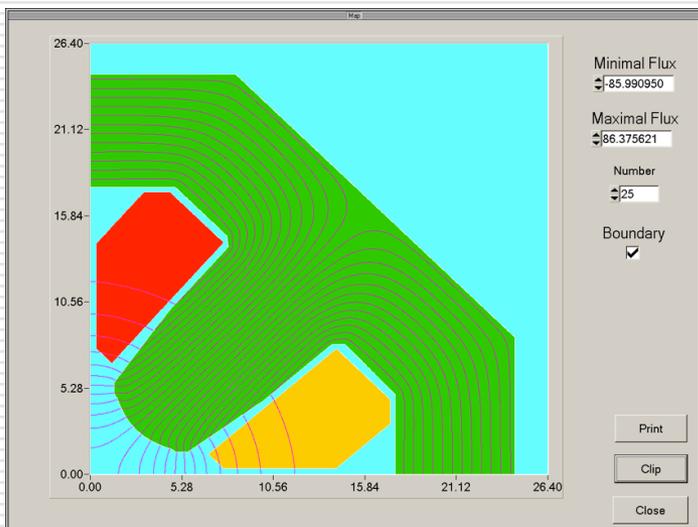


Магнитная система: диполи



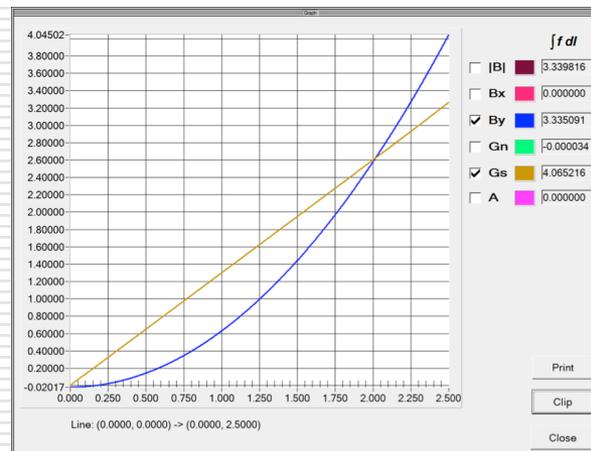
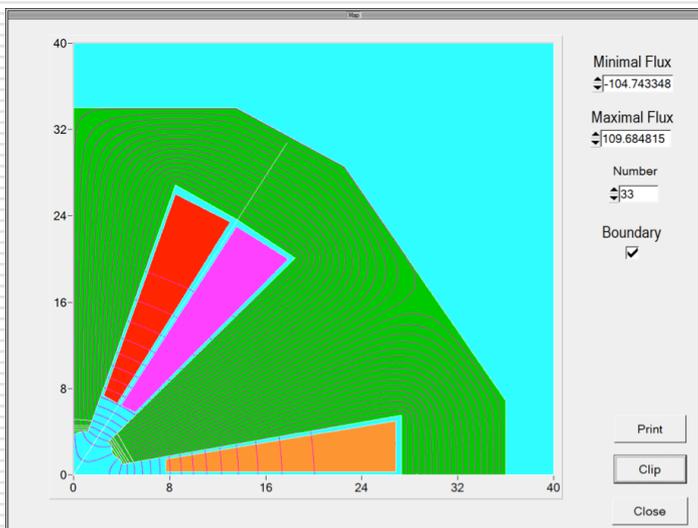
	Кол-во	L, см	B, кГс	I, А	U, В	P, кВт	Габариты, м	Вес, Т
1	160	34	10.5	1150	6.8	7.8	0.6x0.76x0.62	1.2
2	18	100	6.0	1300	6.8	8.8	0.6x0.76x1.28	3.0

Магнитная система: квадруполь



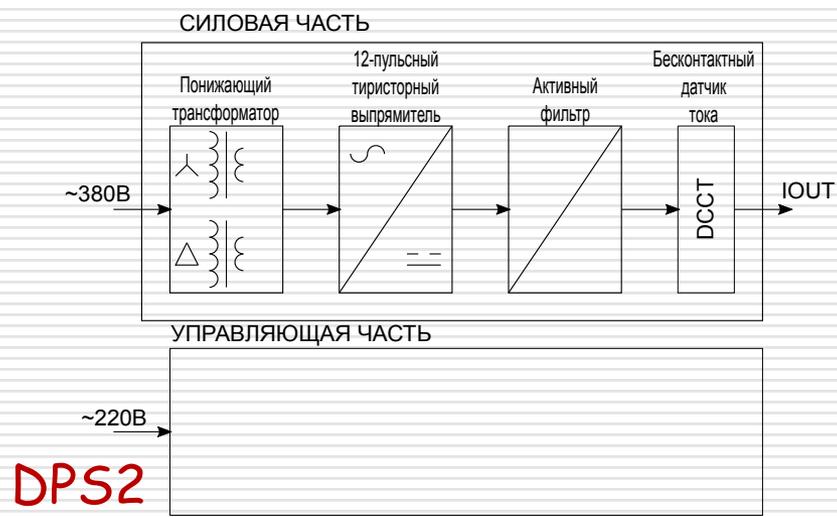
	Кол-во	L, см	B_1 , кГс/см	I, А	U, В	P, кВт	Габариты, м	Вес, Т
1	41	25	1.2	113	12	1.4	0.7x0.7x0.40	0.32
2	130	30	2.2	120	27	3.2	0.7x0.7x0.50	0.43
3	60	40	2.6	113	48	6.4	0.7x0.7x0.60	0.61
4	87	50	2.6	133	60	8.0	0.7x0.7x0.70	0.76
5	80	65	2.6	133	77	10.2	0.7x0.7x0.85	0.97

Магнитная система: секступоли



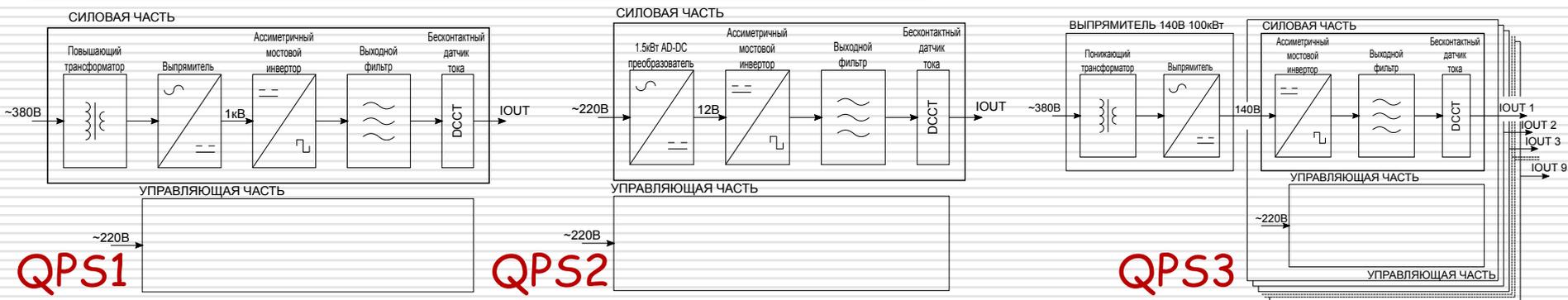
	Кол-во	L, см	B_1 , кГс/см ²	I, А	U, В	P, кВт	Габариты, м	Вес, Т
1	14	20	1.3	108	40	4.3	0.7x0.76x0.33	0.64
2	280	30	1.3	108	48	5.2	0.7x0.76x0.43	0.90
3	14	40	1.3	108	57	6.2	0.7x0.76x0.53	1.17

Система питания: диполи



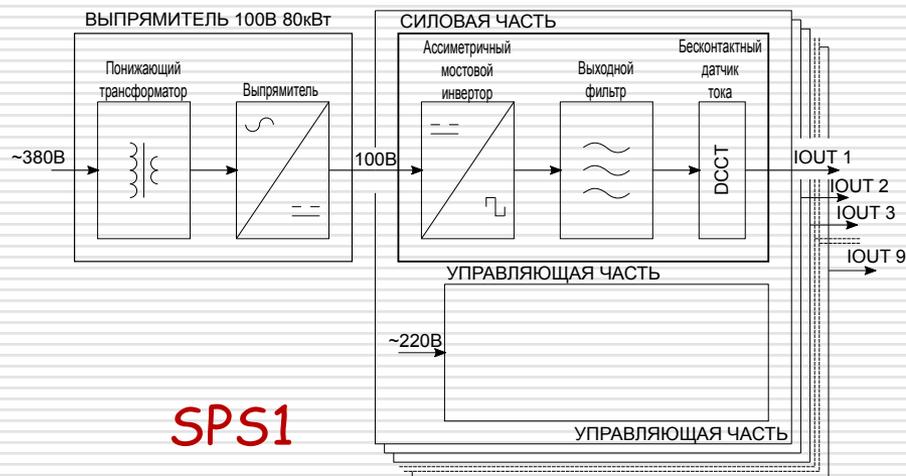
	Тип	Кол-во ИП	Кол-во М	I, А	U, В	P, кВт	$\Delta I/I$
1	DPS1	1	144	1060	900	954	1 ppm
2	DPS2	4	4	1140	27	31	1 ppm
3	DPS3	18	1	1300	7	9	1 ppm

Система питания: квадруполи



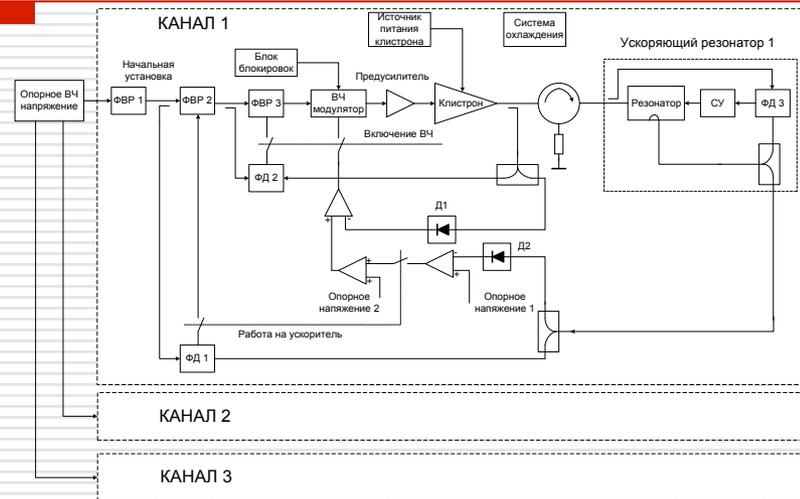
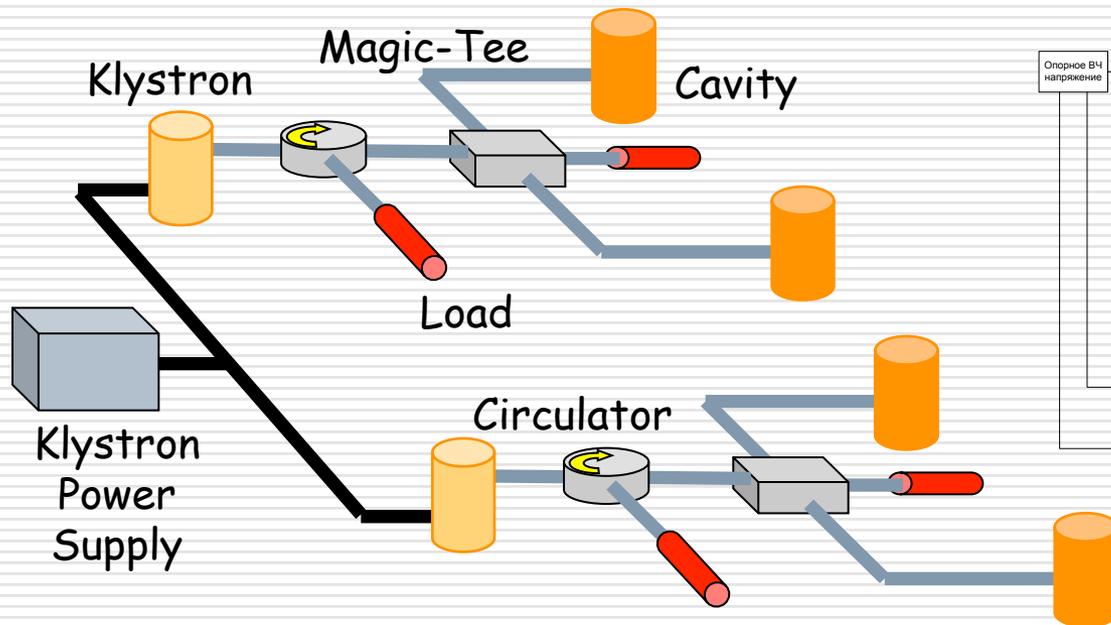
	Тип	Кол-во ИП	Кол-во М	I, А	U, В	P, кВт	ΔI/I
1	QPS2	1	18	113	216	24	100 ppm
2	QPS2	1	15	113	180	20	100 ppm
3	QPS3	4	2	113	24	3	100 ppm
4	QPS1	2	35	120	930	112	10 ppm
5	QPS1	2	30	120	800	96	10 ppm
6	QPS2	60	1	133	48	6	100 ppm
7	QPS2	97	1	133	60	8	100 ppm
8	QPS2	84	1	133	77	10	100 ppm

Система питания: секступоли

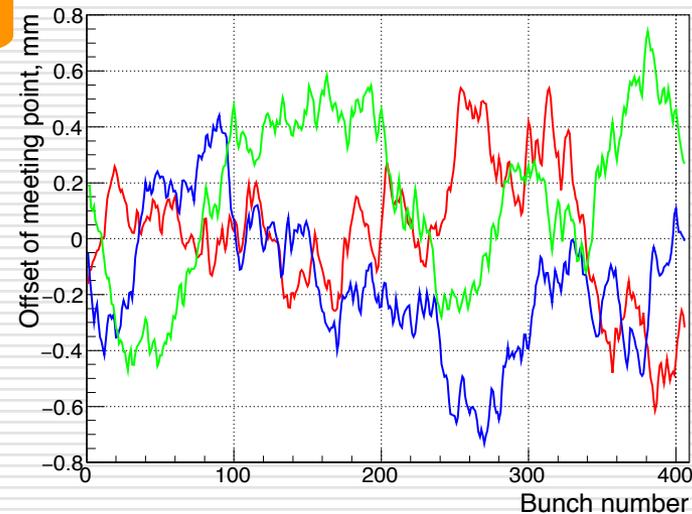


	Тип	Кол-во ИП	Кол-во М	I, А	U, В	P, кВт	$\Delta I/I$
1	SPS1	14	1	108	40	4.3	100 ppm
2	SPS1	280	1	108	48	5.2	100 ppm
3	SPS1	14	1	108	57	6.2	100 ppm

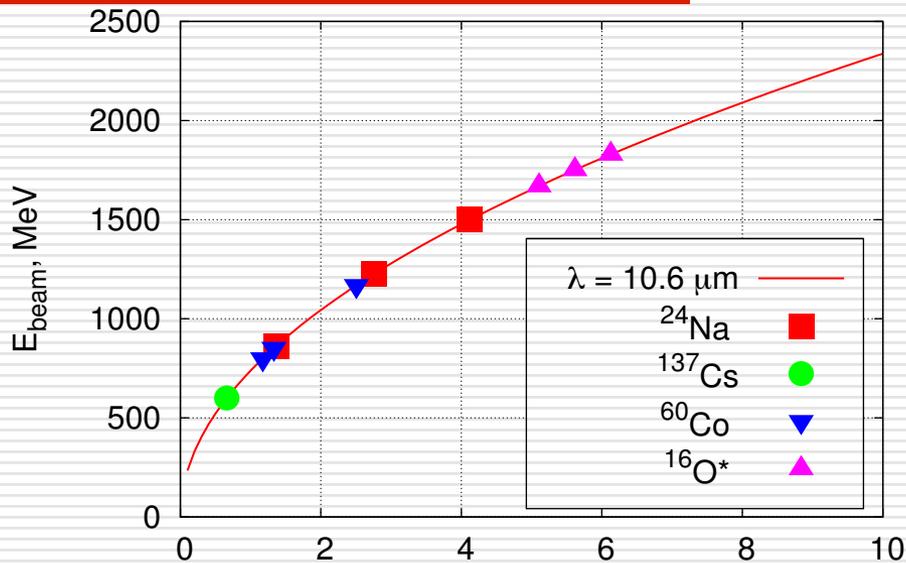
ВЧ-система



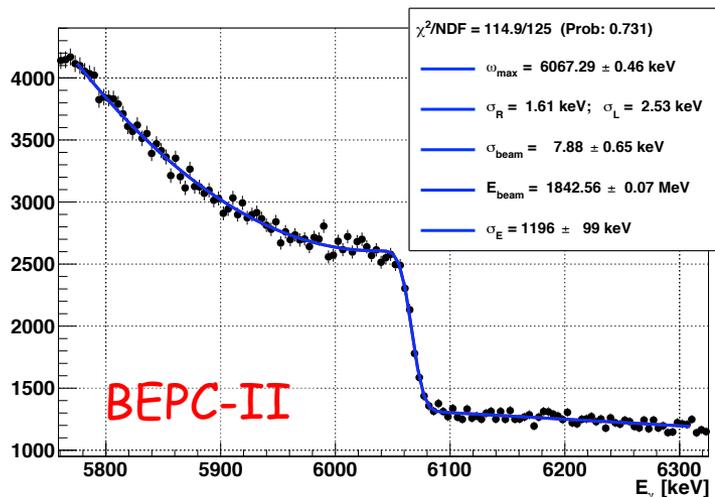
ВЧ частота.....500 мГц
 Суммарное напряжение.....1.5 МВ
 Суммарная мощность.....1 МВт
 Суммарное хар. сопротивление...350 Ом
 Кол-во резонаторов.....3÷4 шт
 Клистрон THALES TH2161B.....4x310 кВт
 Клистрон CPI VKP-7958A.....2x800 кВт



Калибровка энергии пучка

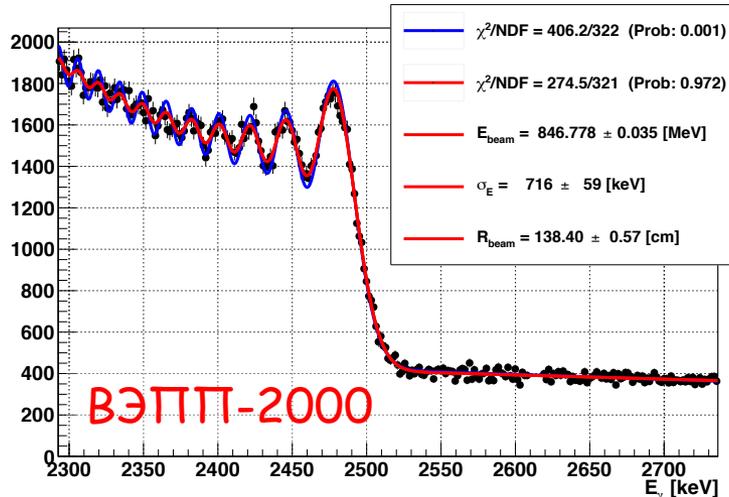


electron: 2017.05.11 [10:13:01 - 13:11:36] 2017.05.11. Live-time: 0 hours 53 min 56 s (5 files).



$\omega_{\text{max}}, \text{ MeV}$

porridge: 2017.02.01 [23:56:58 - 02:27:03] 2017.02.02. Live-time: 2 hours 2 min 30 s (5 files).



Инфраструктура



П.Пиминов, Супер Чарм Тау фабрика: Коллайдер

Заключение

- ✓ Строительный проект готов
- ✓ Предложен новый концепт инжектора
- ✓ Разработана структура основного кольца коллайдера соответствующая спроектированному тоннелю
- ✓ Выполнен предварительный дизайн основных элементов и систем
- Необходимо выполнить расчеты по нелинейной динамике (коррекция хроматизма частот и хроматизма коэффициента связи, оптимизация динамической апертуры)
- Расчеты по потерям частиц (Тушек, ОТИ) и внутрисгустковому рассеянию (IBS)
- Расчеты по ошибкам и вибрациям, коррекции орбиты
- Требуется создание ключевых прототипов: финальный фокус, источники электронов/позитронов, проч.
- Дальнейшая проработка ВЧ-системы
- ★ μ tron — прототип Супер Чарм Тау фабрики

Спасибо за внимание
