



ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (ГНЦ ИФВЭ)
Протвино, Московская обл., 142281, Россия

Ускорительный комплекс ГНЦ ИФВЭ: статус и планы модернизации

С.В. Иванов



Содержание

- Структура ускорительного комплекса
- Эксплуатация: сеансы
- Протонный пучок:
 - Системы вывода
 - Цепи ОС по пучку
 - ВЧ гимнастика
- Легкие ионы (d, C, \dots):
 - Ускорители И100 – У1.5
 - Большой синхротрон У70
- Заключение

Структура ускорительного комплекса У70

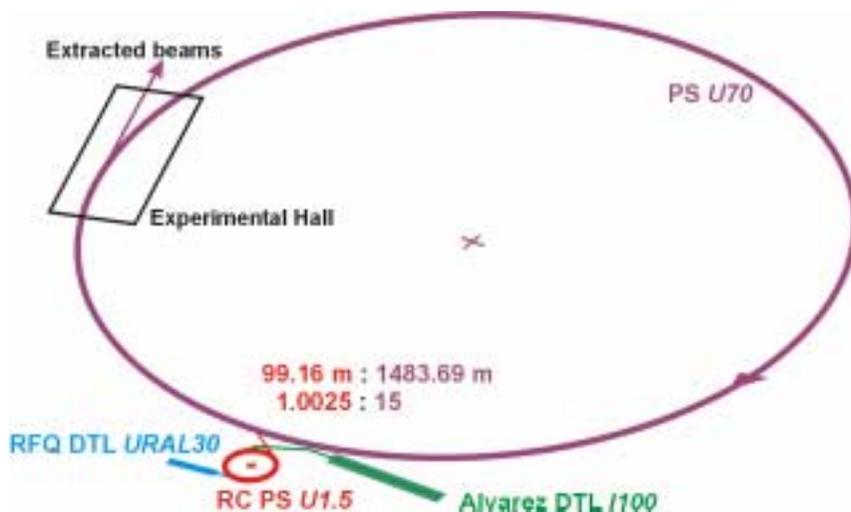
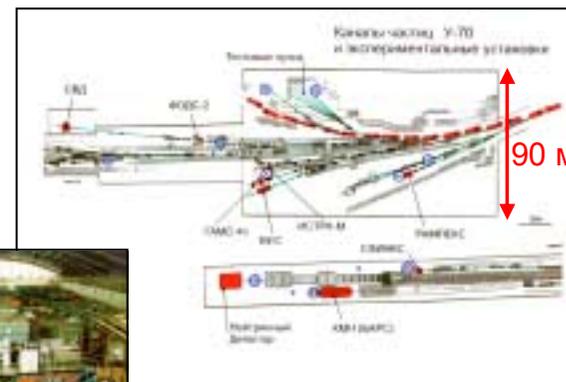


гл. ВХОД



здание ОТФ

Каналы и эксп. установки



4 установки:

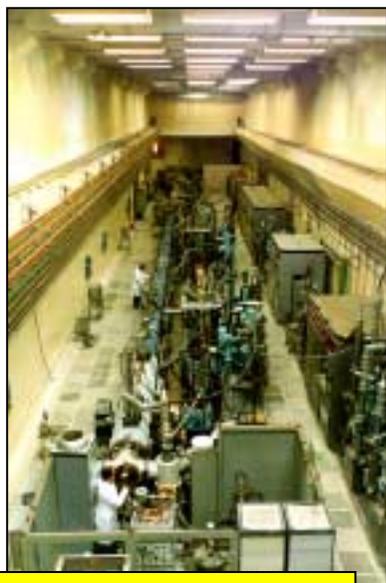
- 2 p - линейных ускорителя
- 2 p - синхротрона

14 октября 2007
40 лет запуска У70

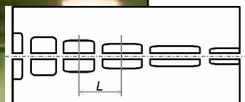


Вчера, 22 декабря 2008
23 лет запуска У1.5

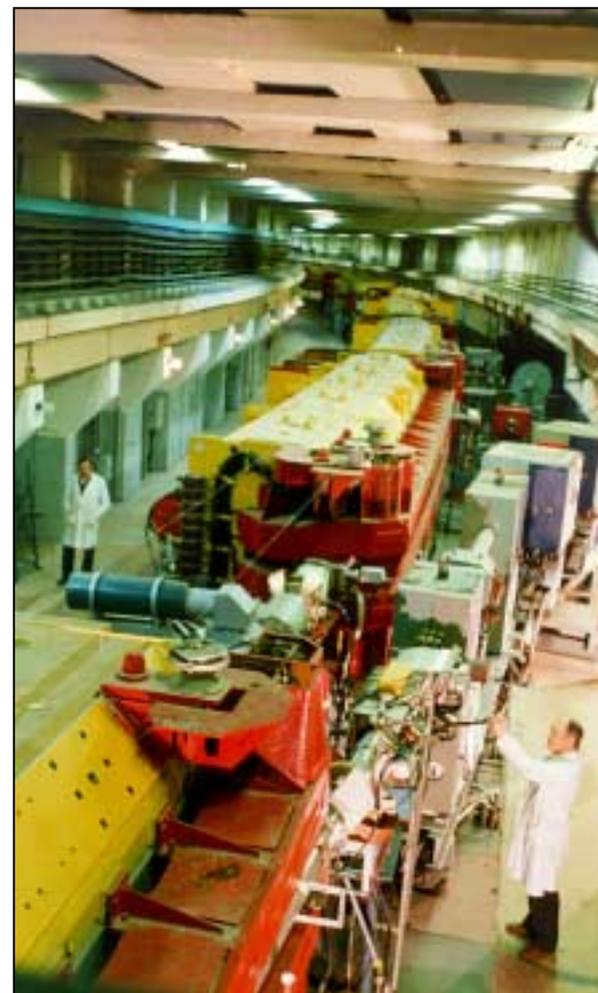
Фото-галерея ускорителей



ЛУ (ВЧКФ) УРАЛ30



ЛУ (Альварец) И100



Основной синхротрон У70

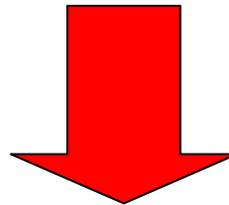


Быстрый бустер У1.5

Направления деятельности

3 цели:

- Надежность работы на потребителя в сеансах (ППР, “простои и пропуски”)
- Улучшение качества p -пучка (меньшие ε , более высокая N , до $3\text{-}4 \cdot 10^{13}$ протонов в цикле)
- Ускорение легких ионов, $q/A = 0.4\text{--}0.5$ (d, C, \dots)

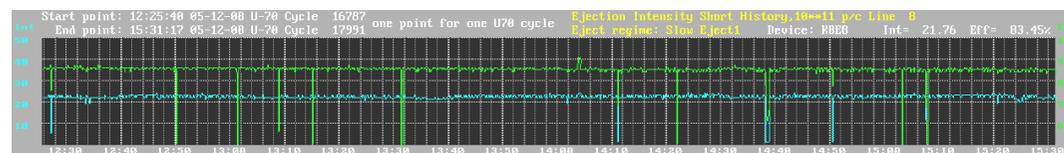
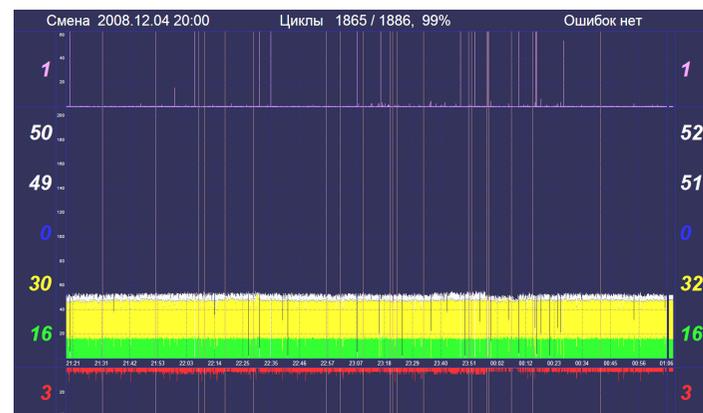
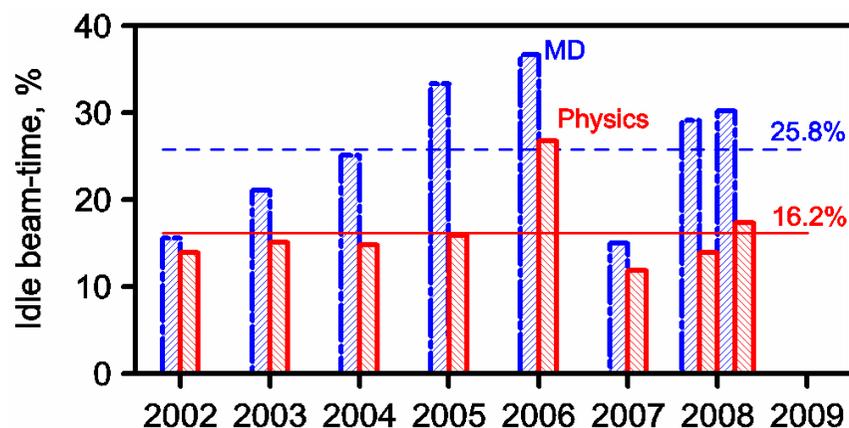


Превращение комплекса У70 в универсальный адронный ускоритель (накопитель) для фундаментальных и прикладных исследований на выведенных пучках

Эксплуатация: сеансы работы

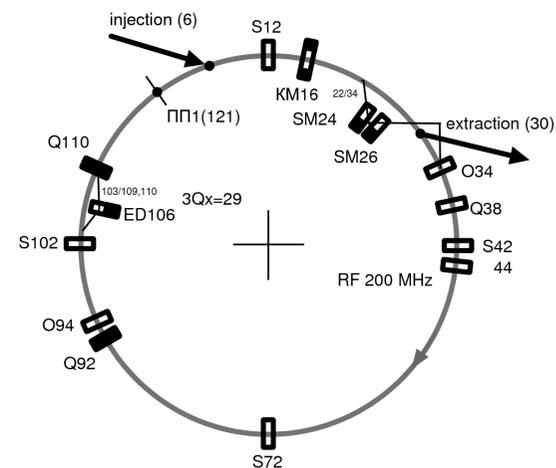
Статистика:

- 1 или 2 сеанса в год
- Длительность сеанса 1000–1500 час
- Одна, 1-я, неделя – работы (НИР) по собственной программе
- [Работы по программе ускорителя (1-3 суток) в середине/конце сеанса]
- 50 ГэВ (–20% в суммарном энергопотреблении по сравнению с 70 ГэВ)
- Доступность пучка на времени экспериментальной программы 83–84%

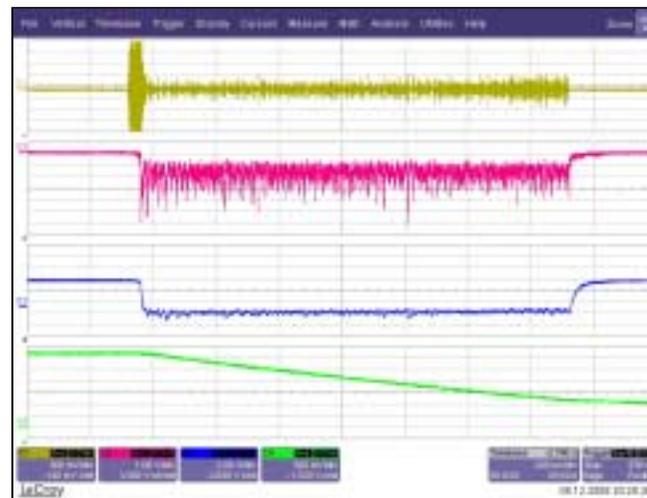
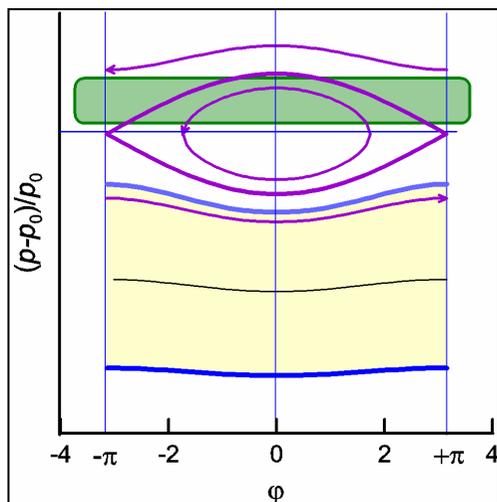


Системы вывода (1)

- **Быстрый однооборотный**, 1–29 p -сгустков, до $1.1\text{--}1.2 \cdot 10^{13}$ p / цикл, эффективность около 90%
- **Медленный резонансный**, до $5 \cdot 10^{11}\text{--}1 \cdot 10^{13}$ p / сброс, длительность до 2–3.5 с при 50 ГэВ
 - Обычный, наведение магнитной оптикой, линза Q38
 - Стохастический, наведение ВЧ шумом на 200 МГц, с 2006 г.
- Вторичные частицы с **внутренних мишеней**
- Дефлекторы из **изогнутых кристаллов (Si)**, $1 \cdot 10^6\text{--}1 \cdot 10^{12}$ p / импульс, эффективность до 85%

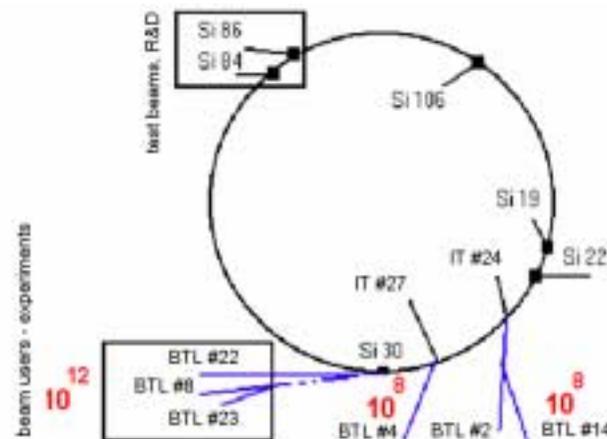
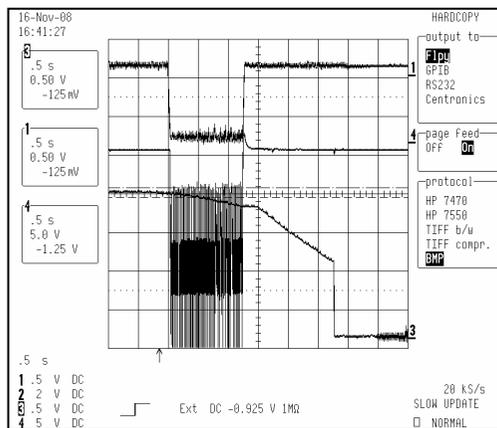
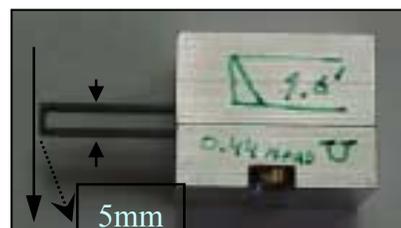
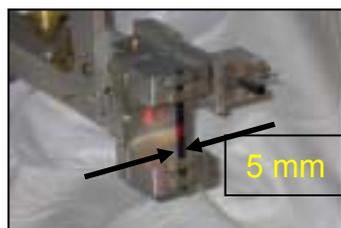


Стохастический медленный вывод



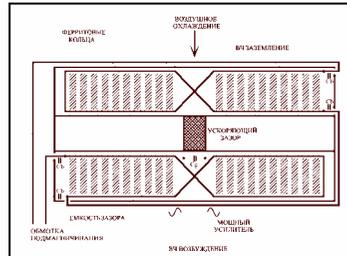
Системы вывода (2)

Дефлекторы на основе изогнутых монокристаллов



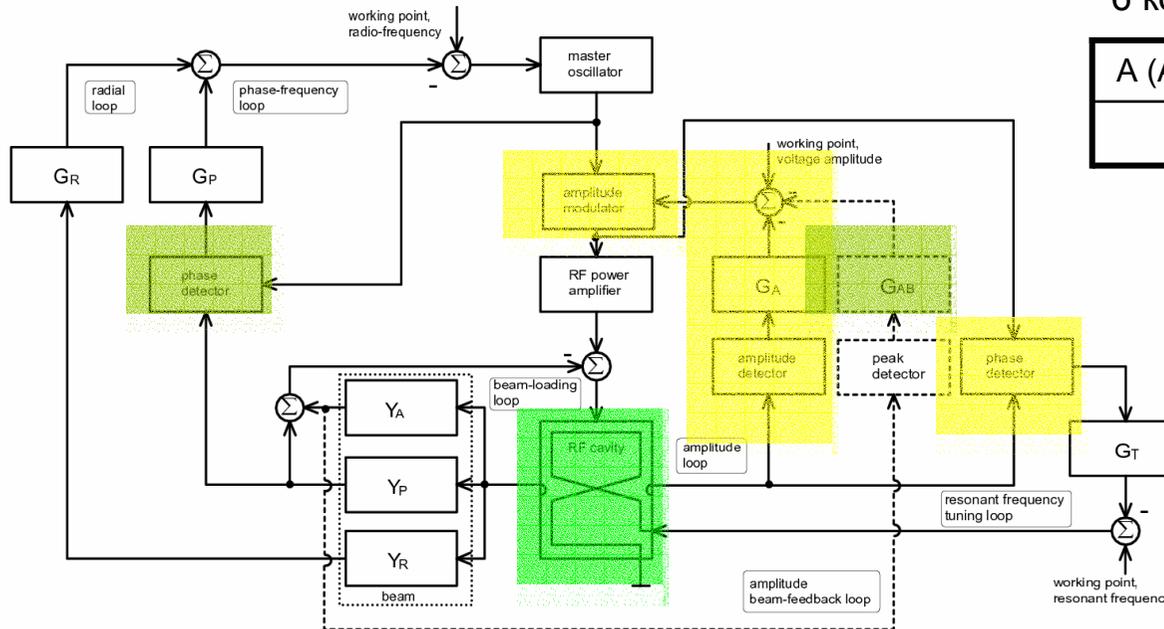
Продольные цепи ОС

Ускоряющая система ГРАФИТ, 40 1-зазорных резонаторов с ферритовым заполнением, радиочастота 5.52–6.06 МГц, до 10 кВ/зазор



6 контуров ОС:

A (AVC)	T (AFC)	BL	R	P	AB
× 40			× 1		



Качество пучка, продольное

DC CT

PU

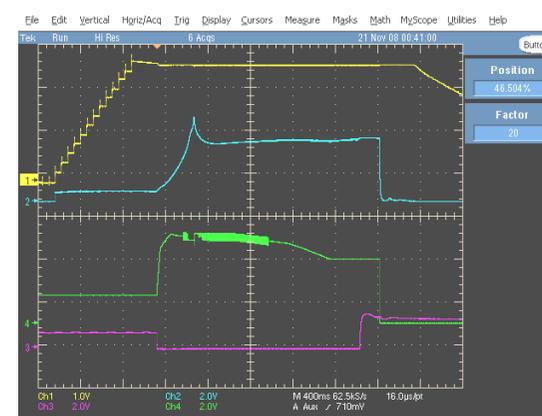
V_{RF}

peak D



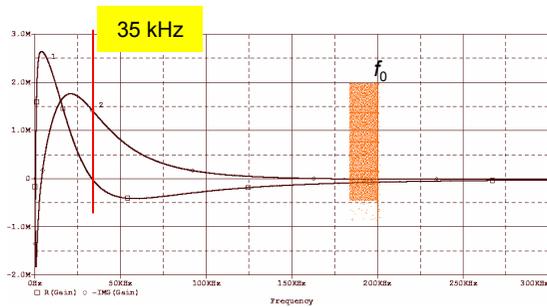
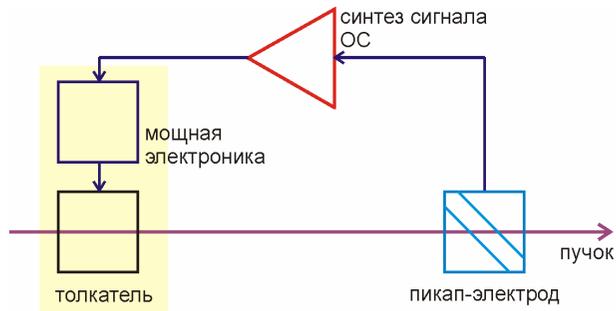
@ 50 ГэВ

	≤ 2006	2007–8
Длина сгустка (FW@0.9)	36 нс	12–15 нс
Разброс по импульсам $\Delta p/p$	$\pm 1 \cdot 10^{-3}$	$\pm 4-5 \cdot 10^{-4}$



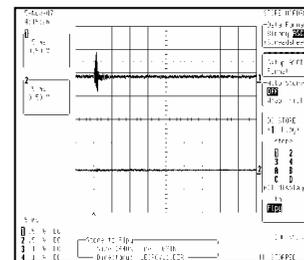
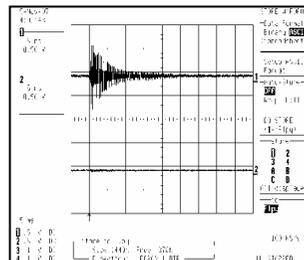
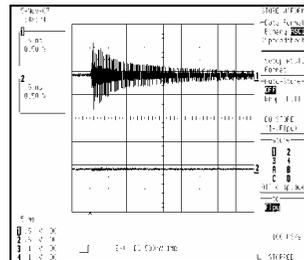
Поперечные цепи ОС (1)

ЭСТ @ ПП2	0 – 0.2 МГц	±35.0 кВ	РУ @ ПП2 (+ @ПП116)
-----------	-------------	----------	---------------------

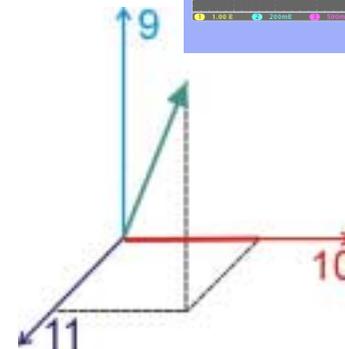
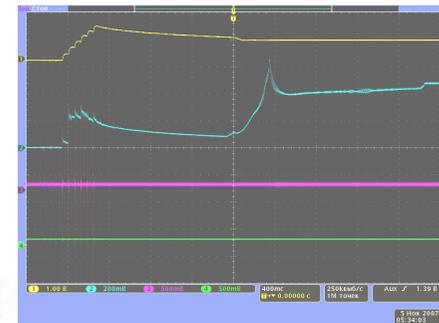
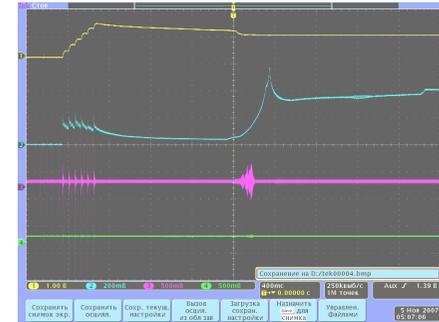


H: 14.7–72.3 кГц, ±45°

V: 29.4–43.2 кГц

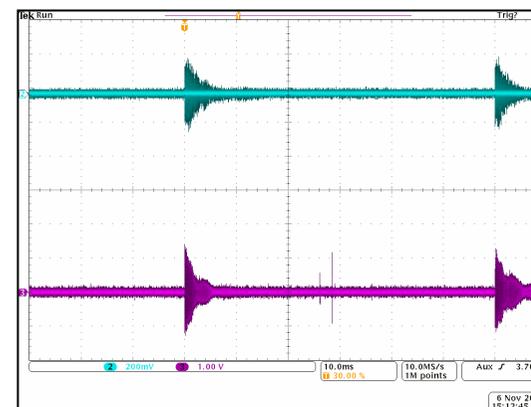
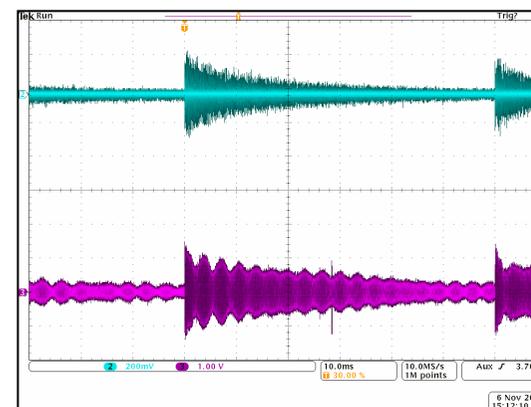
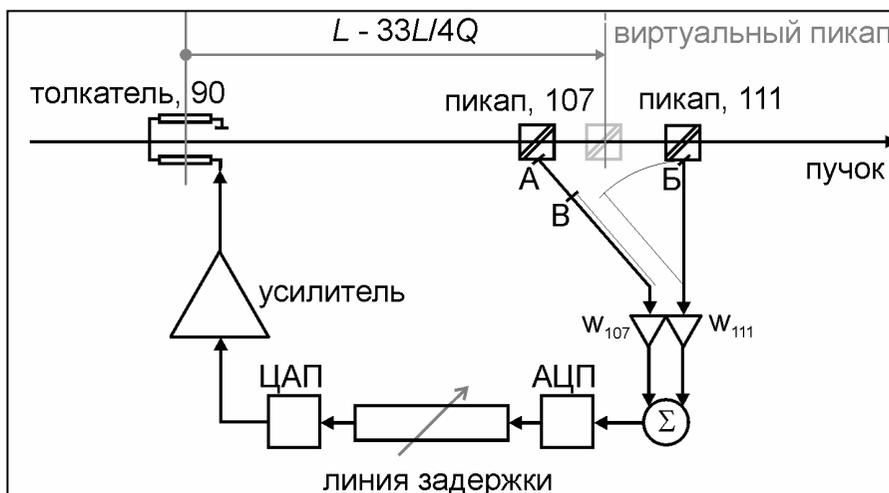


Фактор демпфирования = 100



Поперечные цепи ОС (2)

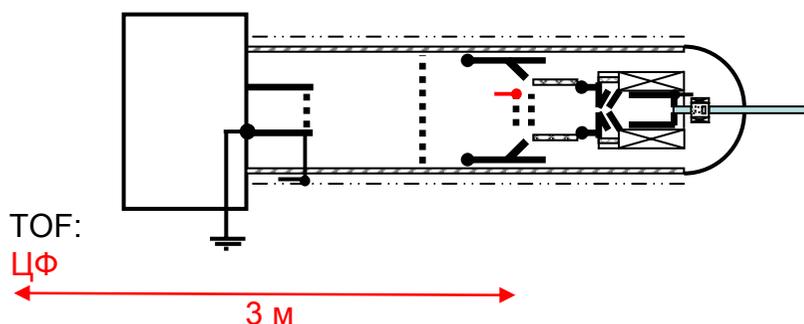
ЭМТ @ ПП90	0.2 – 15 МГц	± 10.7 кВ	РУ @ ПП107 + 111
------------	--------------	---------------	------------------



Фактор демпфирования = 20

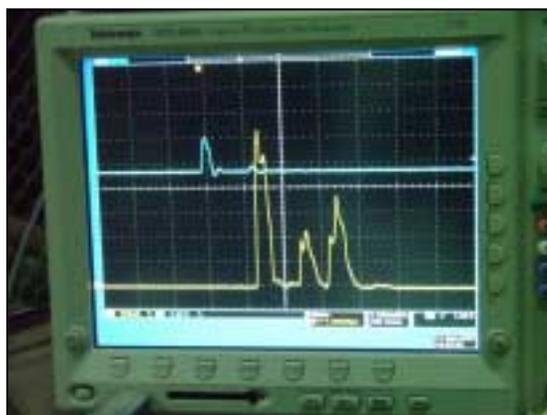
Легкие ионы: И100 (пушка)

p, d ионная пушка (дуоплазматрон)
+ быстрый **чоппер**

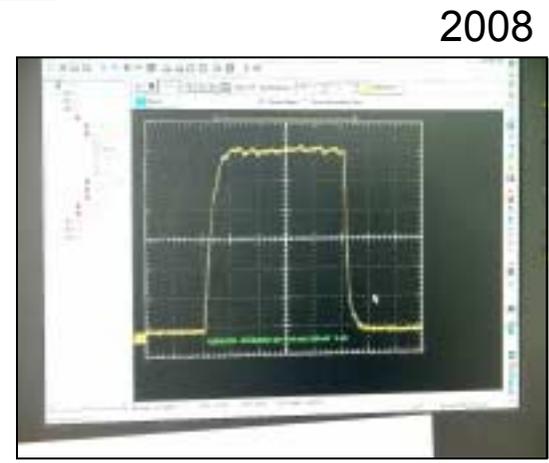
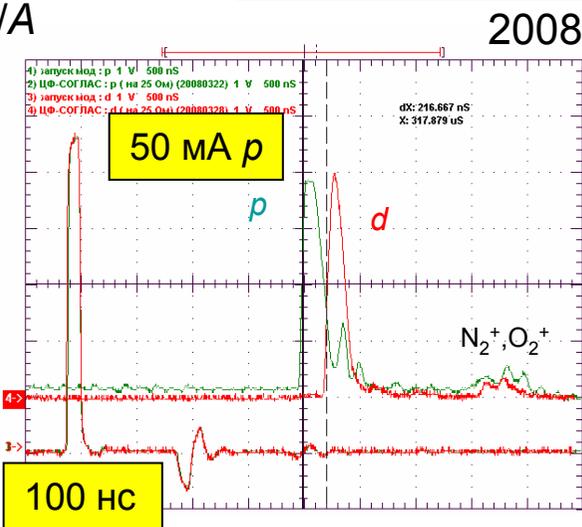


ВВ платформа,
до +750 кВ

контроль над составом по q/A



p N^+, O^+ N_2^+, O_2^+



15 мА d 5 мкс 16.7 МэВ/н

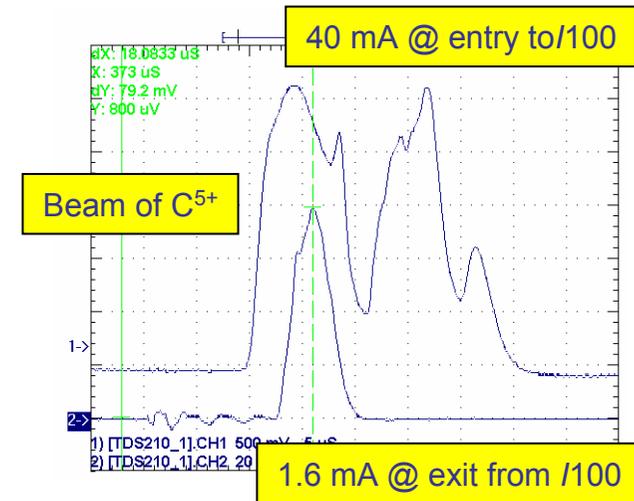
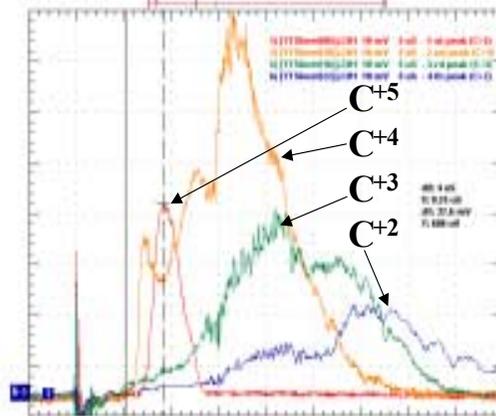
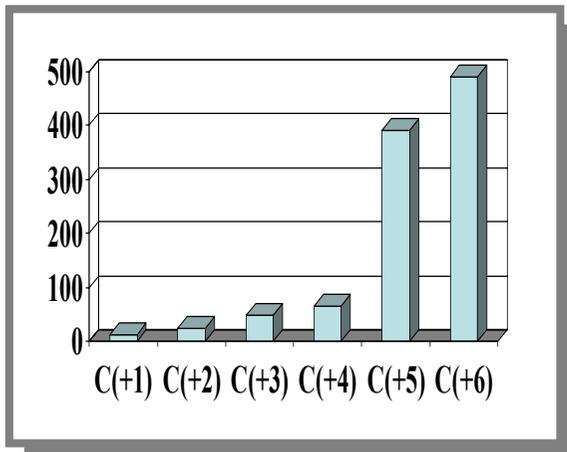
Легкие ионы: И100 (лазерный источник С)



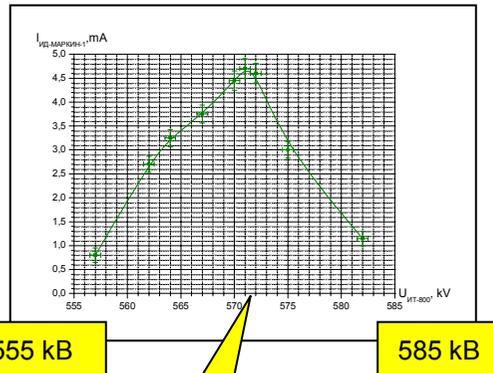
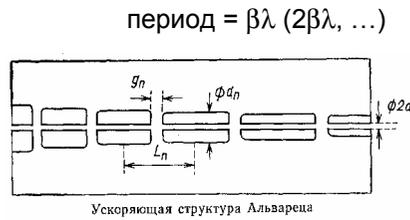
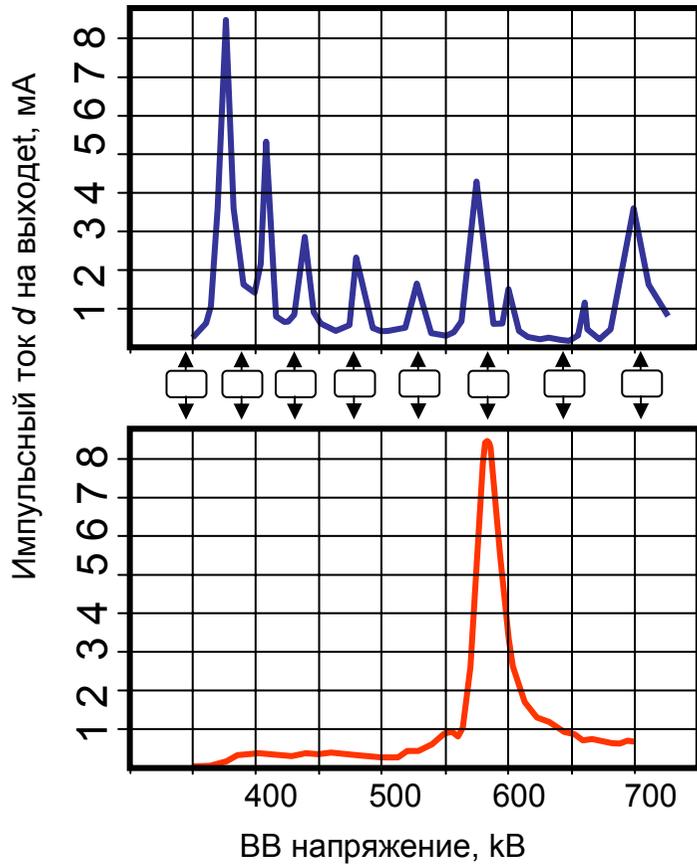
IHEP laser (CO₂, 2.7 J, 10 μm, 0.25 Hz)



IGP of RAS laser (... , 10 Hz)

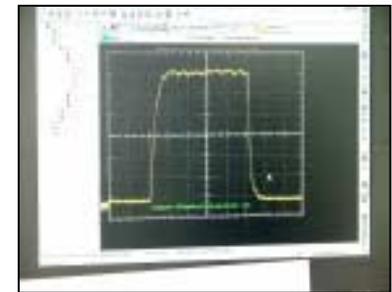


Легкие ионы: И100



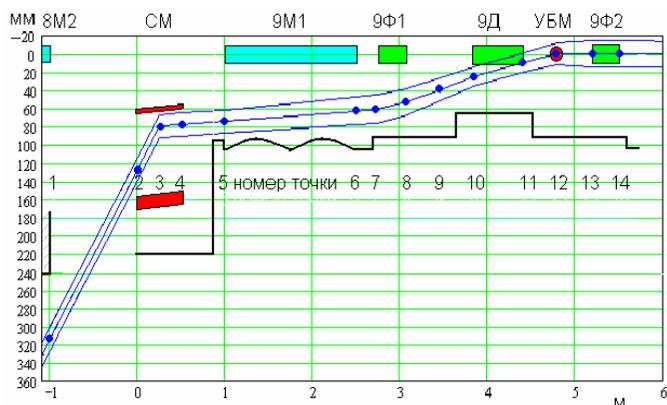
2π -мода, p ($h = 1$)
 4π -мода, d, C ($h = 2$)
 $\beta_h = \beta_1/h$
 $G_h = G_1/(h \cdot q/A)$
 $(Vg)_h = (Vg)_1/(h^2 \cdot q/A)$
 $(Vg)_h = V_h \cdot g_h$
 $2/5 < q/A < 1/2$

1-й сеанс 2008



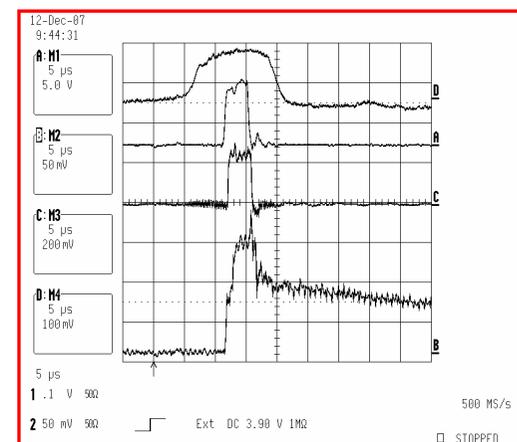
15 мА d 5 мкс 16.7 МэВ/н

Легкие ионы: У1.5 (1)



Глубокая модернизация ПП9 У1.5 и другого оборудования:

- Диполь с увеличенной апертурой
- Новая вакуумная камера
- Снят 1 ВЧ резонатор из 9 (запасной комплект)
- Септум магнит CM с ИП, угол отклонения 177 мрад
- Ударный магнит УБМ с ИП, угол отклонения 23 мрад
- Вспомогательное оборудование
- Новый цифровой ВЧ ЗГ
- Емкостная нагрузка для 8 ВЧ резонаторов
- Увеличенная чувствительность систем диагностики пучка (пока, частично), ...

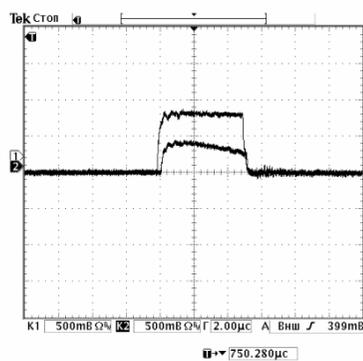


10–12.12.07; p ; 72.7–1320 МэВ; $3 \cdot 10^{10}$ p/ импульс; 35% токопрохождение через У1.5

Легкие ионы: У1.5 (2)

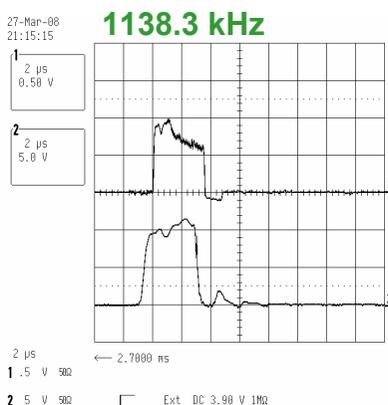
29–30.03.08; d ; 16.7– 455 МэВ/н; $3 \cdot 10^{10}$ d/ импульс; 34% токопрохождение через У1.5

p

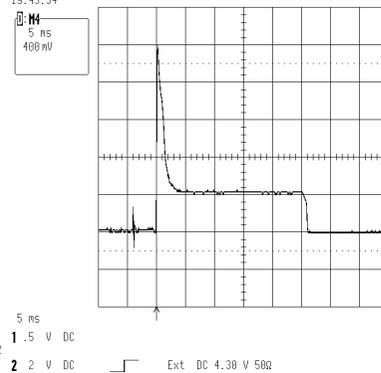


27 Mar 2008
18:21:23

1138.3 kHz

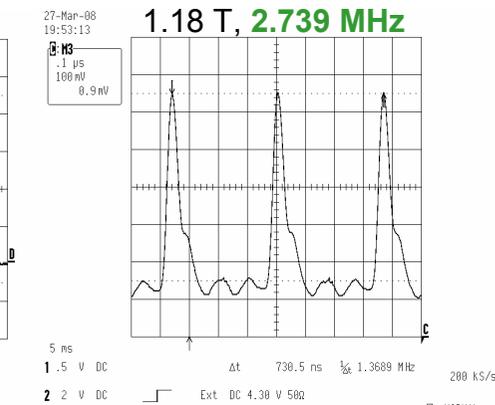


27-Mar-08
19:43:34

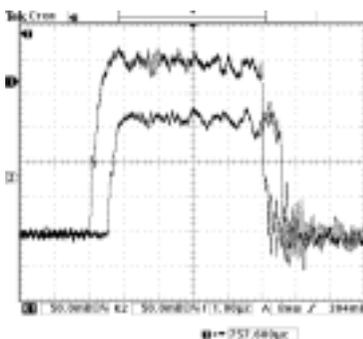


27-Mar-08
19:53:13

1.18 T, 2.739 MHz

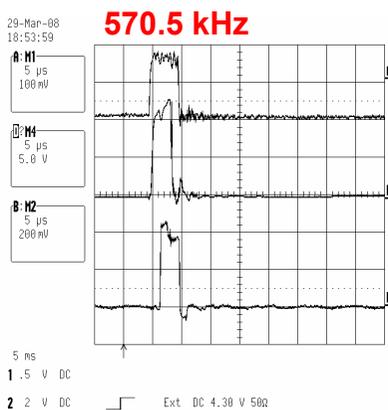


d

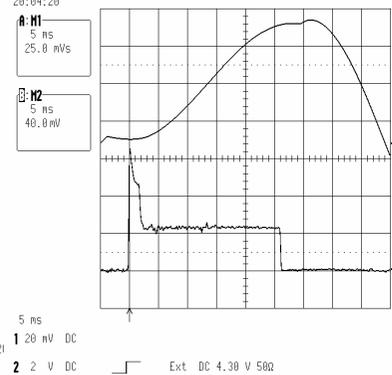


29 Mar 2008
11:47:58

570.5 kHz

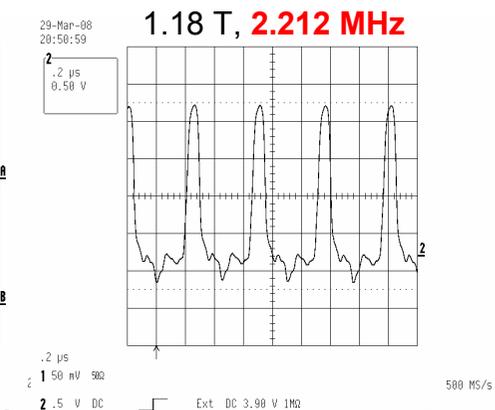


29-Mar-08
20:04:20



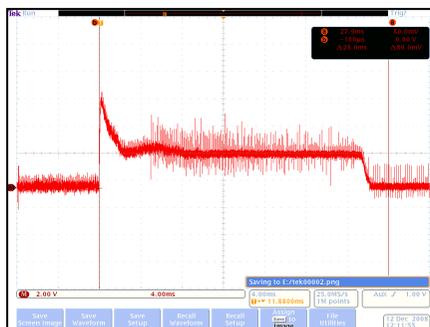
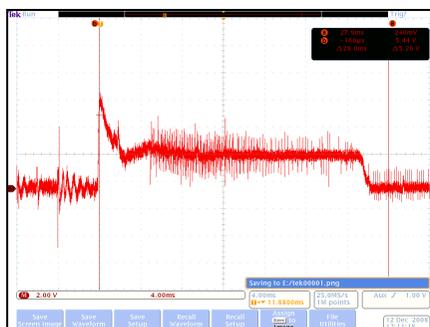
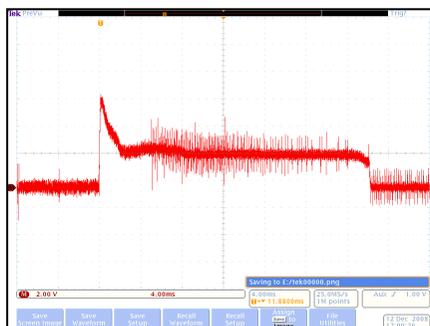
29-Mar-08
20:50:59

1.18 T, 2.212 MHz



Легкие ионы: 2-й сеанс 2008

10–12.12.08; d ; 16.7– 455 МэВ/н



d в У70 после 4 магнитных блоков



Легкие ионы: У70 (1)

В сеансах 2008 г. проведены работы с пучком при возбуждении КЭМ У70 автономным источником постоянного тока

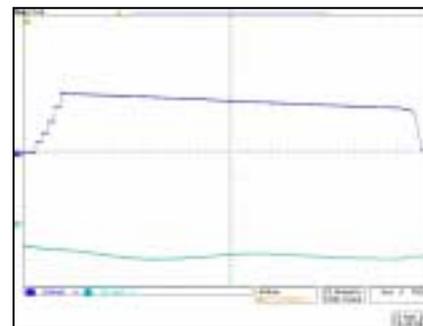
Цель:

- обеспечение дешевых методических сеансов ($1.32 \text{ ГэВ } p$, $0.45 \text{ ГэВ/н } d, C$);
- накопитель и растяжитель пучка легких ионов энергии 450 МэВ/н ;
- медицинское применение пучков углерода

Здание №10 (ОЭУ У70), ток 131.7 А

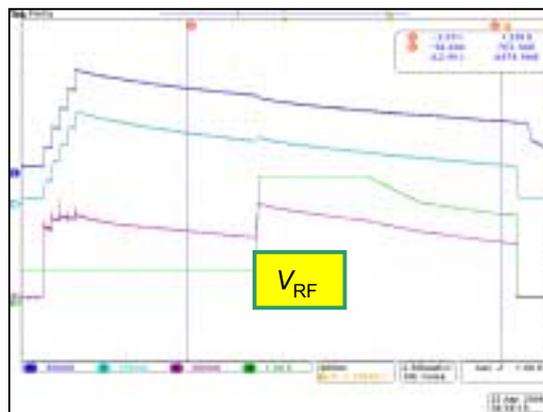
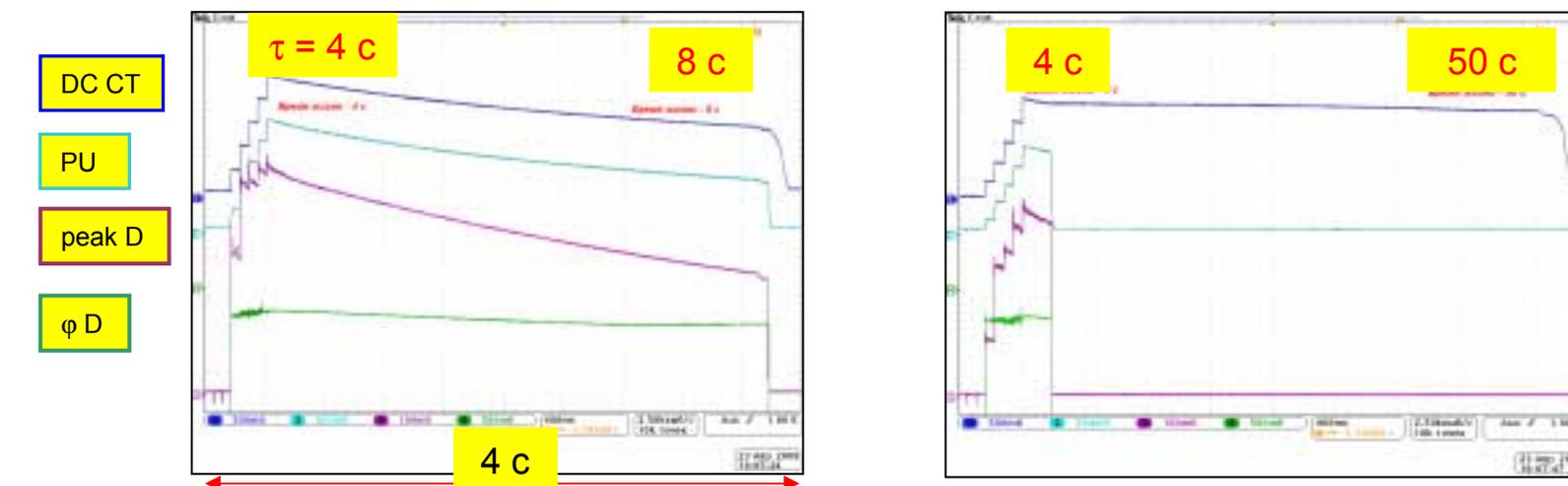


1.5 км



$354 \pm 0.05 \text{ Гс}$

Легкие ионы: У70 (2)



- Заметное различие времени жизни τ сгруппированного и однородного пучков
- Лучшие, чем ожидалось, вакуумные условия
- Динамические причины снижения τ :
 - Кулоновский сдвиг частоты бетатронных колебаний, влияние локальной плотности заряда, $30/5 \times 2 \times 1.5 = 18$
 - Синхро-бетатронные резонансы, $mQ_x + nQ_y + (pQ_s) = k$
 - Динамическая апертура (искажения ЗО, РТ, и т.п.)

Ускорительный комплекс У70 ГИЦ ИФВЭ:

- включает в свой состав каскад из 4 ускорителей,
- успешно обеспечивает выполнение программы экспериментальных исследований на выведенных пучках,
- является объектом непрерывной модернизации и развития,
- обеспечивает протонный пучок заметно улучшенного качества,
- находится на пути реализации программы ускорения легких ионов до энергии 34 ГэВ на нуклон.

В 2008 г. в бустере У1.5 были успешно ускорены дейтроны до энергии 455 МэВ/нуклон