



**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

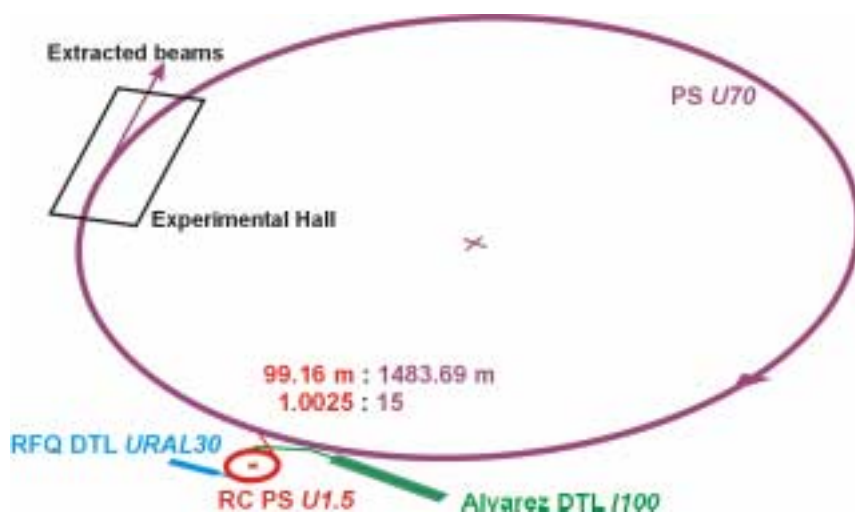
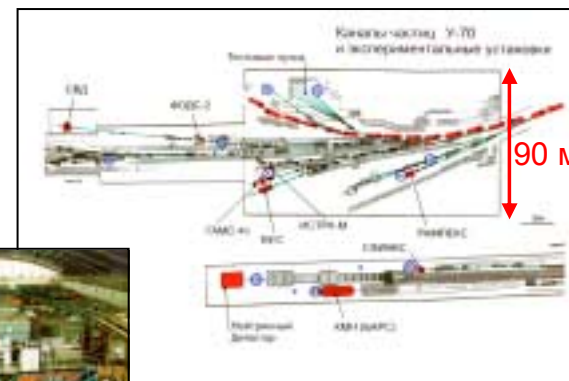


гл. ВХОД



здание ОТФ

## Каналы и эксп. установки



4 установки:

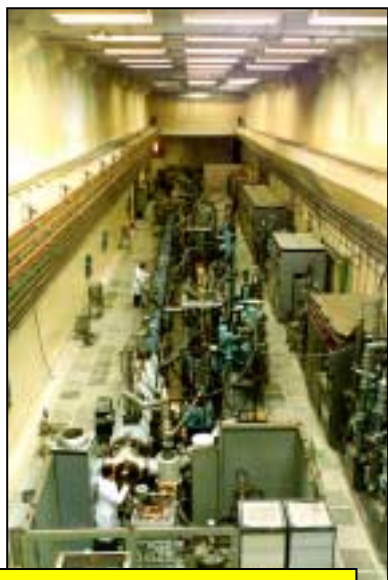
- 2  $p$ - линейных ускорителя
- 2  $p$ - синхротрона

14 октября 2007  
40 лет запуска У70

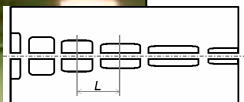


Вчера, 22 декабря 2008  
23 лет запуска У1.5

# Фото-галерея ускорителей



ЛУ (ВЧКФ) УРАЛ30



ЛУ (Альварец) И100



Основной синхротрон У70



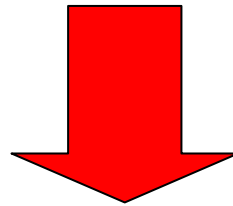
Быстрый бустер У1.5

## Направления деятельности

---

3 цели:

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



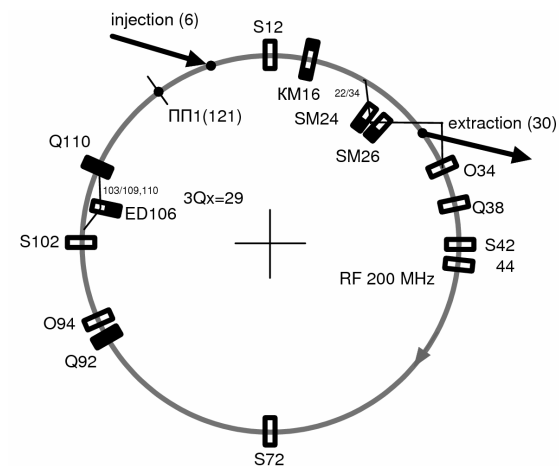
Превращение комплекса У70 в универсальный адронный ускоритель (накопитель) для фундаментальных и прикладных исследований на выведенных пучках



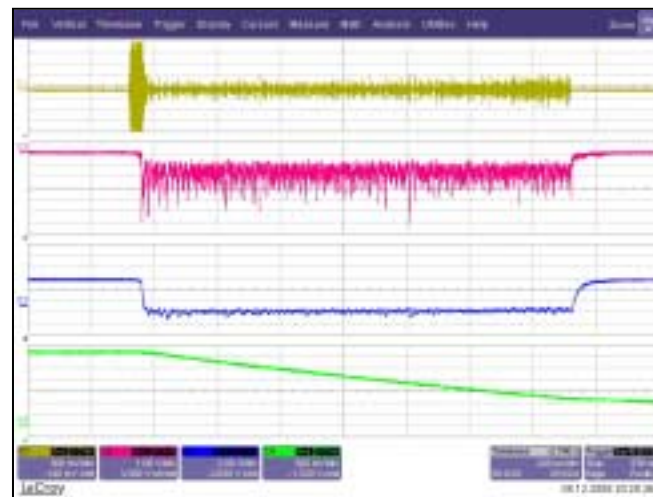
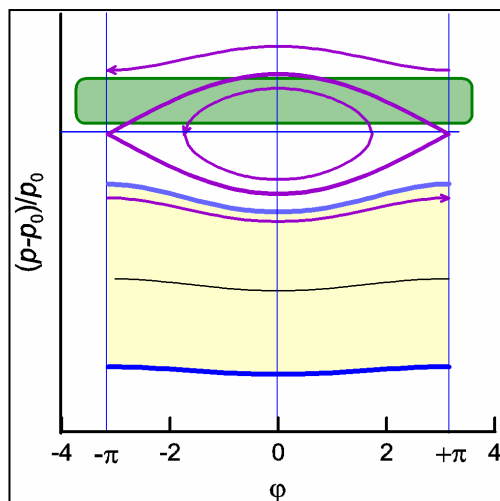


# Системы вывода (1)

- **Быстрый однооборотный**, 1–29 р-сгустков, до  $1.1\text{--}1.2 \cdot 10^{13}$  р/цикл, эффективность около 90%
- **Медленный резонансный**, до  $5 \cdot 10^{11}\text{--}1 \cdot 10^{13}$  р/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)**,  $1 \cdot 10^6\text{--}1 \cdot 10^{12}$  р/импульс, эффективность до 85%

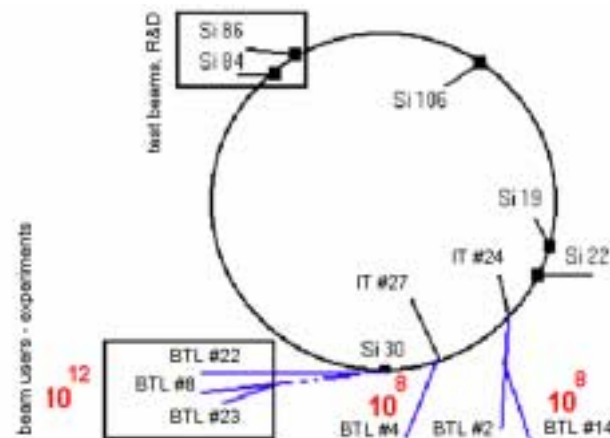
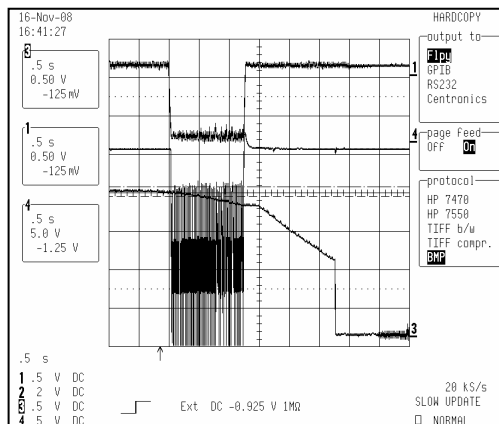
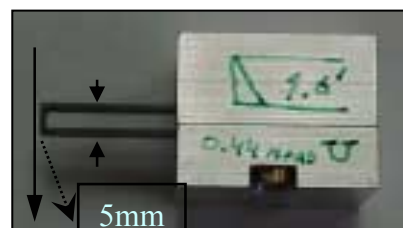
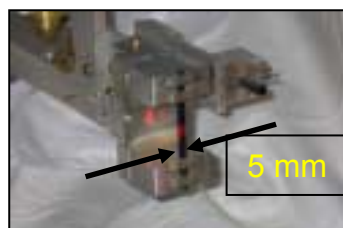


## Стохастический медленный вывод



# Системы вывода (2)

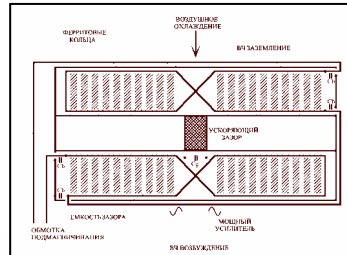
## Дефлекторы на основе изогнутых монокристаллов





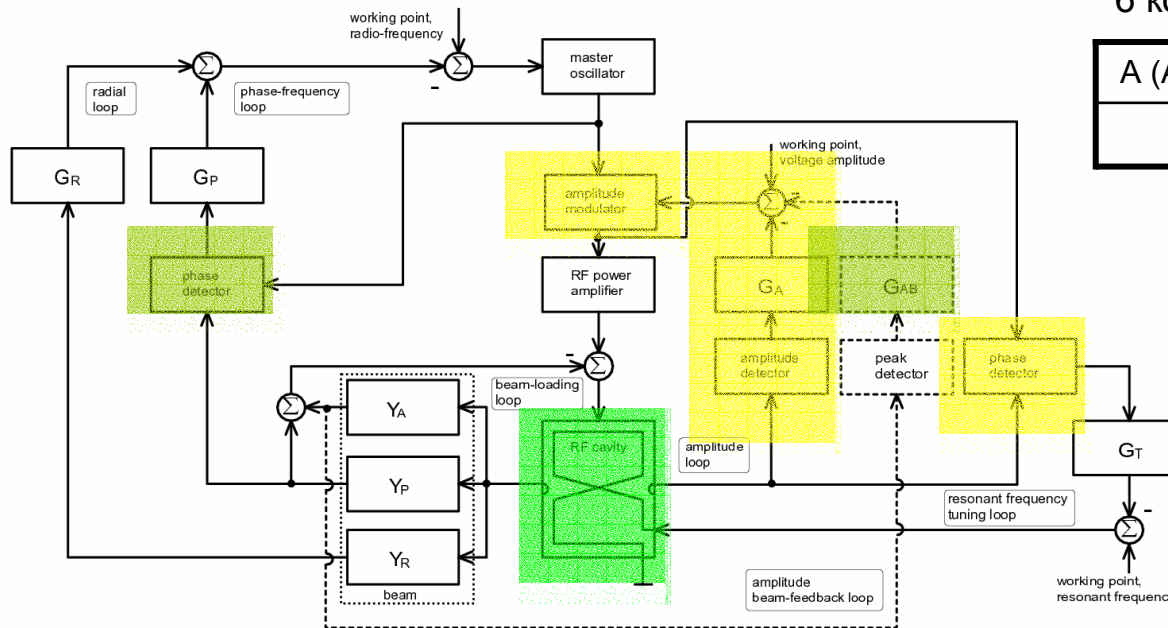
# Продольные цепи ОС

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

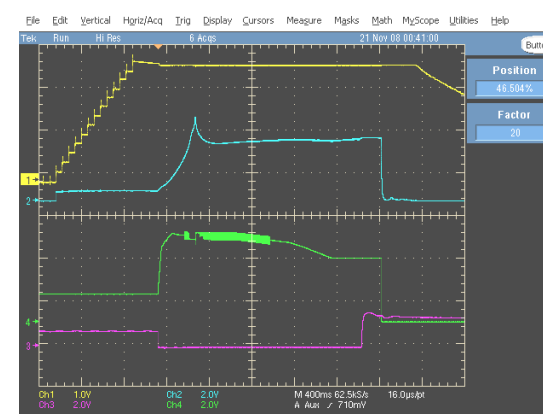
$V_{RF}$

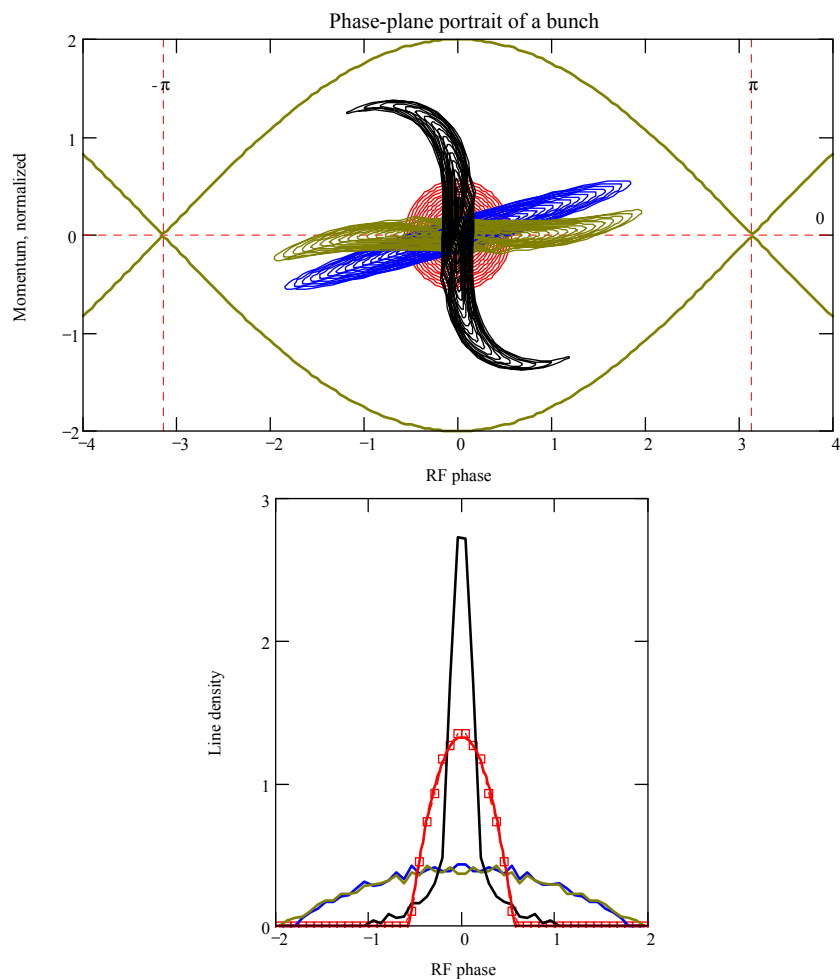
peak D



@ 50 ГэВ

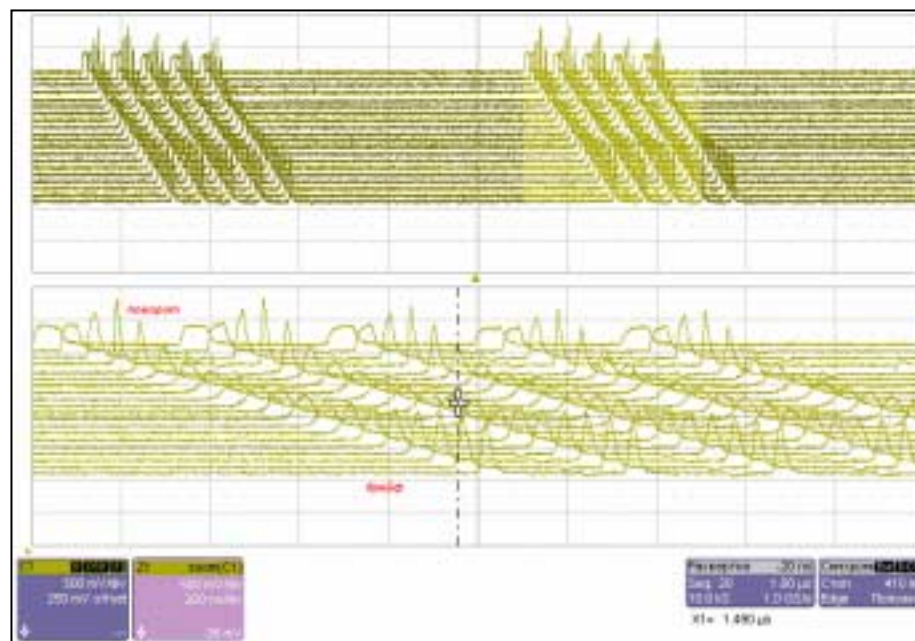
	≤ 2006	2007–8
Длина сгустка (FW@0.9)	36 нс	12–15 нс
Разброс по импульсам $\Delta p/p$	$\pm 1 \cdot 10^{-3}$	$\pm 4-5 \cdot 10^{-4}$





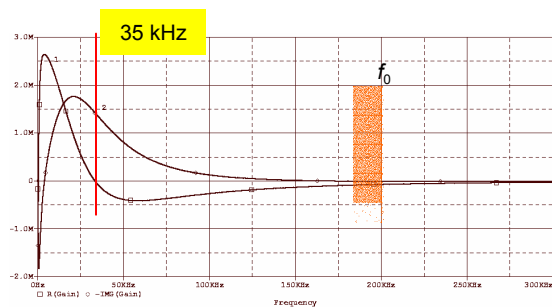
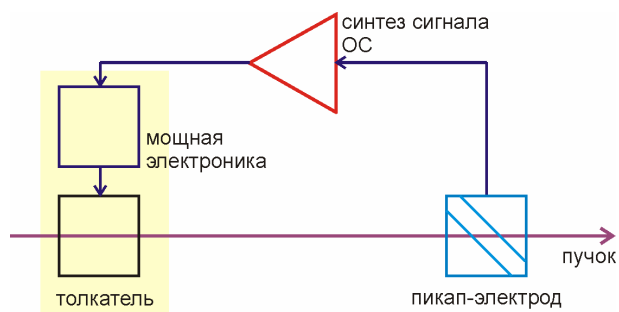
Расчет и эксперимент:

синхр. частота = 100 Гц,  
сгусток = 30 нс,  
дрейф = 5 мс,  
вращение 1 = 0.5 мс,  
вращение 2 = 3 мс,  
развертка = 0.5 мс



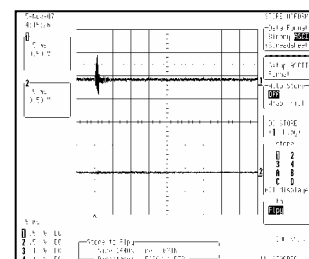
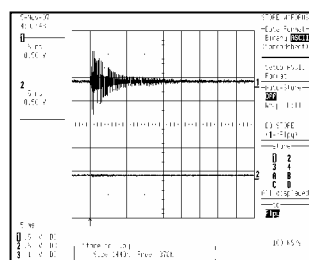
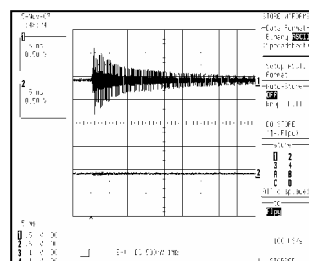
# Поперечные цепи ОС (1)

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

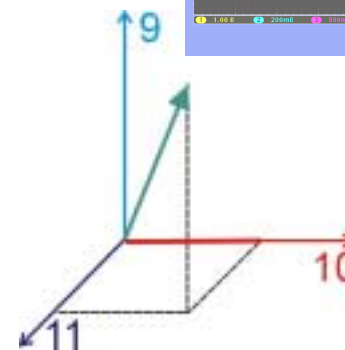
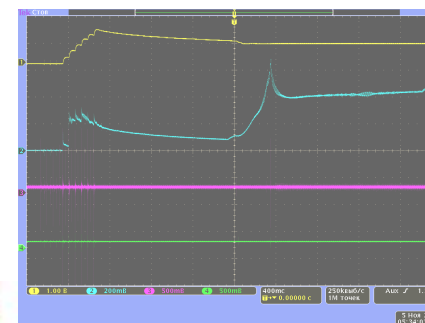
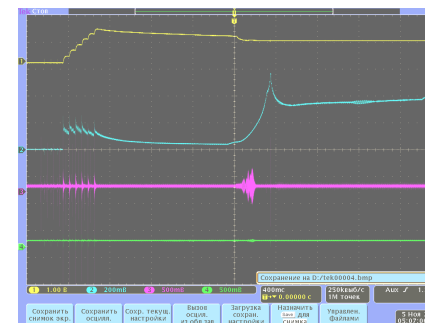


H: 14.7–72.3 кГц, ±45°

V: 29.4–43.2 кГц

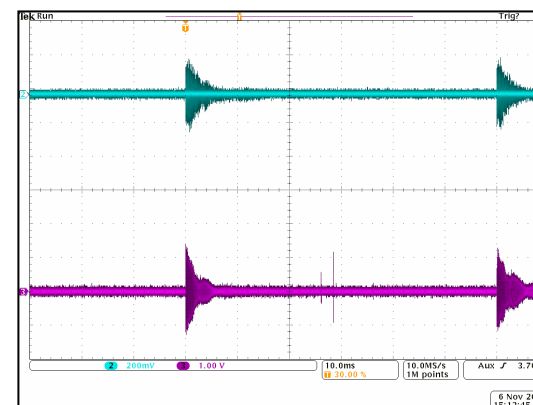
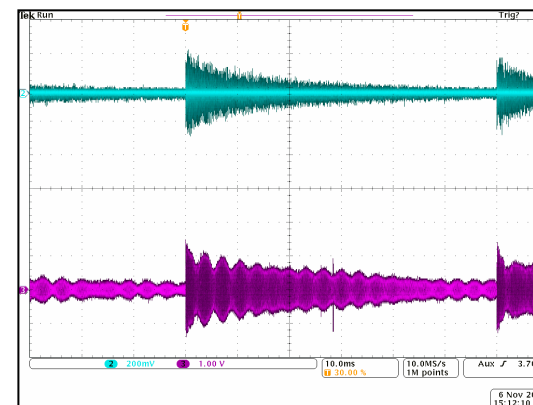
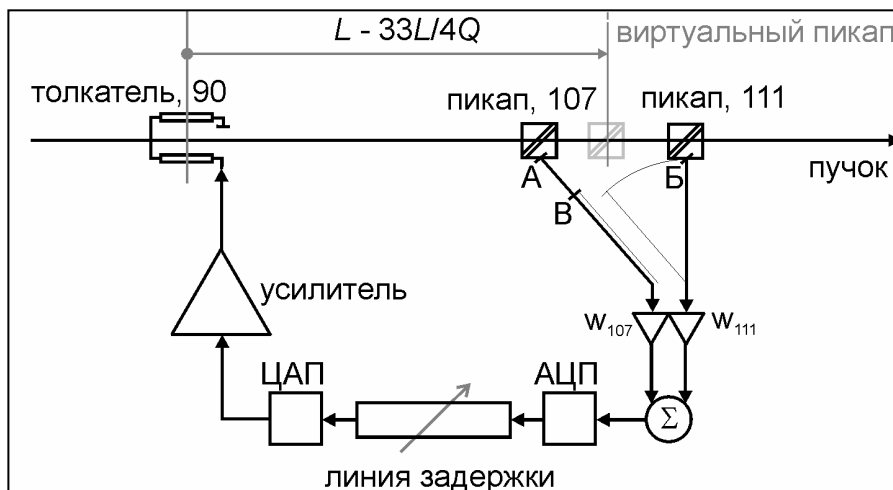


Фактор демпфирования = 100



## Поперечные цепи ОС (2)

ЭМТ @ ПП90	0.2 – 15 МГц	$\pm 10.7$ кВ	РУ @ ПП107 + 111
------------	--------------	---------------	------------------

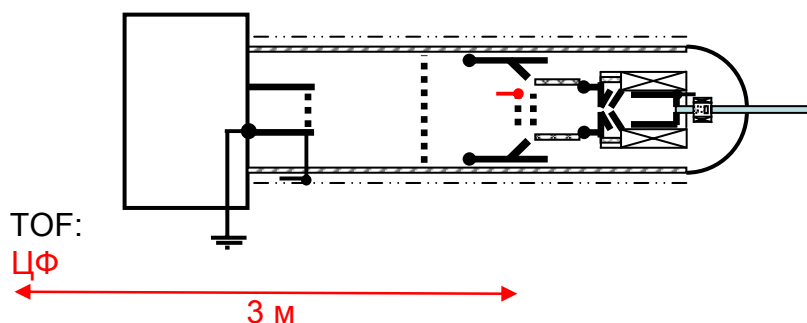


Фактор демпфирования = 20



# Легкие ионы: И100 (пушка)

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

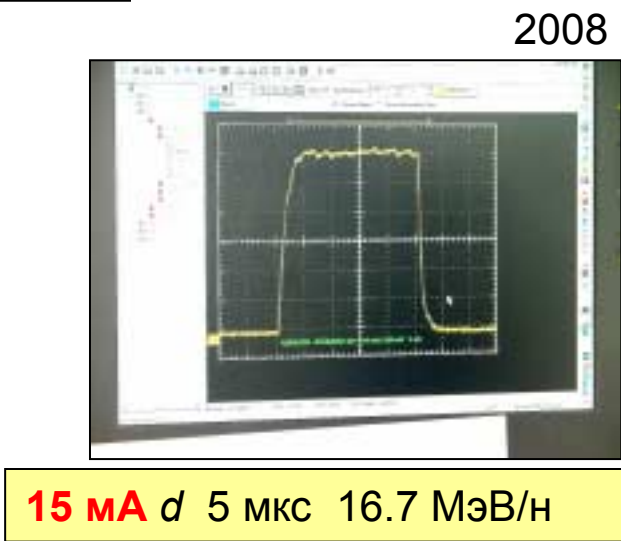
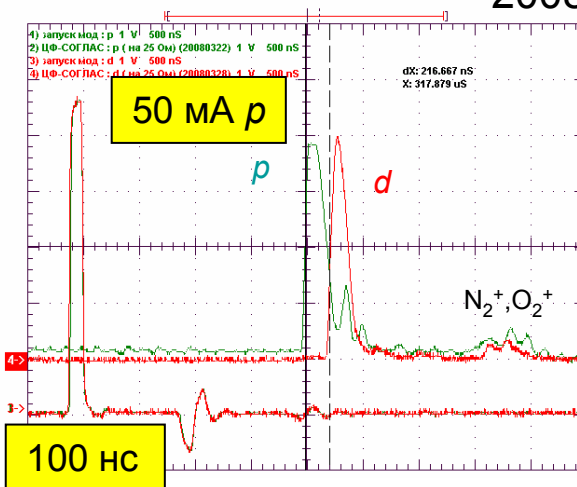


ВВ платформа,  
до +750 кВ

контроль над составом по  $q/A$



$p$     $N^+, O^+$     $N_2^+, O_2^+$



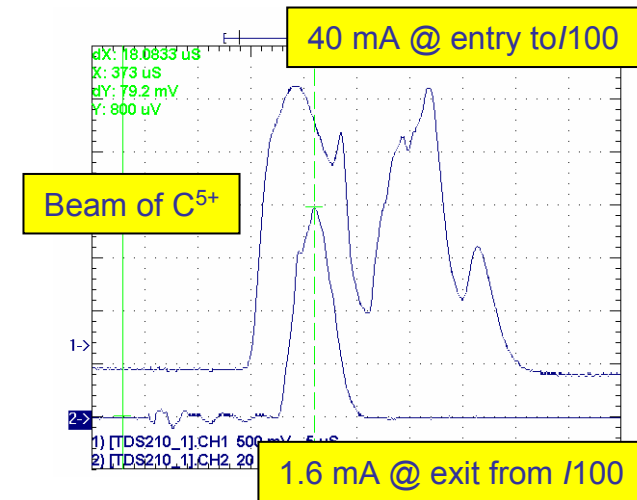
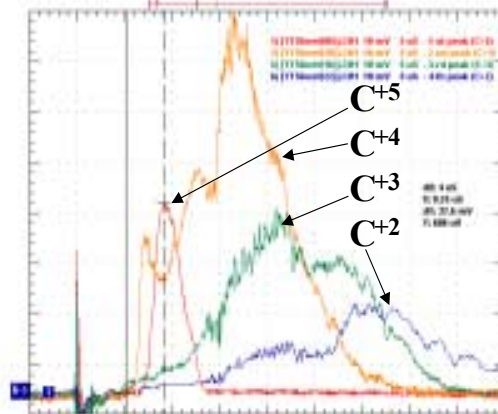
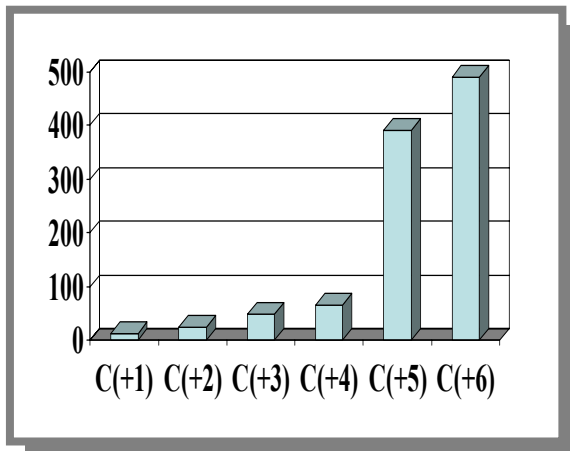
# Легкие ионы: И100 (лазерный источник С)



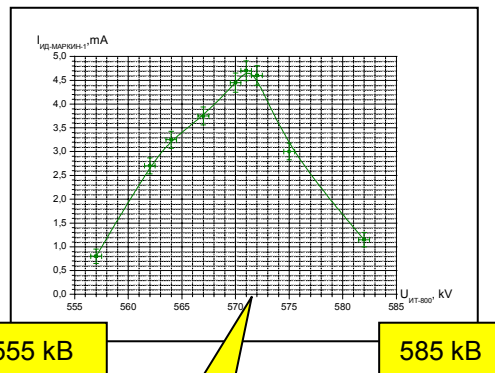
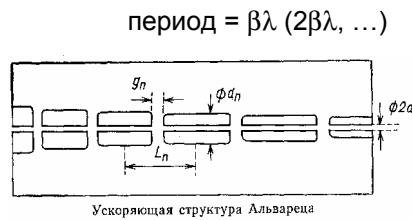
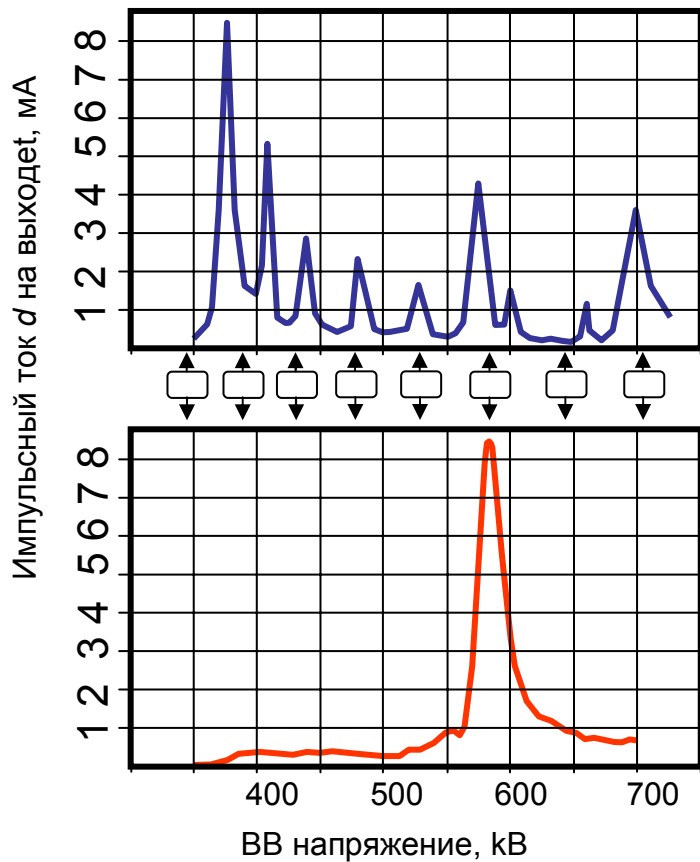
IHEP laser (CO<sub>2</sub>, 2.7 J, 10 μm, 0.25 Hz)



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



# Легкие ионы: И100



555 кВ

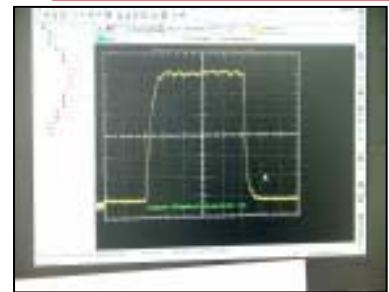
570 кВ

585 кВ



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

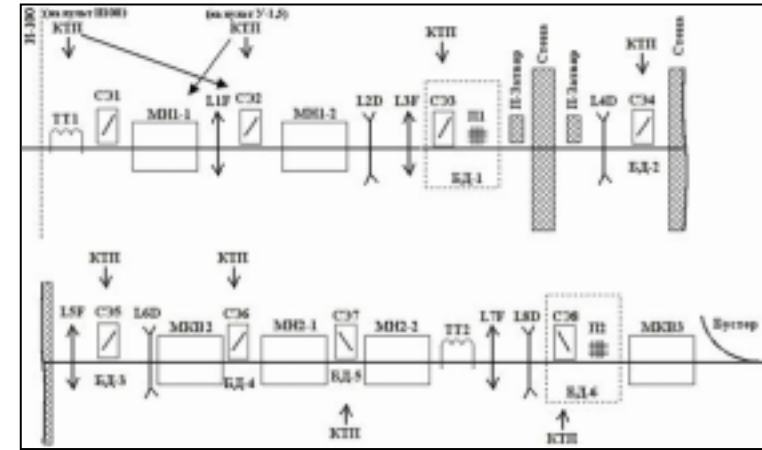
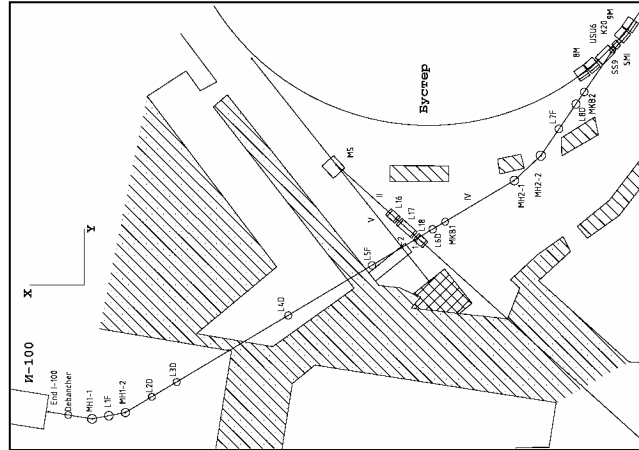
1-й сеанс 2008



15 мА d 5 мкс 16.7 МэВ/н

# Легкие ионы: канал И100 - У1.5

длина 43 м  
4 диполя  
8 линз  
3 Н/У-корректора  
диагностика

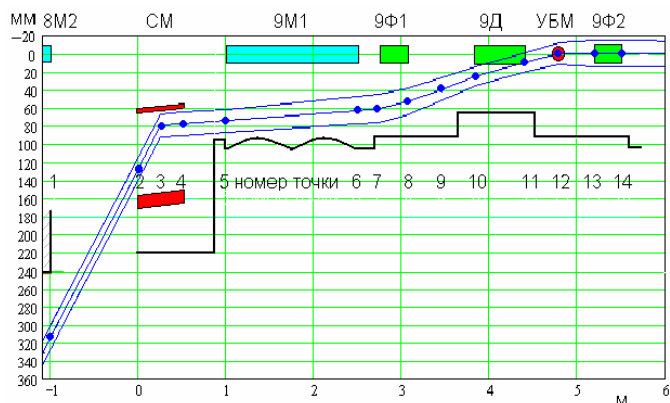


Запущен с  $p$   
72.7 МэВ  
(17.11.06) и  $d$   
16.7 МэВ/н  
(01.12.06)



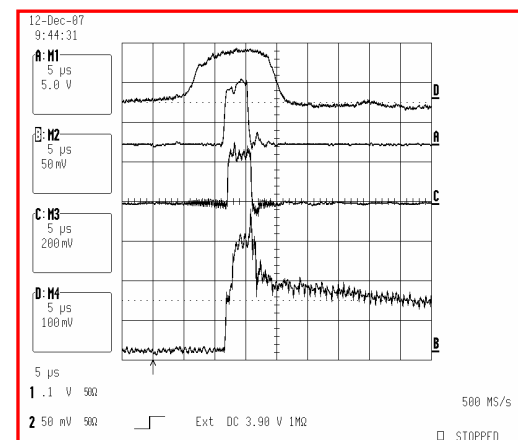


# Легкие ионы: У1.5 (1)



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), ...



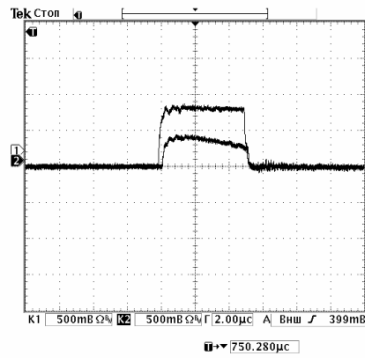
10–12.12.07;  $p$ ; 72.7–1320 МэВ;  $3 \cdot 10^{10}$  p/ импульс; 35% токопрохождение через У1.5



# Легкие ионы: У1.5 (2)

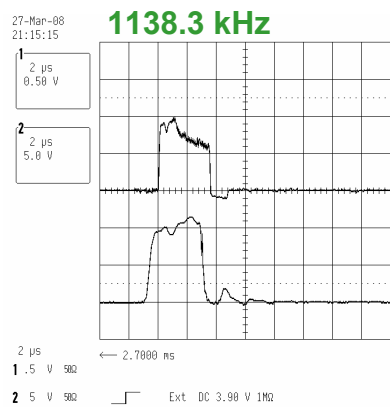
29–30.03.08;  $d$ ; 16.7– 455 МэВ/н;  $3 \cdot 10^{10}$  d/ импульс; 34% токопрохождение через У1.5

$p$

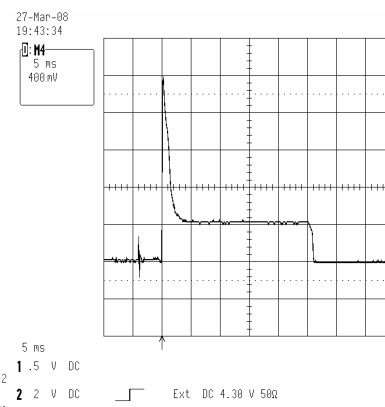


27 Mar 2008 18:21:23

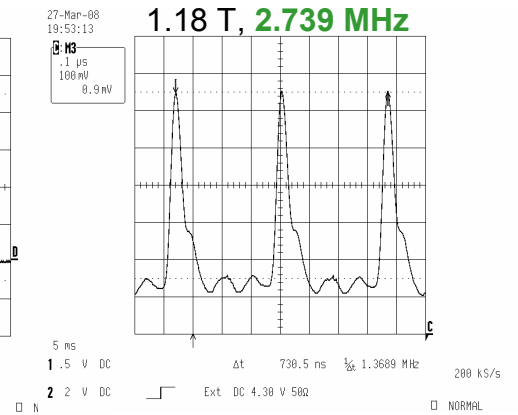
1138.3 kHz



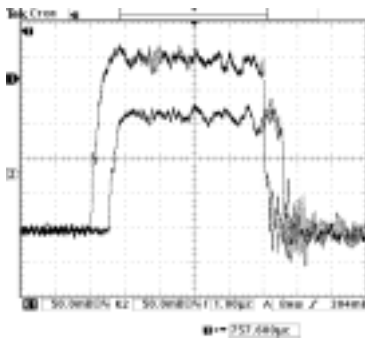
1138.3 kHz



1.18 T, 2.739 MHz

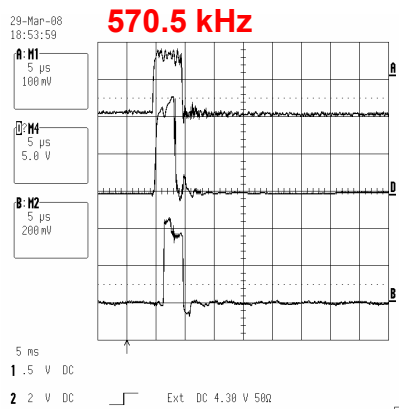


$d$

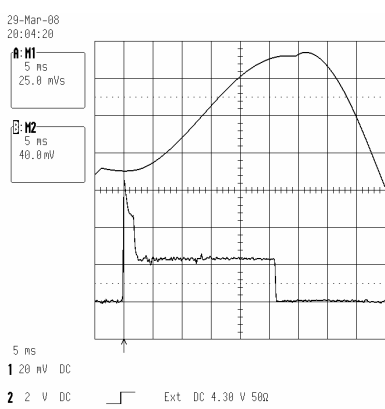


29 Mar 2008 11:47:58

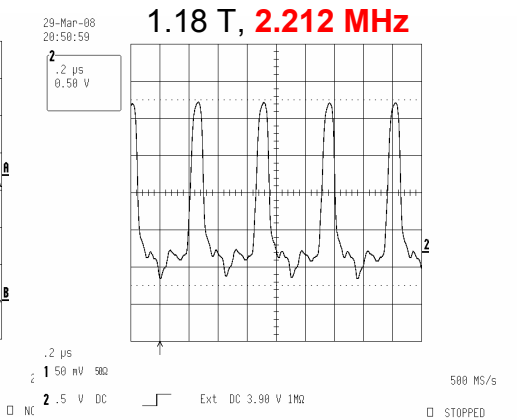
570.5 kHz



570.5 kHz

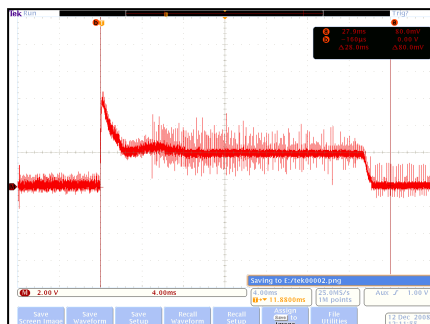
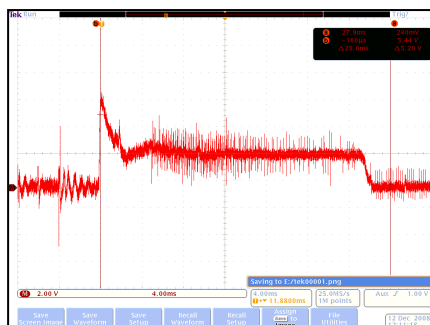
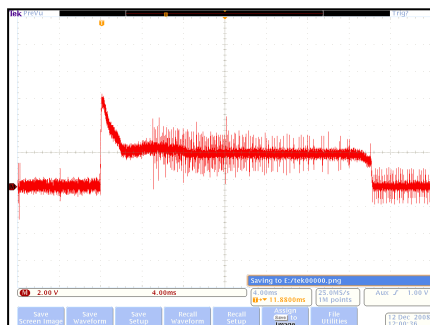


1.18 T, 2.212 MHz

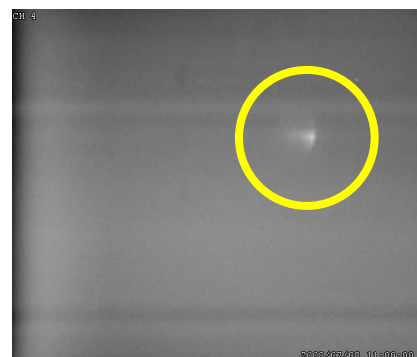


# Легкие ионы: 2-й сеанс 2008

10–12.12.08;  $d$ ; 16.7– 455 МэВ/н



$d$  в У70 после 4 магнитных блоков



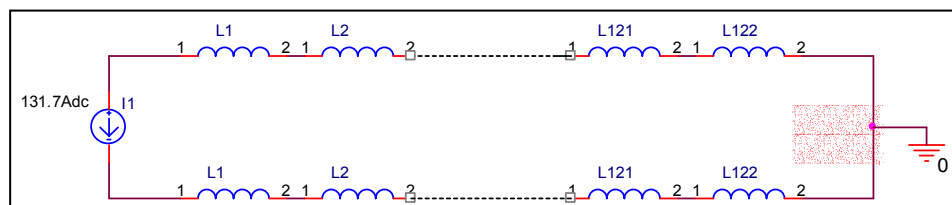
## Легкие ионы: У70 (1)

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

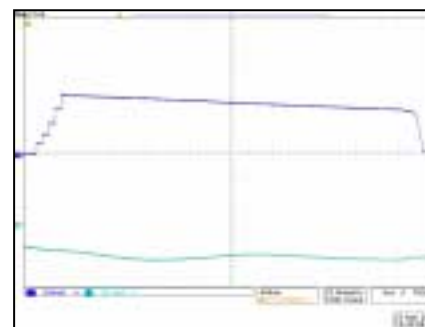
Цель:

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

Здание №10 (ОЭУ У70), ток 131.7 А

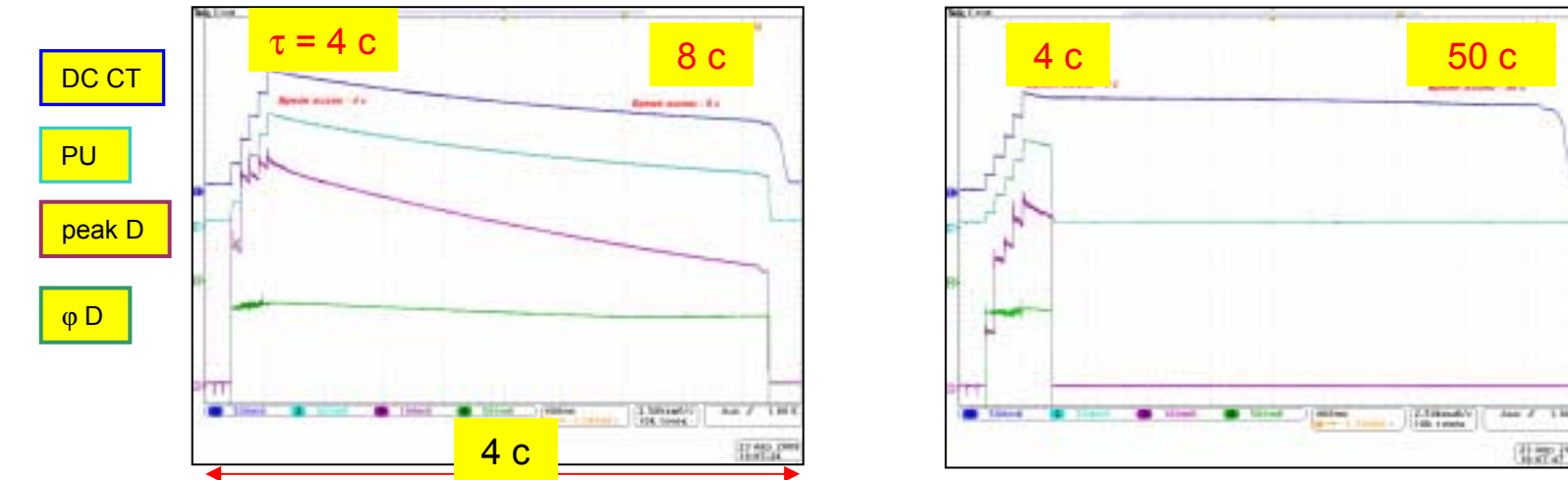


1.5 км



$354 \pm 0.05 \text{ Гс}$

# Легкие ионы: У70 (2)



- Заметное различие времени жизни  $\tau$  сгруппированного и однородного пучков
- Лучшие, чем ожидалось, вакуумные условия
- Динамические причины снижения  $\tau$ :
  - 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