



Протонные и углеродные пучки на ускорителе У-70

Сергей Иванов

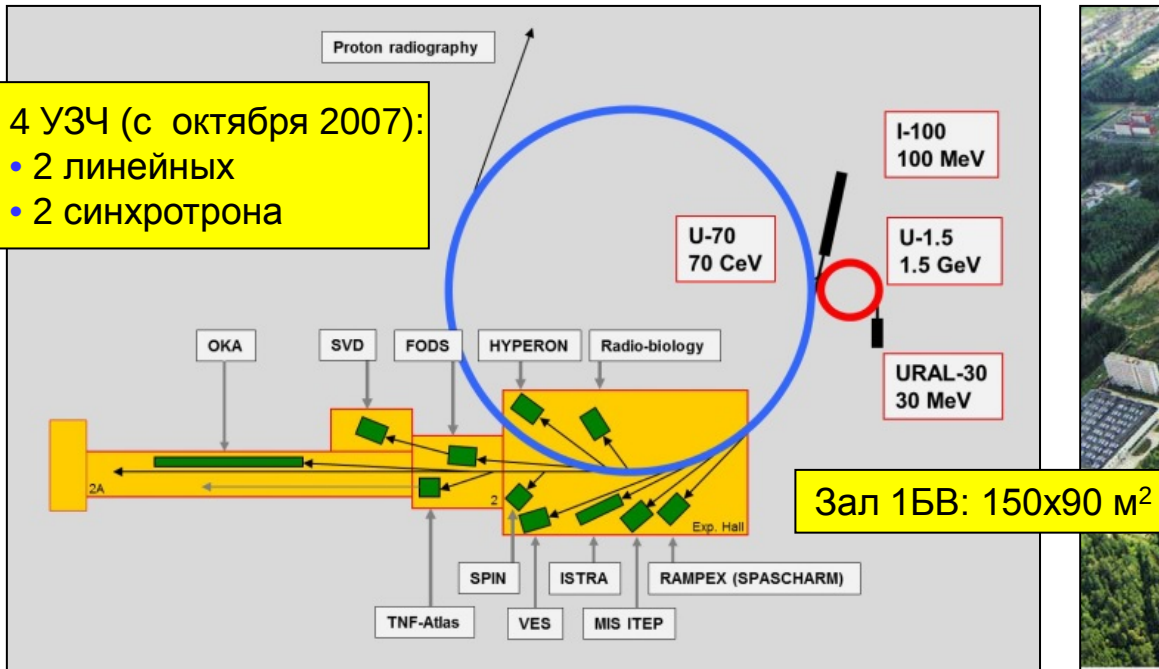
Восьмые Черенковские чтения

“Новые методы в экспериментальной ядерной физике
и физике частиц”

Москва, ФИАН, 14 апреля 2015 г.

- Общие положения
- Работа в сеансах
- Модернизация и развитие
- Ускорение ядер углерода
- Выводы и заключение

Схема комплекса У-70



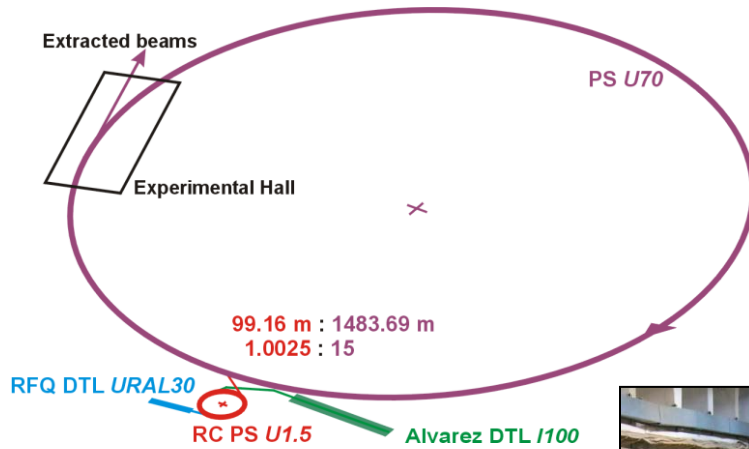
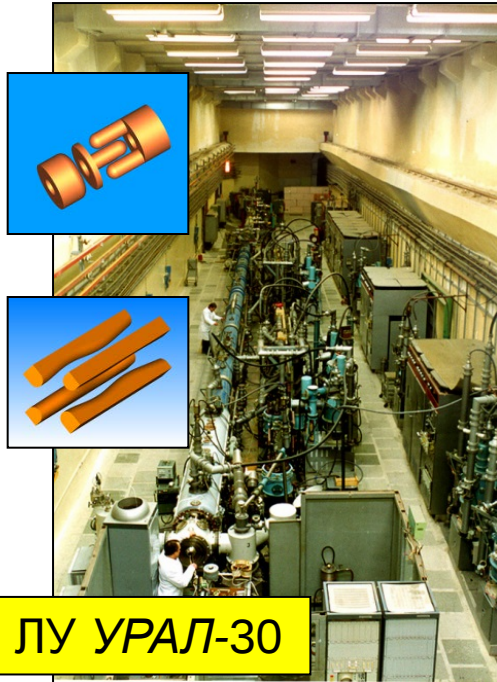
Моды:

- протонная (основная, [25], 50-70 ГэВ) УРАЛ-30/У-1.5/У-70
- (легко)ионная (С, комплементарная) И-100(2 из 3)/У-1.5/У-70

Ядра углерода:

- (очень) высокой энергии 24.1-34.1 ГэВ/и
- промежуточной (но высокой) энергии 456-7 МэВ/и

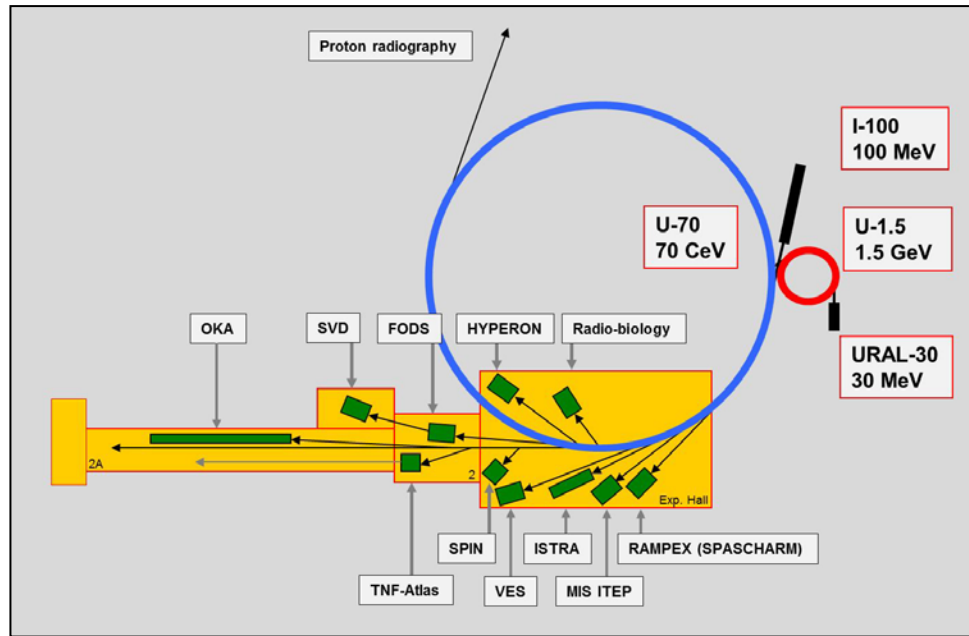
Фотоальбом ускорителей



15 ноября
1963-2013



Экспериментальная физика (fixed-target)



Пучки
 p, π, K, e, ν, C

Направления:

- h спектроскопия
- спиновые эффекты
- редкие распады K
- h - A взаимодействия
- [ν физика]
- [релятивистская ЯФ]
- ...



ширина 90 м

NB: OKA (21к), ФОДС (22к), ВРБС (25к)

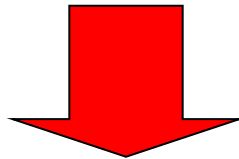
Сотрудничество с:
ИТЭФ, ОИЯИ, ИЯИ РАН, ПИЯФ,
НИИЯФ МГУ, НИЯУ МИФИ,
ЦЕРН, ФНАЛ, ...

До 9 экспериментов по ФВЭ (= числу ЭФУ) в сеансе, до 7 потребителей пучка в цикле

Задачи и цели (ускорители)

3 [4] блока мероприятий:

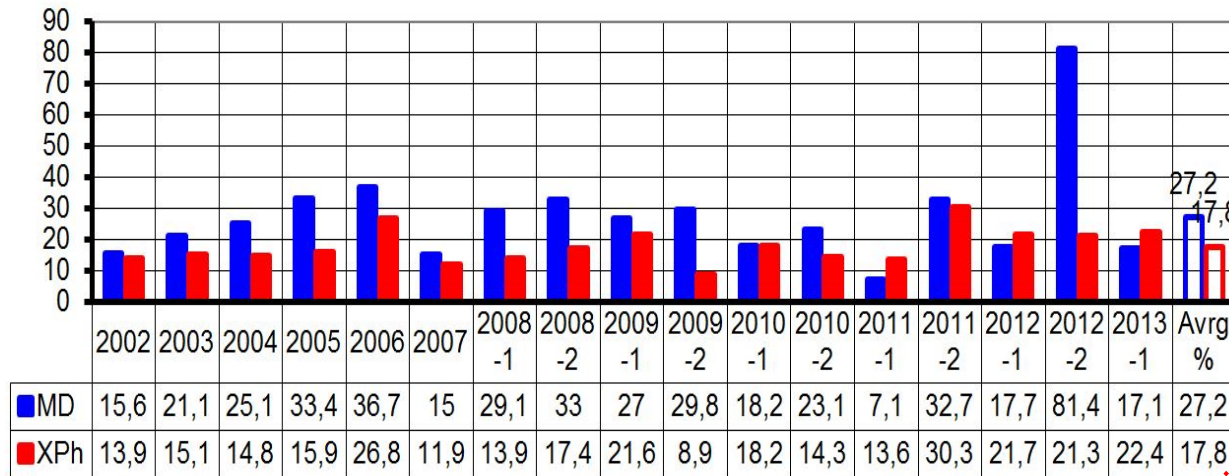
- Регулярные сеансы: стабильная работа и высокая относительная доступность p -пучка (малые пропуски и простои в режиме 7/24)
- Улучшение качества p -пучка (меньшие ε , большие N , до $3 \cdot 10^{13}$ p в цикле)
- Программа ускорения легких ионов, $q/A = 0.4\text{--}0.5$
- [Другие направления диверсификации и развития]



Превратить Ускорительный комплекс У-70 в универсальный адронный ускоритель для фундаментальных и прикладных исследований с выведенными пучками и неподвижной мишенью

Работа в сеансах, статистика

Idle no-beam time, %



MD
XPh

Avrg %
27,2
17,8

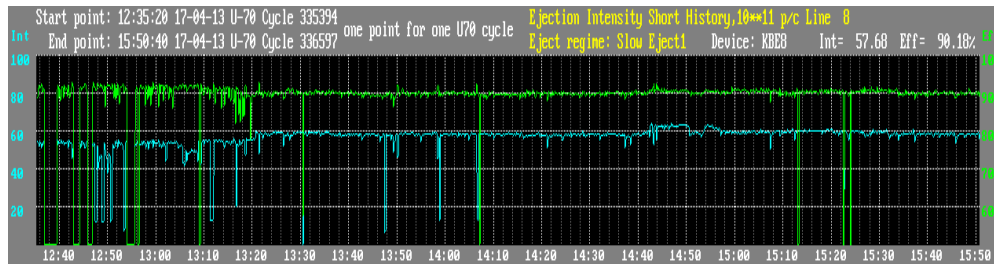
Относительная доступность на ФП = 82.2%

2013 -2	2014 -1	2014 -2	2015-1
n/a	n/a	16.2	on

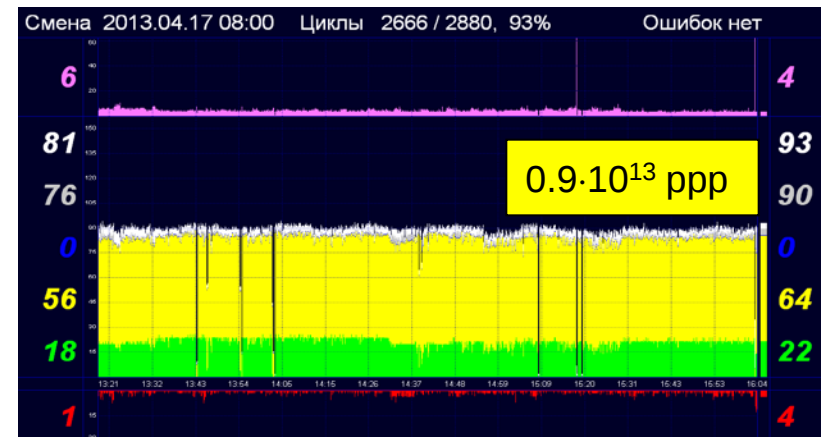
Run

2 сеанса (7/24) в год:

- короткий (ФП 10 дней) 2 MD(p) + ионы
- длинный (ФП 30 дней) 3 MD(p) + ионы



Сеанс 2013-1, CMB out/in 90-94% $1-6.5 \cdot 10^{12}$ ppp



← 3 ч, or 1000 циклов →

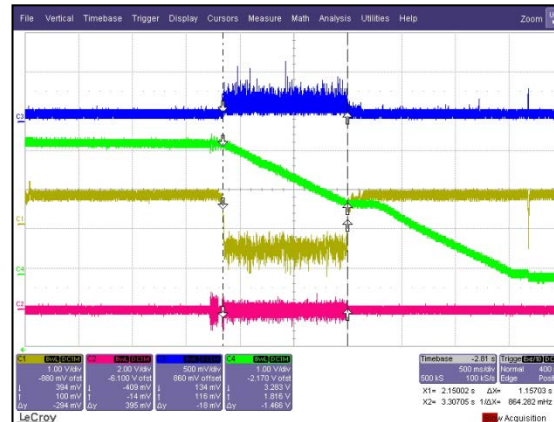
Системы вывода из У-70

Список:

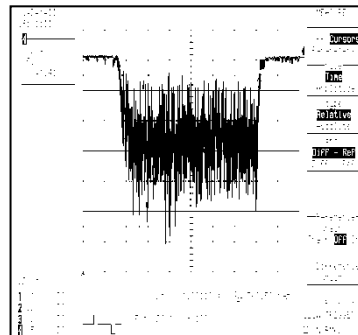
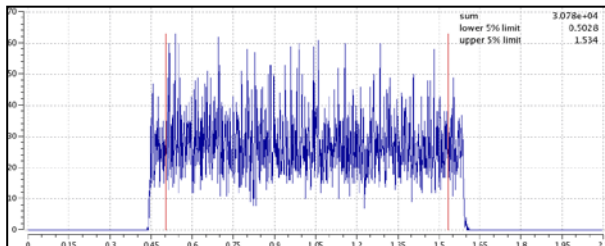
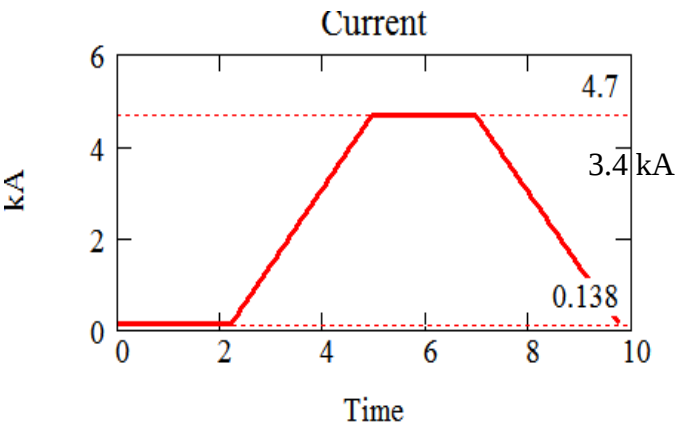
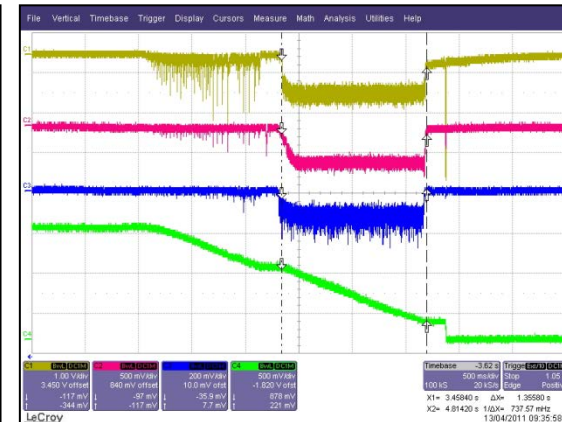
- ВМ, вторичные частицы
- 1-оборот/1-сгусток БВ
- РМВ (Q38 & СМВ (new))
- КМВ (СКД) (new)
- СМВ на нижн. плато (new)
- М(4-10)БВ (new)

Последовательное и параллельное деление пучка на верхнем плато

1-я $\frac{1}{2}$ п.в. м.п., СМВ

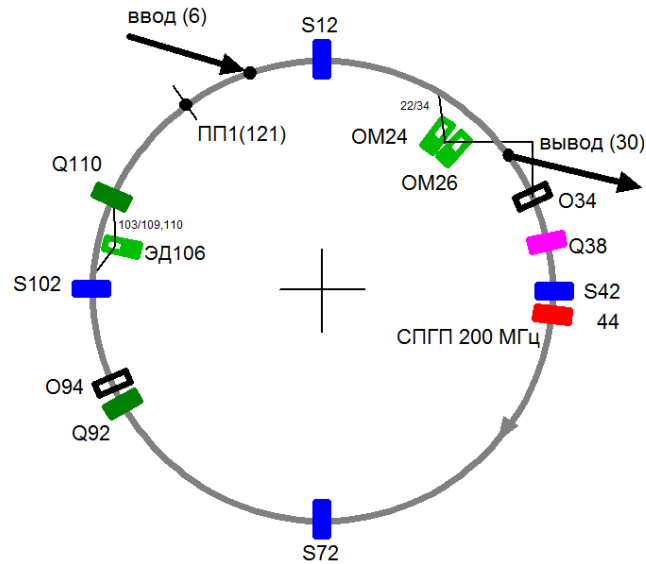


2-я $\frac{1}{2}$ п.в. м.п., ВМ и СКД

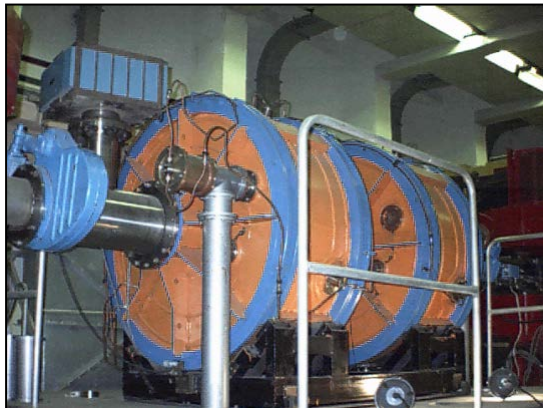
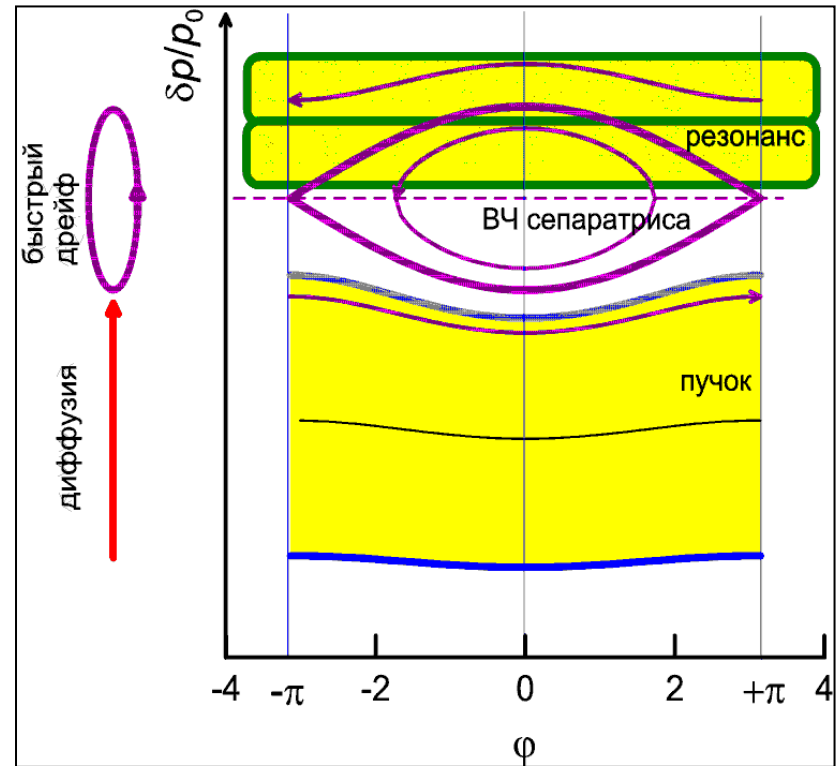


duty factor $\langle \Phi \rangle^2 / \langle \Phi^2 \rangle$ до 0.8-0.9.
Нет линий гармоник 50 Гц

Стохастический медленный вывод



горизонтальный резонанс 3-го порядка $3Q_x = 29$



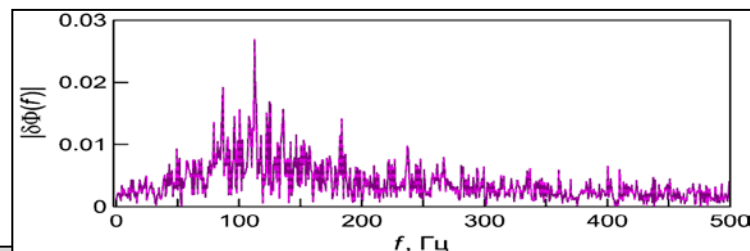
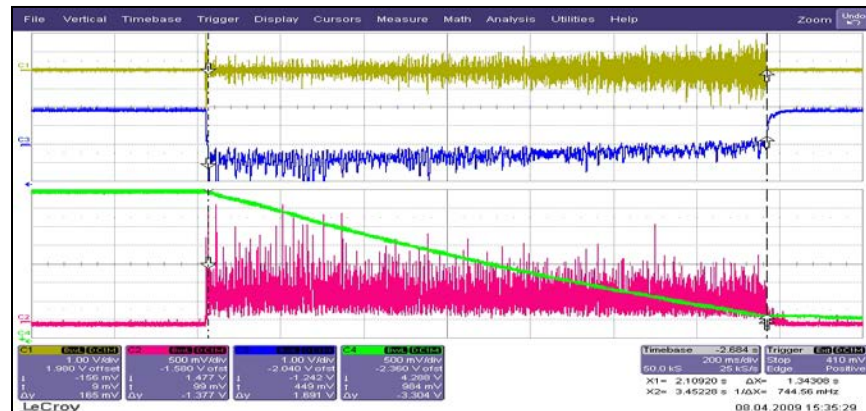
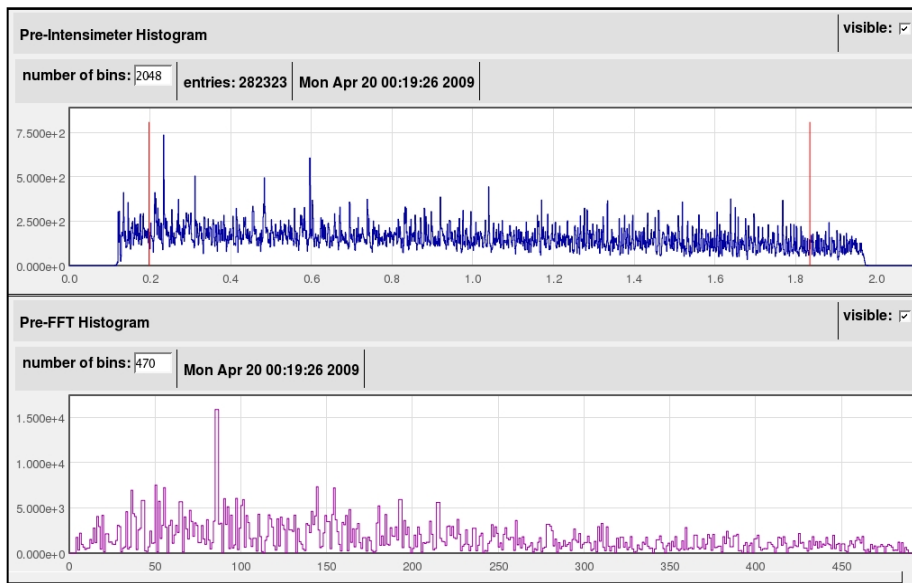
Вспомогательная ВЧ система частоты 200 МГц

СМВ и работа на эксперимент ОКА

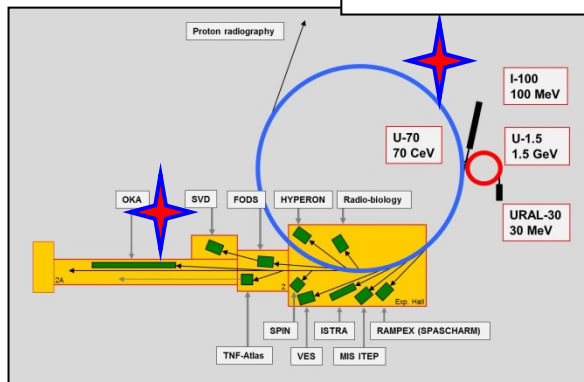
Сеанс 2009_1

Технологические данные У-70

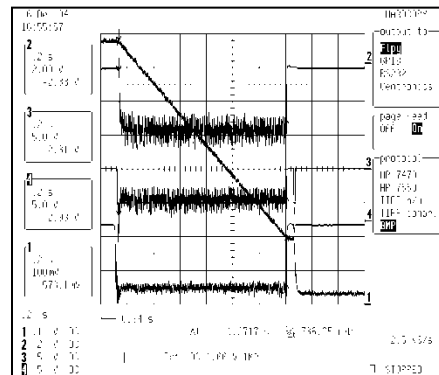
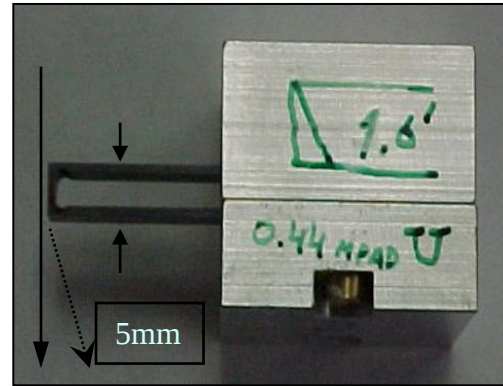
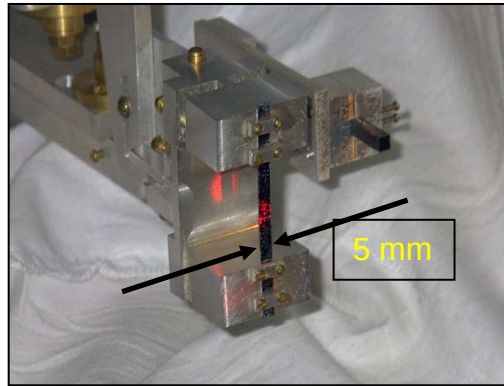
Головные счетчики установки ОКА



Сброс СМВ 1.85 сек
 $0.95 \cdot 10^{13} \text{ p}$ в импульсе
 50 ГэВ



Дефлекторы на основе Si кристаллов

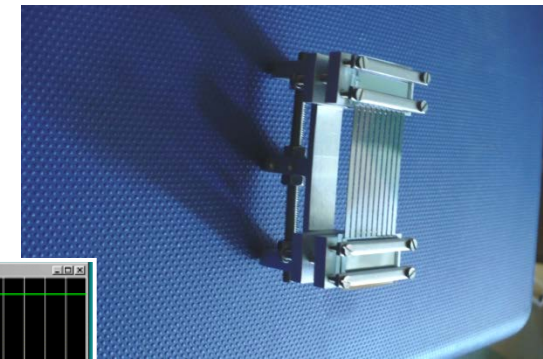
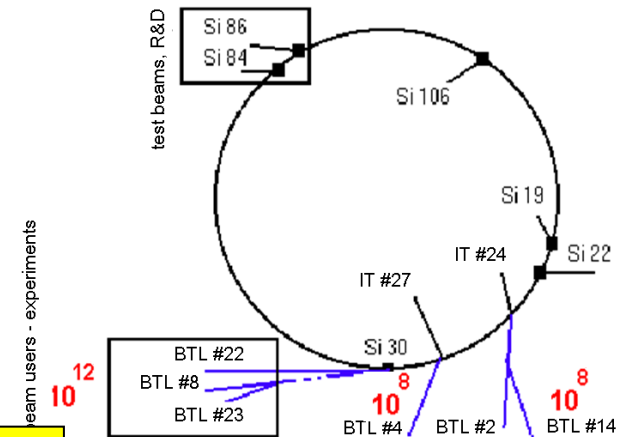


СКД19

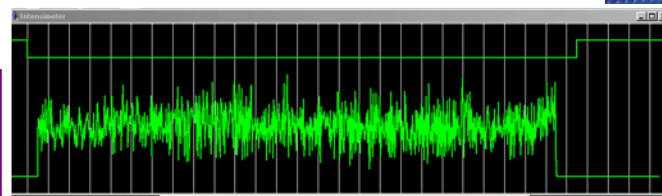
BM24

BM27

Сеанс 2007: 3 СКД (19, 24, 30)
6 экспериментов

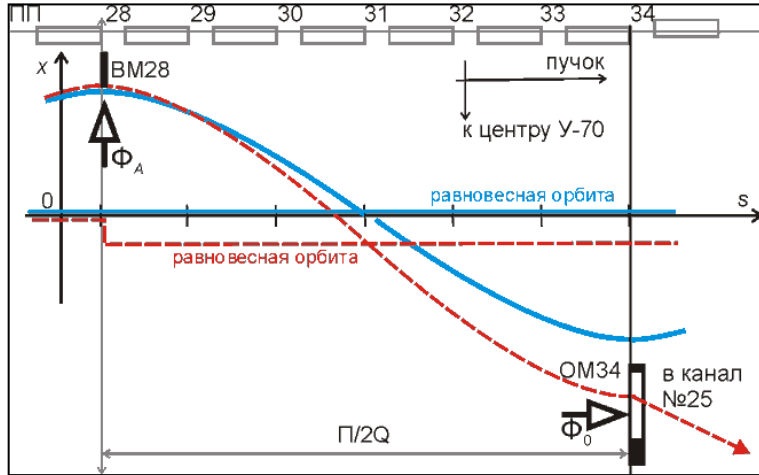


Пучок для эксперимента ИФВЭ-ЦЕРН
по радиационной стойкости жидкого Ar

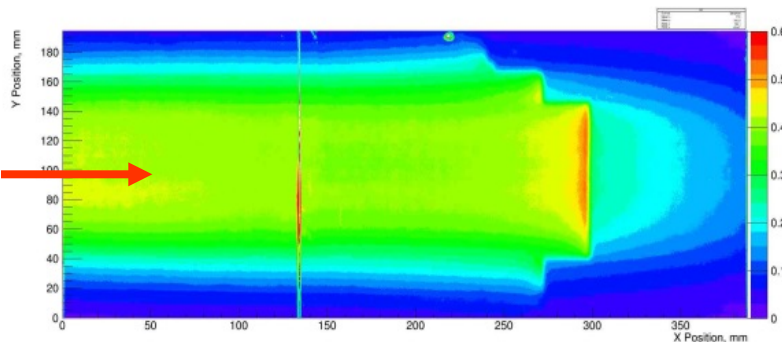
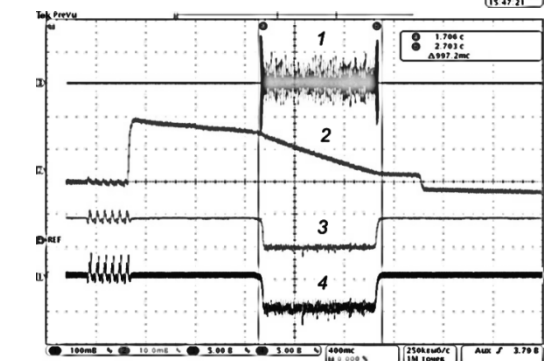
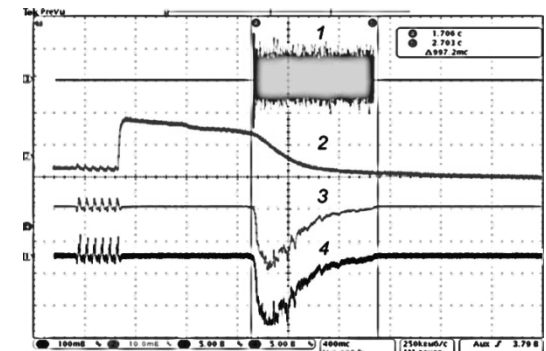
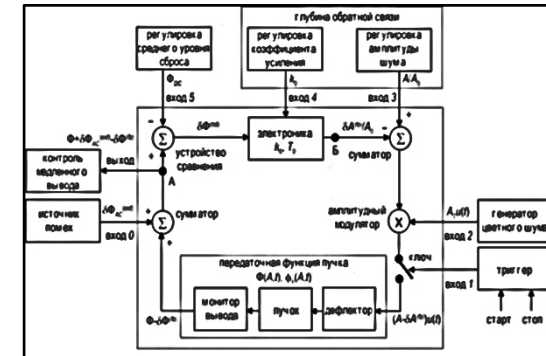


МВ на нижнем плато

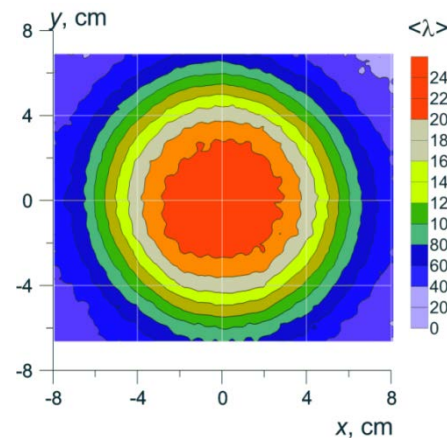
352 Гс, 1.32 ГэВ (p , тестовый пучок) 456 МэВ/и (C)



Поперечная шумовая
 диффузия
 Цепь ОС по пучку
 Прямоугольные импульсы
 Сброс длиной 0.6-1 с
 2-я система СМВ в У-70
 Synergy 2-х систем СМВ



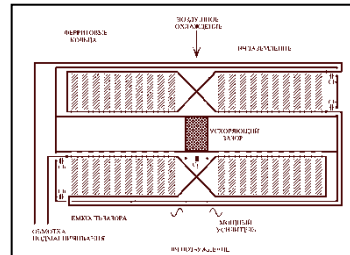
Закон Брэгга
30 см пробег в водном фантоме



**>95% равномерность
на $R = 3$ см**

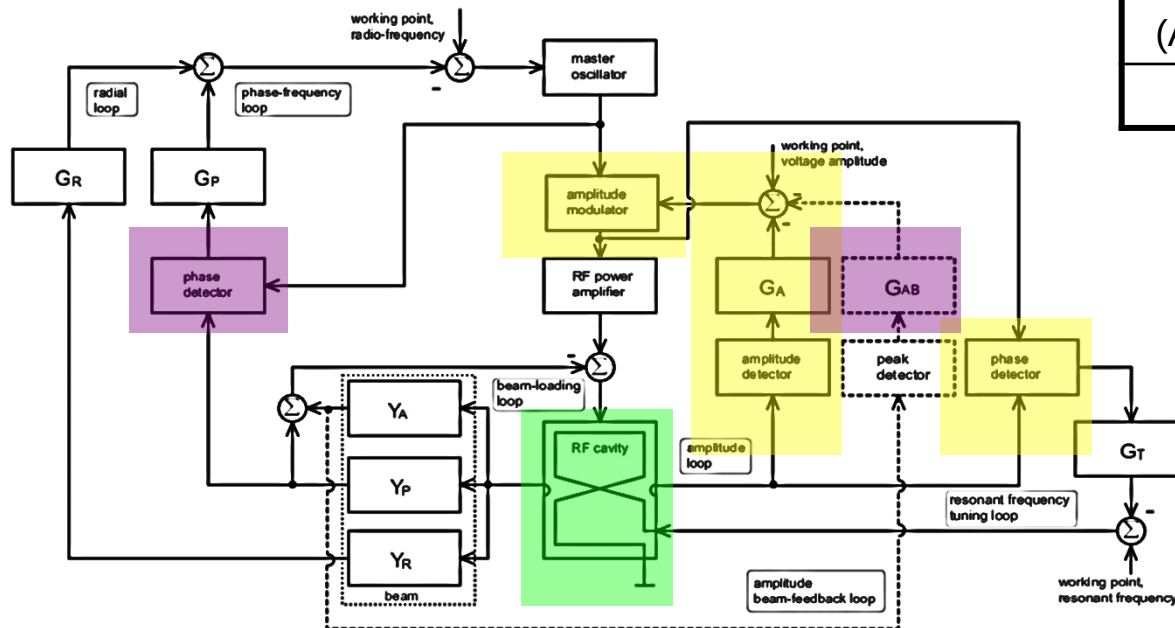
Системы продольной ОС

Ускоряющая система ГРАФИТ, 38 1-зазорных резонаторов с ферритом, RF 5.52–6.06 МГц, 10 кВ/зазор



6 контуров ОС:

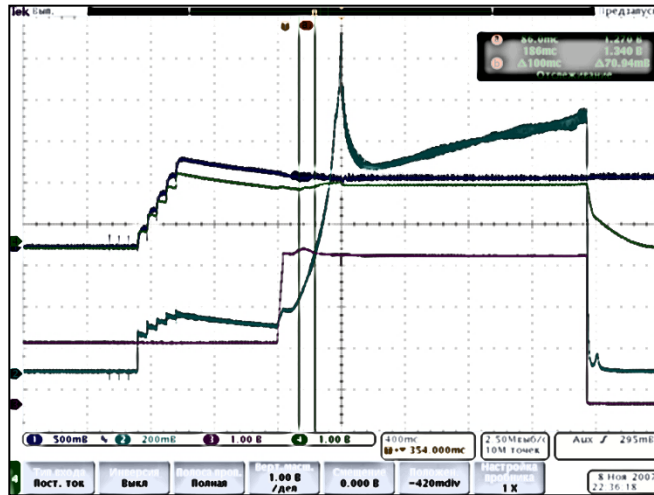
A (AVC)	T (AFC)	BL	R	P	AB
× 38			× 1		



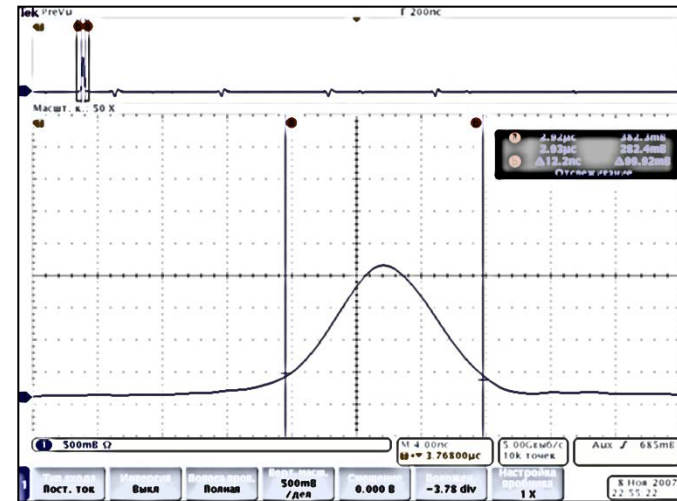
& динамическая
вариация
коэффициентов
усиления в радиальном
R и фазовом P контурах
по циклу ускорения с
пересечением
критической энергии

Качество пучка, продольное направление

DC CT
PU
 V_{RF}
peak D



Без ВЦ станции 200 МГц до γ_{tr}

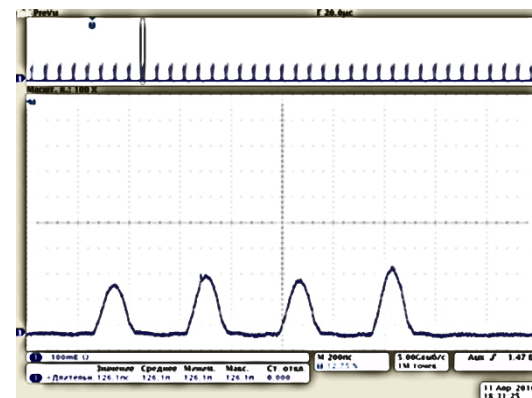
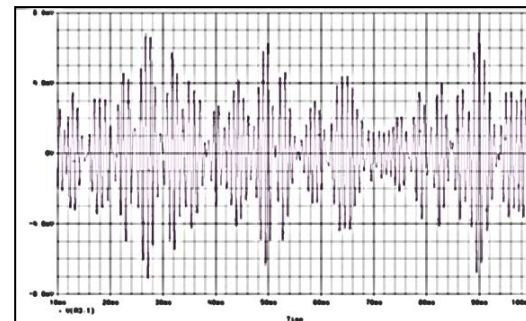
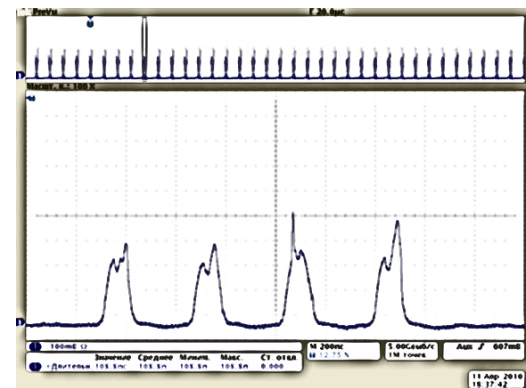
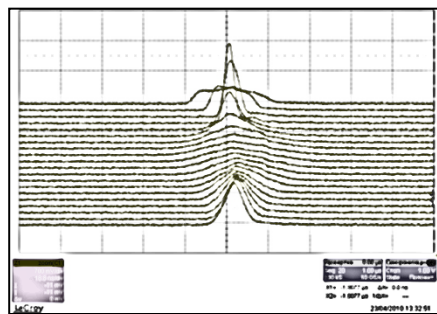
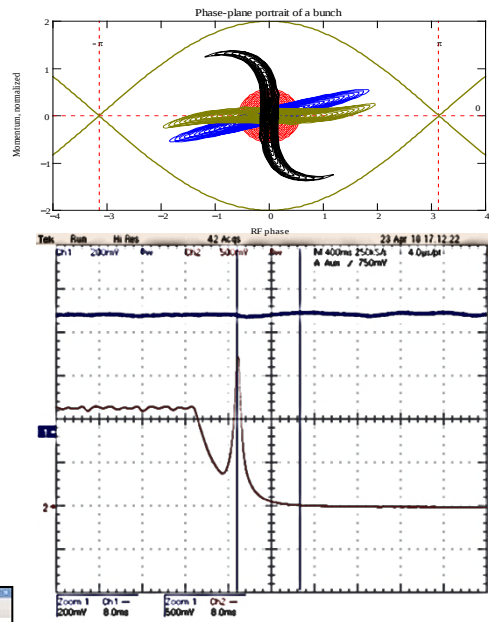
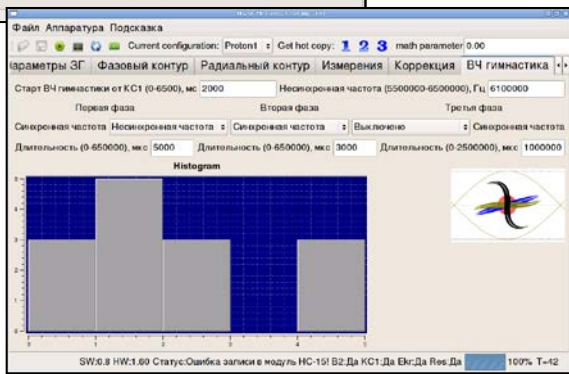
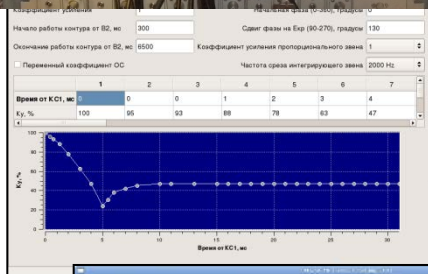


Длина сгустка 12.2 нс
Пиковая мощность 0.4–1 ТВт

@ 50 ГэВ

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

Цифровой задающий генератор



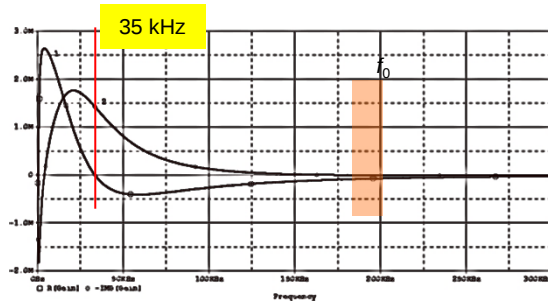
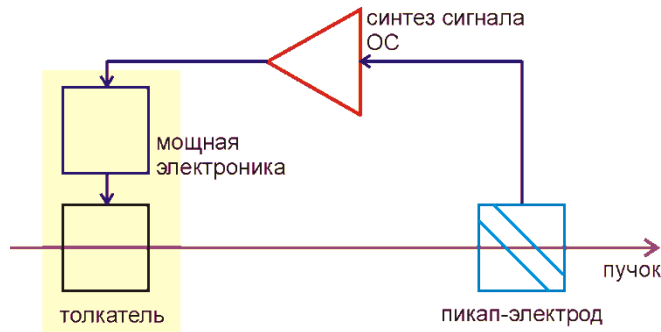
Поперечная ОС -1

ESK @ SS2

0 – 0.2 MHz

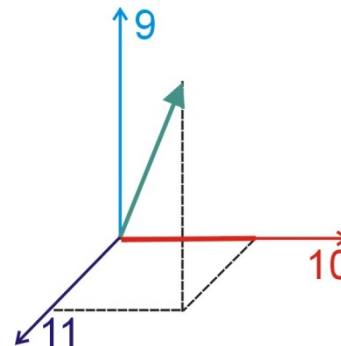
± 35.0 kV

PU @ SS2 (+ @SS116)

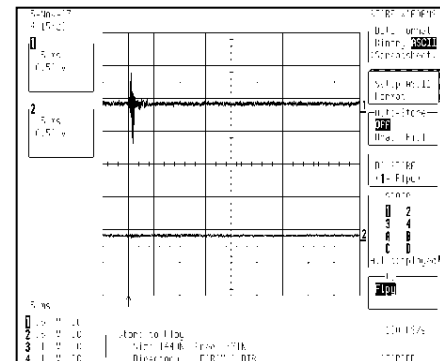
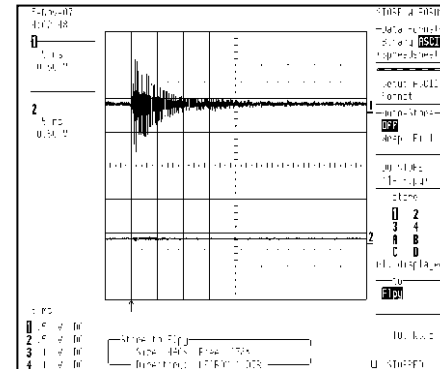
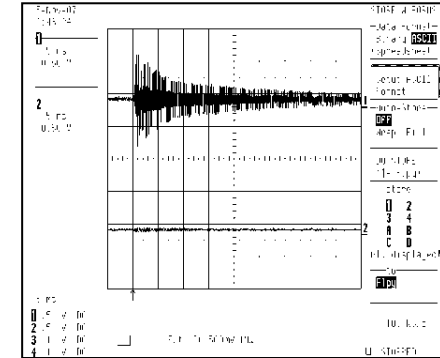


H: 14.7–72.3 кГц, $\pm 45^\circ$

V: 29.4–43.2 кГц



Фактор подавления = 100
по ср. с естественным



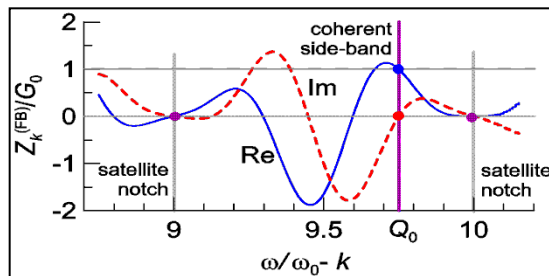
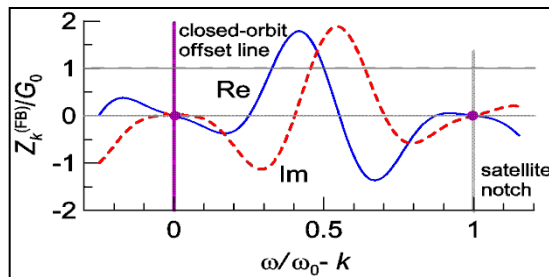
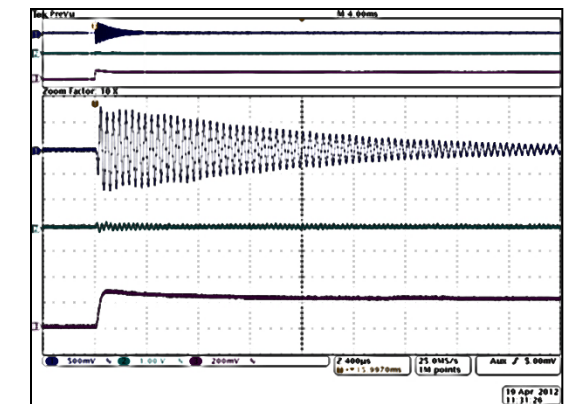
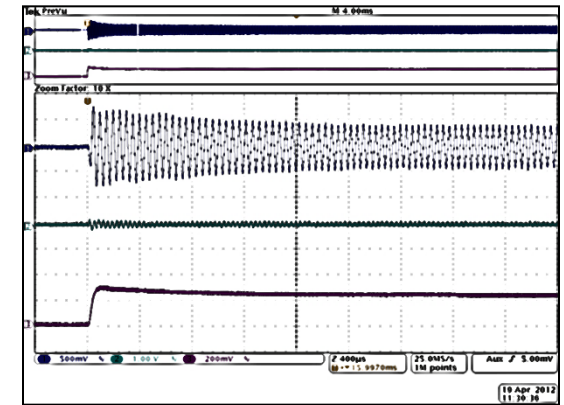
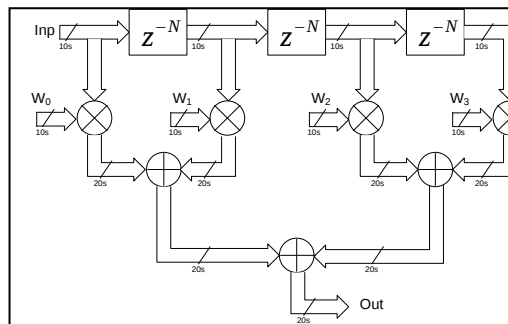
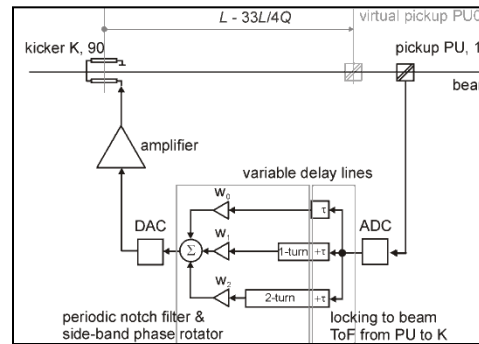
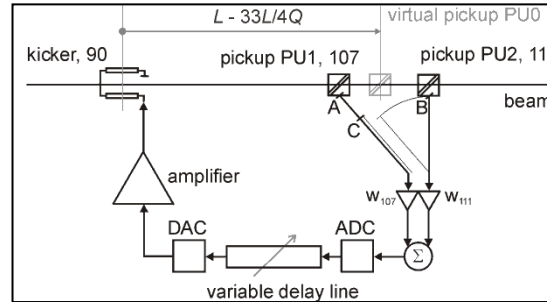
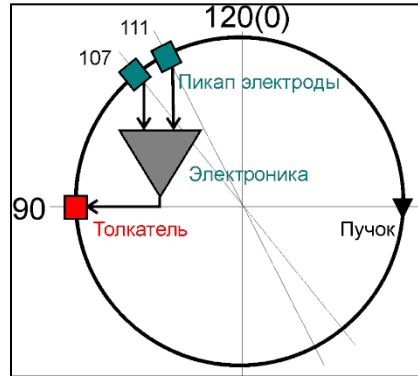
Содержание

EMK @ SS90

0.2 – 15 MHz

± 10.7 kV

PU @ SS107 + 111



FIR-3 & FIR-4 options

Ускорение легких ионов

Последовательно:

- сорт частиц $p - d - C$
- каскад ускорения [I100 - BTL] - U1.5 - BTL - U70 flat bottom circulation (DC PSU, RMG) - U70 fixed-field variable-RF acceleration - U70 transition crossing – U70 ramping to flattop field
- интенсивность [qpp] 1 – 1/10 – 1/50 & low- N pilot p -beams prior to d , C -beams



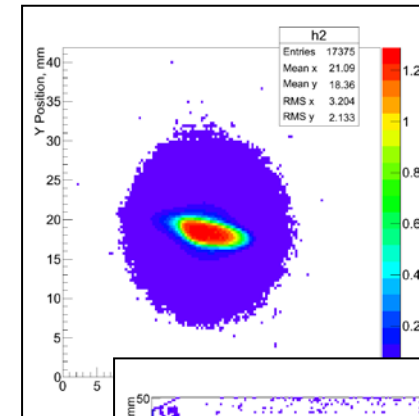
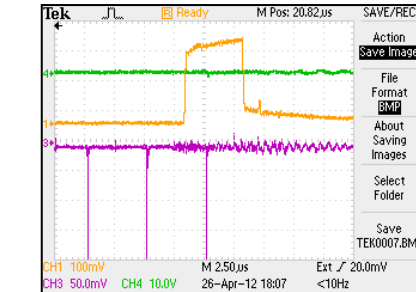
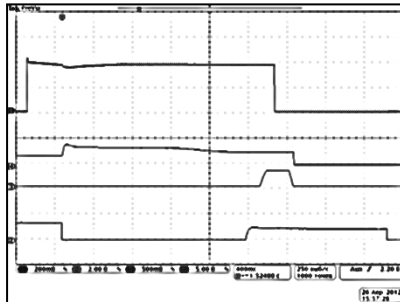
Reference ions $q = Z, q/A = 1/2$		I100, 2 cav of 3		U1.5		U70		
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
p , <i>pilot</i> beam	β		0.3724		0.9000		0.9999	49 0
	$B\rho$, T·m		1.2558		6.8659		233.38	
	T , MeV		72.71		1 323.8		69 032	
d	β		0.1862		0.7392		0.9996	23 6
	$B\rho$, T·m		1.1856		6.8659		233.38	
	T , MeV/u		16.691		454.56		34 057	
C	β		0.1862		0.7414		0.9996	24.1--34 1
	$B\rho$, T·m		1.1776		6.8659		233.38	
	T , MeV/u		16.678		456.53		34 063	

Вывод С пучка высокой энергии

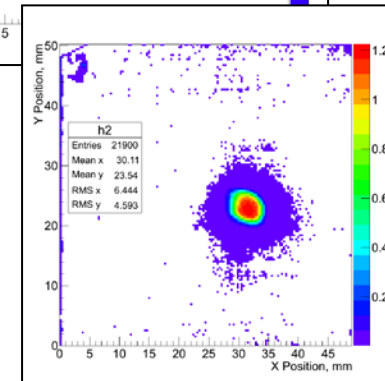
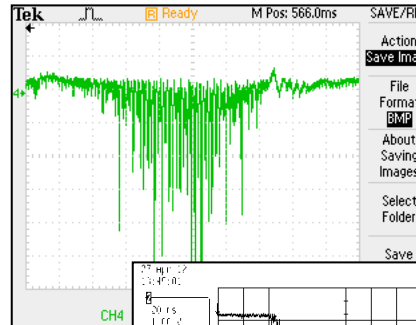
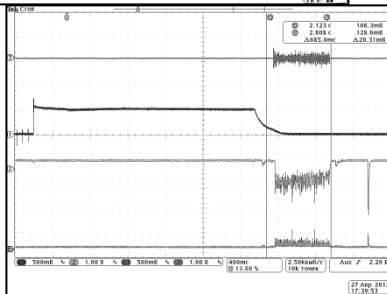
24 апреля, 2012. С 24.1 ГэВ/и (поле 0.859 Тл) $5 \cdot 10^9$ ирр (8 с).

1-й вывод С пучка с помощью штатных систем

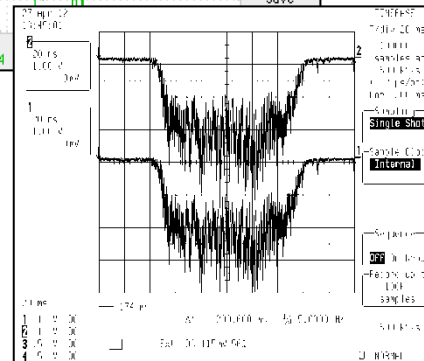
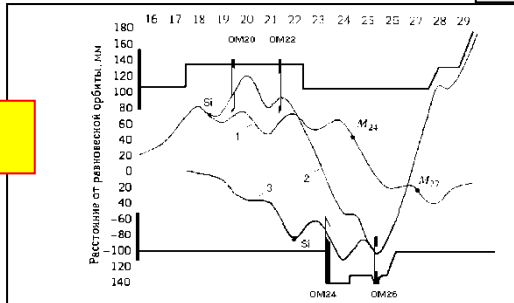
БВ



СМВ



СКД-22

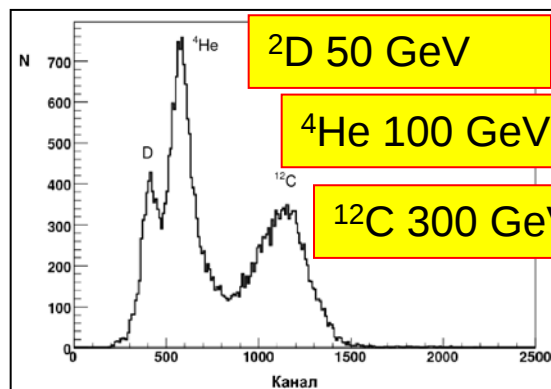


Обзорные эксперименты по ЯФ

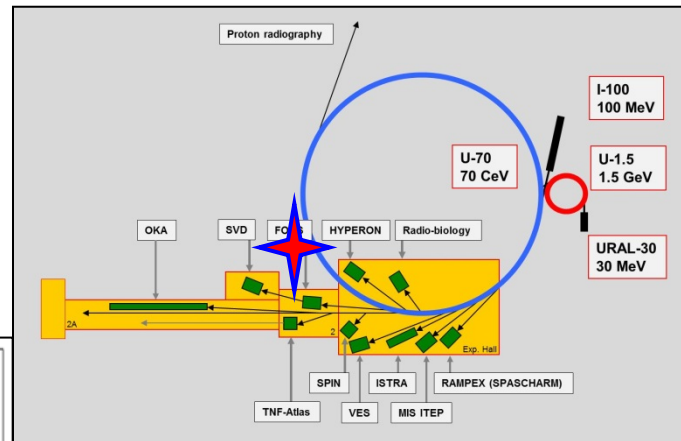
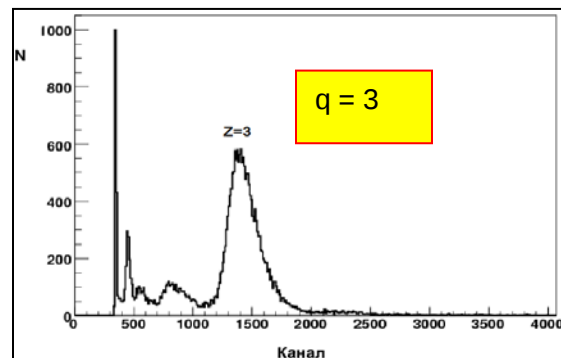
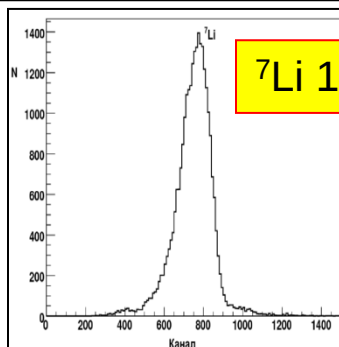
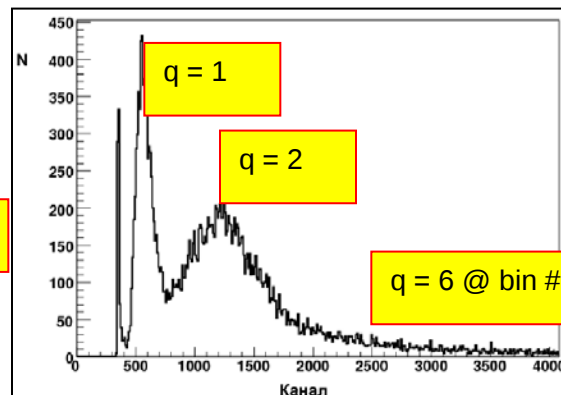
27 апреля, 2012. 1-й вывод С пучка в 190 м канал #22 = FRS & FODS (а FOCussing 2-arm Spectrometer) – экспериментальная установка

24.1 ГэВ/и или 300 ГэВ полной E

Адронный калориметр



Сцинтилляционные счетчики



BTL#22 50 GeV/c (p),
25 GeV/c/u $q/A=1/2$

BTL#22 60 GeV/c (p) $\backslash$ pm 1%
а FRS

25.7 GeV/c/u $q/A=3/7$

Заключение

Ускорительный комплекс У-70 ФГБУ ГНЦ ИФВЭ (Протвино) НИЦ “Курчатовский институт”:

- использует 4 ускорителя (Урал-30, И-100, У-1.5 и собственно У-70)
- обеспечивает выполнение программы физических исследований с выведенными пучками и внешними мишенями
- является объектом постоянной модернизации
- заметно улучшил качество протонного пучка
- обеспечивает ускорение и вывод пучка ядер углерода с энергией 24-34 ГэВ на нуклон для задач эксп. релятивистской ЯФ
- получил систему медленного вывода пучка $^{12}\text{C}^{6+}$ с энергией 455 МэВ на нуклон для прикладных исследований
- синхротроны У-1.5 и У-70 перешли из категории протонных в (легко)ионные
- имеются перспективы для дальнейшего развития комплекса